جامعة السعيد

دار السعيد للطباعة والنشر SPPH

مبادئ تغذية الانسان والتمثيل الغذائي

دليل شامل للطلبة والباحثين في التغذية العلاجية

PRINCIPLES OF HUMAN NUTREITION & METABOLISM

إعداد وتأليف:

فهد عبد الحميد الشرجبي

Fahd Abdulhamid Alsharjabi

الطبعة الثالثة - 2026م

دار السعيد للطباعة والنشر – جامعة السعيد، تعز – اليمن

Al-Saeed University

Taiz - Yemen

كلمة المؤلف للطبعة الثالثة

بسم الله الرحمن الرحيم

الحمد لله رب العالمين، والصلاة والسلام على سيدنا محمد وعلى آله وصحبه أجمعين. أما بعد، فيسرني أن أقدم إلى القارئ الكريم هذه الطبعة الثالثة من كتاب "مبادئ تغذية الإنسان والتمثيل الغذائي"، بعد سنوات من صدور الطبعتين السابقتين وما حظي بهما الكتاب من قبول واستفادة لدى الطلبة والباحثين وأعضاء هيئة التدريس في الجامعات والمعاهد العلمية. وقد كان ذلك دافعًا قويًا للاستمرار في تطوير هذا العمل وتجديده بما يواكب المستجدات العلمية ويعزز من فائدته الأكاديمية.

لقد انطلق هذا الكتاب في الأساس من الحاجة إلى مرجع علمي عربي يجمع بين الوضوح العلمي والدقة الأكاديمية، ويساعد طلبة العلوم الصحية والعلوم التطبيقية على فهم المبادئ الأساسية للتغذية والتمثيل الغذائي بلغة علمية ميسرة. ومع تعاظم الاهتمام العالمي بقضايا التغذية والصحة العامة وجودة الحياة، ازدادت أهمية توفير مصادر علمية عربية موثوقة تسهم في بناء المعرفة وتعزيز الوعي الغذائي لدى الأجيال الجديدة.

وفي هذه الطبعة الثالثة تم مراجعة محتوى الكتاب، وتنقيح عدد من الموضوعات، وتحديث بعض المعلومات العلمية بما يتوافق مع التطورات الحديثة في علوم التغذية والتمثيل الغذائي، مع المحافظة على المنهجية العلمية التي بُني عليها الكتاب منذ إصداره الأول، ليظل مرجعًا أكاديميًا مناسبًا للدارسين والمتخصصين والمهتمين بهذا المجال.

وإنني أتقدم بخالص الشكر والتقدير لكل من أسهم بملاحظاته العلمية ومقترحاته البناءة خلال السنوات الماضية، والتي كان لها أثر في تحسين هذا الإصدار وإخراجه بصورة أفضل. كما أتوجه بالشكر إلى دار السعيد للطباعة والنشر بجامعة السعيد على تبنيها نشر هذه الطبعة وإسهامها في دعم الإنتاج العلمي وخدمة المعرفة.

وأخيرًا، أسأل الله تعالى أن يجعل هذا العمل نافعًا للطلبة والباحثين، وأن يحقق الفائدة المرجوة منه، فما كان فيه من صواب فمن الله تعالى وحده، وما كان فيه من نقص أو خطأ فمني ومن نفسي، والله ولي التوفيق.

أ. د/ فهد عبدالحميد الشرجبي
الطبعة الثالثة
2026م

كلمة دار السعيد للطباعة والنشر

السلام عليكم ورحمة الله وبركاته،،،

تسعد دار السعيد للطباعة والنشر بجامعة السعيد أن تقدم للقراء والباحثين والطلبة الطبعة الثالثة (2026م) من كتاب مبادئ تغذية الإنسان والتمثيل الغذائي للأستاذ الدكتور فهد عبدالحميد الشرجبي، أحد الأعمال العلمية المتميزة التي أسهمت في إثراء المكتبة العربية في مجال علوم التغذية والصحة العامة. وقد حظي الكتاب منذ صدور طبعته الأولى باهتمام واسع من الأكاديميين والطلاب، لما يتميز به من عرض علمي رصين يجمع بين الأسس النظرية والتطبيقات العملية في تغذية الإنسان والتمثيل الغذائي.

وتأتي هذه الطبعة استمرارًا لرسالة الدار في دعم نشر المعرفة العلمية المتخصصة، وتوفير المراجع الأكاديمية الموثوقة التي تسهم في تطوير التعليم الجامعي والبحث العلمي. ويتميز الكتاب بمنهجيته العلمية الواضحة وشموله لموضوعات أساسية تتناول المبادئ الفسيولوجية للتغذية والعناصر الغذائية والطاقة والتغذية التطبيقية عبر مراحل الحياة المختلفة.

وإذ تضع دار السعيد هذا الإصدار بين أيدي القراء، فإنها تعبر عن اعتزازها بنشر هذا العمل العلمي القيّم، وتتطلع إلى أن يظل مرجعًا نافعًا للطلبة والباحثين والمتخصصين، وأن يسهم في تعزيز الوعي العلمي بقضايا التغذية والصحة، خدمةً للمعرفة والمجتمع والتنمية المستدامة.

دار السعيد للطباعة والنشر

جامعة السعيد

الطبعة الثالثة - 2026م

المـــــحتـويـــــات

الموضوع	رقم الصفحة
الباب الأول	
مدخل إلى علم التغذية	
الفصل الأول: مدخل إلى تغذية الإنسان	3
الفصل الثاني: خلفية فسيولوجية	10
الباب الثاني	
العناصر الغذائية والطاقة	
الفصل الثالث: الكربوهيدرات- مصدر الطاقة الأول	34
الفصل الرابع: الدهون- مشكلة صحية أم غذاء متعدد الوظائف	100
الفصل الخامس: البروتينات- أغذية البناء والتجديد	139
الفصل السادس: الفيتامينات- أغذية الوقاية وتنظيم العمليات الحيوية	173
الفصل السابع: العناصر المعدنية- المواد غير العضوية في الغذاء	229
الفصل الثامن: المـــاء- ســـــر الحيـــــــاة	256
الفصل التاسع: الطاقة الغذائية- وقود الحياة	260
الباب الثالث	
التغذية التطبيقية	
الفصل العاشر: التغذية الصحية- التخطيط لحمية غذائية صحية	273
الفصل الحادي عشر: التغذية خلال فترة الحياة	295
المراجع	355

الباب الأول

مدخل إلى علم التغذية

Introduction to Science of Nutrition

الفصل الأول

مدخل إلى تغذية الإنسان Introduction to Human Nutrition

مقدمة:

علم التغذية Science of Nutrition من العلوم الحديثة نسبياً وهو يهتم بدراسة طبيعة الأغذية المختلفة والعناصر الغذائية الموجودة فيها واحتياج الجسم لها وكذلك عمليات هضمها وامتصاصها ونقلها وأيضها (التي تشمل عمليات البناء Anabolism والهدم Catabolism) وتخزينها وإخراجها، وقد تطور هذا العلم من علمي الكيمياء الحيوية وظائف الأعضاء.

وقد بدأ تدريس هذا العلم كتخصص مستقل بحد ذاته وكمادة أساسية في كثير من التخصصات الجامعية مثل العلوم الصحية (الطب البشري والتمريض والتغذية العلاجية) وعلوم الأغذية والاقتصاد المنزلي، وكذلك كمادة اختيارية تثقيفية مهمة في بعض التخصصات الأخرى لنشر الثقافة الغذائية عن طريق طلبة الجامعة في أسرهم ومجتمعهم ليس فقط للوصول إلى التغذية الصحية المتوازنة بل للتعرف على الأمراض الناجمة عن نقص بعض العناصر الغذائية وكذلك العادات الغذائية السيئة والتي تؤدى إلى تفاقم الحالات المرضية للعديد من أمراض العصر المزمنة مثل أمراض القلب والشرايين والكلى والسرطان والداء السكري والسمنة والنقرس وغيرها من الأمراض التي يشكل بعضها سبباً لكثير من حالات الوفاة في الوقت الحاضر نتيجة لتلك العادات غير السليمة والجهل بأسس التغذية السليمة، كذلك في حالة الأمراض الوراثية مثل الجلاكتوزمية والبيلة الفنيلية الكيتونية حيث يتطلب الرضع المصابون بهذه الأمراض أنظمة غذائية خاصة لتجنب مشاكل ذهنية وبدنية خطيرة جداً قد يعانون منها نتيجة إصابتهم بتلك الأمراض.

لذلك من واجبكم كدارسين لهذا العلم توعية أفراد المجتمع المحيط بكم لاختيار الأغذية الجيدة وتغير العادات الغذائية السيئة (فكما قيل قديماً أن الوقاية خير من العلاج).

وقبل أن أختم هذه المقدمة أقتبس من المدخل الرائع لكتاب الكيمياء والكائن الحي Chemistry and the Living Organism لمؤلفه مولي بلوم فيلد Molly B. Field (ترجمة محمد نزار إبراهيم عبدالسلام)، عن تلك الأسرة الأمريكية التي رزقت بمولود بحالة صحية جيدة أسمته بيلي Billy، لكنه عندما بلغ الشهر الرابع من عمره بدأت ولدته تلاحظ أنه بطيء في تعلم الجلوس بنفسه كما أنه نادر الابتسام كما أنه بتولي الأيام يصبح عصبي المزاج كما أصبح جلده قشرياً وملتهباً وكانت أمه تلاحظ رائحة نفاذة غريبة عند تبرزه، وعند بلوغه عامه الثالث كان لا يزال لا يمشي ولا يتكلم ولا يمكن السيطرة عليه، فأخذاه والداه للطبيب الذي أخبرهما أن الفحوصات دلت على أن لديه مرض وراثي يدعى البيلة الفنيلية الكيتونية Phenylketonuria (PKU).

إن البيلة الفنيلية الكيتونية Phenylketonuria (PKU) مرض وراثي يؤدي إلى التخلف العقلي نتيجة زيادة في مستويات الفنيل ألانين Phenylalanine (وهو أحد الأحماض الأمينية المكونة للبروتينات) أكثر مما ينبغي في أجسام المصابين بهذا المرض، حيث يعوق ازدياد معدل الفنيل ألانين في جسم الطفل تطور الدماغ والذكاء مسببًا إعاقة ذهنية حادة لا يمكن علاجها، بسبب خلل في وظيفة إنزيم الفنيل ألانين هيدروكسيلاز Phenylalanine Hydroxlase الذي يُحوِّل عادة الفنيل ألانين إلى الحامض الأميني تيروسين Tyrosine. وفي حالة مرضى البيلة الفنيلية الكيتونية (PKU)، لا يحدث تحول الفنيل ألانين إلى التيروسين بصورة صحيحة.

وعودة إلى موضوع بيلي فقد أخبر الطبيب والديه بأنه من المحتمل أن يرزقا بأطفال آخرين مصابين بهذا المرض لكنه لم يمنعهما من إنجاب أطفال آخرين، وأخبرهما أن الأطفال المصابون بهذا المرض يمكن أن يعيشوا حياة طبيعية إذا ما تم تشخيص إصابتهم بعد الولادة مباشرة حيث يتم وضع نظام غذائي خاص تنخفض فيه نسبة الفنيل ألانين، كما أوصاهما بتطبيق هذا النظام الغذائي على بيلي الذي تحسن وضعه الصحي كثيراً بعد ذلك حيث اختفت رائحته النفاذة وتحسن لون جلده وشعره وقد بدأ بالابتسام. وبعد خمس سنوات أنجبت أم بيلي بنت أسمتها سوزان وقد دلت الفحوصات على إصابتها أيضاً بمرض البيلة الفنيلية الكيتونية (PKU)، إلا أن والداها اتبعا ذلك النظام الغذائي الخاص الذي أوصاهما به الطبيب فلم تعاني من أي من تلك المشاكل التي عانى منها شقيقها بيلي ونمت نمواً طبيعياً. ويحتوي مثل هذا النظام الغذائي على الحبوب والفواكه والخضراوات. ويجب تحاشي الحليب ومنتجات الألبان واللحم والسمك والأطعمة الأخرى عالية البروتين. والصورة التالية تبين الفرق بين حالة بيلي المصاب بمرض البيلة الفنيلية الكيتونية (PKU) إلا أنه لم يعالج باكراً بذلك النظام الغذائي الخاص الذي تنخفض فيه نسبة الفنيل ألانين وأخته سوزان المصابة بنفس المرض لكنها التزمت بذلك النظام الغذائي الخاص.

الشكل رقم (1) الفرق بين حالة مصاب بمرض البيلة الفنيلية الكيتونية PKU غير معالجة بحمية غذائية خاصة (11 عام)، وشقيقته المصابة بنفس المرض لكنها ملتزمة بالحمية الخاصة (عامان ونصف)، عن (عبدالسلام، 1984).

ماذا نأكل؟

لعل من أكثر الأسئـــلة التي تصادفنا في حيـاتنا الروتينية اليومية السـؤال المتمثل في: ماذا نأكل؟ أو ما الذي سنأكله اليوم؟ وفي الحقيقة أن هذا الكتاب في مجمله مكرس لمحاولة الإجابة على هذا السؤال، وقد لا تنتهي الإجابة بشكل مُرضي على هذا السؤال إلا مع السطور الأخيرة من هذا الكتاب. لكن قبل أن نشرع معاً في الإجابة على هذا السؤال ينبغي علينا أن نجيب (قبل ذلك) على سؤال مهم أخر هو لماذا نأكل؟ فهل يا ترى نحن نعرف حقيقةً لماذا نأكل؟

وإذا طرحنا هذا السؤال (لماذا نأكل؟) على البعض لعل أكثر إجابة نحصل عليها هي (نأكل لكي نعيش). لكن هذه الإجابة غير دقيقة لأنه أذا بنينا عليها إجابة السؤال الأول (ماذا نأكل؟) فالإجابة هنا تكون (أي شيء). وهذه إجابة لا تجعلنا نأكل بالشكل الصحيح (لأننا سنأكل أي شيء بغض النظر عن حاجة الجسم لما نأكله من عدمه). فلماذا ناكل؟؟؟

لقد لخص خبراء التغذية إجابة السؤال (لماذا نأكل؟) في ثلاثة أهداف رئيسة هي:

1. **نأكل لإمداد الجسم بالطاقة اللازمة للقيام بأنشطته الحيوية الإرادية واللاإرادية.**
2. **لإمداد الجسم بالمواد التي تساعده على النمو وإصلاح الأنسجة التالفة.**
3. **لإمداد الجسم بالمواد التي تساعده على تنظيم العمليات الحيوية في الجسم وإمداده بالمواد التي تزيد مناعته وحيويته وتحميه من الأمراض.**

وفي كثير من الأحيان يكون الأطفال أكثر توفيقاً بل وأكثر دقة في الإجابة على سؤال لماذا نأكل؟ فيجيبون عليه بقولهم:

- ✓ **نأكل لكي نصبح أقويا (أي لإمداد الجسم بالطاقة اللازمة للقيام بأنشطته الحيوية).**
- ✓ **نأكل لكي نكبر (أي لإمداد الجسم بالمواد التي تساعده على النمو والتجديد والتعويض).**
- ✓ **نأكل لكي لا نمرض (أي لإمداد الجسم بالمواد التي تساعده على تنظيم العمليات الحيوية وتزيد مناعته وحيويته وتقيه من الأمراض).**

وفي الواقع إن معرفتنا لحقيقة لماذا نأكل تجعلنا عندما نجلس على مائدة الطعام نبحث عن الأغذية التي ستحقق لنا تلك الأهداف التي تحدثنا عنها، وبالتالي نستطيع أن نتناول غذاء يحتوي كميات مناسبة من العناصر الغذائية التي يحتاجها الجسم لتحقيق الأهداف المذكورة للوصول إلى التغذية المتوازنة التي تمد الجسم بالطاقة وتساعده على النمو وإصلاح الأنسجة التالفة وتنظيم العمليات الحيوية في الجسم وتزيد مناعته وحيويته.

وللتعمق أكثر في إجابة السؤال السالف ذكره ينبغي علينا التعرف على بعض المصطلحات المهمة في علم التغذية والتي من أهمها مصطلح التغذية المتوازنة Adequate Nutrition والذي يقصد به "تناول الغذاء الذي يزود الجسم بجميع ما يحتاجه من العناصر الغذائية وبالكميات التي تكفي لسد احتياجاته بدون أي نقص أو زيادة، مما يمنح الإنسان النشاط والحيوية والمناعة اللازمة لمقاومة الأمراض".

الغذاء Food:

هو المواد يتناولها الإنسان في صورة صلبة أو سائلة وتحتوي على العناصر الغذائية التي يحتاجها الجسم للمحافظة عليه حياً وتمكنه من النمو والإصلاح، وتشمل هذا المواد كل ما يدخل الجسم من مأكولات ومشروبات سواء عن طريق الفم أو الحقن، بحيث تمد الجسم بالطاقة وتساعده على النمو وإصلاح الأنسجة التالفة وتنظيم العمليات الحيوية في الجسم.

العناصر الغذائية Nutrients:

هي المواد الكيميائية التي يحصل عليها الإنسان من طعامه ويحتاجها باستمرار ونقص أي منها يؤدى إلى حدوث حالة مرضية، حيث يحتاجها الجسم كمصادر للطاقة وللقيام بعمليات البناء والنمو والتكاثر وصيانة الأنسجة بالإضافة إلى تنظيم عمل الجسم، وهذه المواد تشمل كل من الكربوهيدرات والبروتينات والدهون والفيتامينات، والعناصر المعدنية، والماء.

سوء التغذية Malnutrition:

مصطلح يصف ما يحدث من اعتلال أو تدهور في صحة الإنسان نتيجة تناول أغذية غير متوازنة من حيث الكمية أو النوعية أو نتيجة وجود خلل في عمليات الهضم أو الامتصاص أو التمثيل الغذائي لواحد أو أكثر من العناصر الغذائية الأساسية، ولا تقتصر حالات سوء التغذية على التغذية الناقصة Under-nutrition الناجمة عن وجود نقص في السعرات الحرارية المتناولة أو واحد أو أكثر من العناصر الغذائية كما قد يتبادر إلى أذهان الكثيرين بل تشمل أيضاً التغذية المفرطة Over-nutrition الناجمة عن وجود زيادة في السعرات الحرارية المتناولة أو واحد أو أكثر من العناصر الغذائية مما يتسبب بوجود مشاكل صحية.

الغذاء غير الصحي (الغذاء منخفض القيمة الغذائية) Junk Food:

مصطلح عامي لا يوجد له تفسير علمي يطلق على الأطعمة منخفضة القيمة الغذائية أو غير المتوازنة في محتواها من العناصر الغذائية وكذلك الأطعمة التي تشكل ضرراً على صحة الإنسان مثل الأغذية الحاوية على نسب عالية من الدهون المشبعة أو الملح أو السكر.

الغذاء وتركيبه الكيميائي Food and its Chemical Composition:

يتم تقدير العناصر الغذائية في الأغذية باستخدام طرق التحليل المختلفة والتي من أهمها الطريقة المعروفة باسم التحليل التقريبي للغذاء Proximate Analysis of Food التي تهدف لمعرفة المكونات الرئيسة من العناصر الغذائية والتي تشمل الماء (الرطوبة)، البروتين (النيتروجين)، الزيوت والدهون (مستخلص الأثير)، الكربوهيدرات (المستخلص الخالي من النيتروجين والألياف الخام)، العناصر المعدنية (الرماد)، وقد سبق الإشارة إلى تعريف مصلح العناصر الغذائية التي سيتم بمشيئة الله استعراضها بشكل موجز في هذا الجزء و تشمل ما يلي:

1- الماء Water:

الماء H_2O عنصر ضروري للجسم يتكون من الهيدروجين والأكسجين بنسبة 2 : 1، وله وظائف حيوية مهمة ومتعددة كما أنه ضروري لإتمام جميع التفاعلات الكيميائية في الجسم، ويشكل نسبة كبيرة من تركيب الخلايا الحية. وتعرف نسبة الماء في الأغذية بمصطلح نسبة الرطوبة أو المحتوى المائي Moisture or Water Content.

يقدر المحتوى المائي (نسبة الرطوبة) بتجفيف عينة الغذاء في أفران التجفيف العادية على درجة حرارة 105°م لعدة ساعات في حالة الأغذية التي لا تتأثر بحرارة التجفيف المستخدمة والتي تجاوز 100°م، أو في أفران التجفيف تحت التفريغ على درجة حرارة تقارب 70°م لعدة ساعات في حالة الأغذية الحساسة لحرارة التجفيف مثل الأغذية الحاوية على السكريات التي تتأثر بالحرارة. ونتيجة هذه العملية نحصل على نسبة الرطوبة منها نتعرف على الوزن الجاف في العينة ولذلك أهمية كبرى وذلك لتحديد المكونات الأخرى للمادة الغذائية على أساس الوزن الجاف وذلك لكي نقوم بمقارنة عينات الأغذية مع بعضها على أساس الوزن الجاف بدقة أعلى من مقارنها على أساس الوزن الرطب، حيث تتباين نسبة الرطوبة بشكل كبير من عينة لأخرى ومن وقت لأخر.

جدول رقم (1): يوضح محتوى بعض الأغذية من الماء*

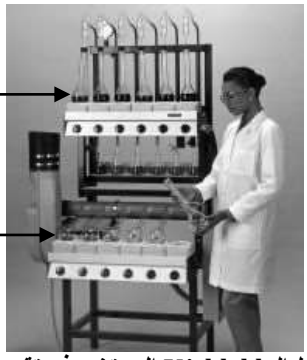
الغذاء	الماء %	الغذاء	الماء %	الغذاء	الماء %
الطماطم والخَسّ	95	الدجاج	70	الزبد والمارجرين	16
الكُرُنْب (المَلْفُوف)	92	اللحوم	65	دقيق القمح	12
البرتقال	87	الجبن	37	الأرز	12
الحليب	80	الخبز الأبيض	35	البن المحمص	5
البطاطس	78	المربى	28	الحليب المجفف	4
الموز	75	العسل	20	السَمْن	0

* المصدر (deMan, 1999).

2- البروتينات Proteins:

هي مجموعة من المركبات التي تحتوي على وحدات بناء تعرف باسم الأحماض الأمينية، وهذه الأحماض الأمينية ضرورية لعمليات النمو وصيانة الجسم، منها أحماض أمينية أساسية تؤخذ من الغذاء ولا يستطيع الجسم تكوينها، وأخرى غير أساسية يمكن للجسم أن يكونها خلال عمليات الأيض. والبروتينات إما أن تكون بروتينات حيوانية مثل اللحوم والأسماك والبيض والحليب ومشتقاته أو بروتينات نباتية مثل الحبوب والبقوليات. وتحتوي البروتينات الحيوانية على جميع الأحماض الأمينية الأساسية على عكس البروتينات النباتية التي تفتقر إلى بعضها، ما يستدعي خلط أكثر من نوع من الحبوب والبقوليات لرفع القيمة الغذائية و الحصول على جميع الأحماض الأمينية الأساسية.

وتحتوي البروتينات على نسب ثابتة من النتروجين بحسب نوع هذه البروتينات، وبالتالي يمكننا تقدير نسبة البروتين في عينة الغذاء بتقدير كمية النيتروجين وفقاً لطريقة شهيرة ومعتمدة في تحليل الأغذية تعرف بطريقة كلدال Kjeldahl method، وفي هذه الطريقة يتم هضم عينة الغذاء المراد تحليله بواسطة حامض الكبريتيك المركز الذي يقوم بهضم البروتين إلى نيتروجين في وحدة الهضم، ويتحول النيتروجين الموجود في البروتينات (وغيرها من المواد النيتروجينية) إلى كبريتات الأمونيوم والتي تتحول بدورها إلى أمونيا بمعاملتها مع محلول هيدروكسيد الصوديوم في وحدة التقطير (حيث يتكون جهاز كلدال من وحدة الهضم ووحدة التقطير)، وتستقبل الأمونيا الناتجة في محلول حامض البوريك ثم تعاير مع محلول حامضي مخفف وبذلك يمكن حساب الأمونيا الناتجة والنيتروجين، ونظرا لان البروتين يحتوي على نسبة ثابتة تقريباً من النيتروجين (حوالي 16%) فإنه يمكن تحويل قيمة النيتروجين الناتجة إلى البروتين بضربها بالعامل 6,25 في أغلب أنواع البروتينات إلا أن هذا العامل قد يتغير زيادة أو نقصان في الأغذية التي تقل فيها نسبة النيتروجين أو تزيد عن 16%.

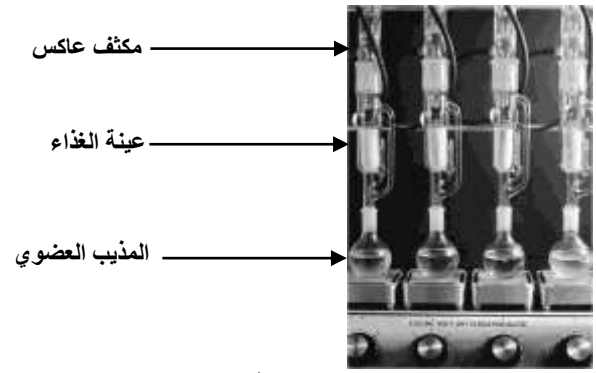


الشكل رقم (2) يوضح جهاز كلدال Kjeldahl المستخدم في تقدير نسبة النيتروجين في الغذاء.

3- الدهون والزيوت Fats and Oils:

هي مركبات عضوية تحتوي على الكربون والهيدروجين والأوكسجين، والدهون مصدر مكثف للطاقة الحرارية، حيث أن كل جرام واحد من الدهون يمنح الجسم ما يعادل 9 سعرات حرارية، كما تحتوي الدهون على الفيتامينات الذائبة في الدهن Fat Soluble Vitamins، والدهون إما أن تكون من مصادر نباتية وتكون ذات طبيعة سائلة وتعرف بالزيوت Oils، أو تكون من مصادر حيوانية وتكون أكثر صلابة ويُعرّفها البعض بالشحوم الحيوانية.

ويدل مصطلح مستخلص الأثير Ether Extract على محتوى الغذاء من الدهون والزيوت كمكونات رئيسة بالإضافة إلى المواد الذائبة في الدهن والتي تتواجد بكميات قليلة مثل الفيتامينات الذائبة في الدهن، وكذلك بعض الأصباغ النباتية مثل الكاروتينات والزانثوفيل وغيرها من المواد التي تذوب في المذيبات العضوية مثل الإثير البترولي أو الإثير ثنائي الإيثيل أو الهكسان وغيرها من المذيبات العضوية الأخرى، باستخدام أجهزة خاصة مثل جهاز سوكسلت Soxhlet الذي يعتمد على مبدأ استخلاص الدهن من عينة الغذاء نتيجة ذوبانه في المذيبات العضوية المختلفة، ومن ثم تبخير المذيب المستخدم في الاستخلاص وتقدير وزن أو نسبة الدهن المتبقي.



الشكل رقم (3) يوضح جهاز سوكسلت Soxhlet الذي يقوم باستخلاص الدهن نتيجة ذوبانه في المذيبات العضوية.

4- الكربوهيدرات Carbohydrates:

هي مجموعة من المركبات الكيميائية تتكون من الكربون والأوكسجين والهيدروجين، وتكون نسبة الهيدروجين إلى الأوكسجين 1:2 كما هي نسبتهما في الماء (H_2O). يستخدمها الجسم في توليد الطاقة الحرارية التي يحتاجها كوقود للقيام بنشاطه الحيوي، وكل جرام واحد من الكربوهيدرات يمنح الجسم ما يعادل 4 سعرات حرارية.

ويمكن تقسيم الكربوهيدرات التي هي من أكثر العناصر الغذائية انتشاراً في الطبيعة إلى كربوهيدرات ذائبة و كربوهيدرات غير ذائبة (الألياف الخام)، وتعرف الكربوهيدرات الذائبة بالمستخلص الخالي من النيتروجين Nitrogen-free extract ويتم تقديرها في عينة الغذاء حسابياً من الفرق بين وزن العينة ومجموع أوزان الرطوبة والبروتين ومستخلص الإثير والألياف

الخام والرماد (العناصر المعدنية)، أما الألياف الخام (الكربوهيدرات غير الذائبة) فيتم تقديرها بغلي عينة الغذاء مع حامض تركيزه 1,25 % لمدة نصف ساعة، ثم إعادة غلي الجزء المتبقي مع قلوي تركيزه 1,25 % لمدة نصف ساعة أخرى بعدها يتم وزن المتبقي من العينة بعد ترشيحه لمعرفة كمية الألياف الخام. ومن أهم الأمثلة على الأغذية الغنية بالكربوهيدرات الخبز والأرز والبطاطس والمكرونة.

5- العناصر المعدنية Mineral Elements:

هي مواد كيميائية يحتاجها الإنسان بكميات بسيطة، لكنها مهمة للقيام بالتفاعلات الكيميائية الحيوية والحفاظ على توازن الحامض القاعدي للجسم وتدخل في تركيب الأنسجة والعظام. ويتطلب الجسم بعض العناصر المعدنية بكميات كبيرة نسبياً وتعرف بالعناصر الكبرى Macroelements ومن أمثلتها الكالسيوم والفسفور والبوتاسيوم والصوديوم، كذلك هناك عناصر يحتاجها الجسم بكميات قليلة جداً تعرف بالعناصر الصغرى Microelements ومن أمثلتها الحديد واليود والفلور والزنك والمنجنيز.

وتعرف مجموعة العناصر المعدنية الموجودة في عينة الغذاء في تقنية التحليل التقريبي للأغذية بالرماد، حيث يتم تقديرها بحرق (ترميد) عينة الغذاء في فرن صهر Muffle Furnaces على درجات حرارة عالية كفيلة بحرق كل المواد العضوية في الغذاء وتتراوح بين 550°م إلى 600°م لمدة 4 – 5 ساعات، ولا تعطينا كمية الرماد الخام فكرة عن العناصر المعدنية كل على حده بل يلزم تحليل إضافي لمعرفة مكونات الرماد من المعادن بطريقة خاصة لكل نوع من العناصر المعدنية.

6- الفيتامينات Vitamins:

مجموعة من المركبات العضوية المعقدة في تركيبها، يحتاجها الجسم بكميات ضئيلة وهي مهمة لعمليات الصيانة والنمو ومقاومة الأمراض وعمليات تمثيل الطاقة وتنظيم عمل الجسم وقد قسمت إلى: فيتامينات ذائبة في الدهن Fat Soluble Vitamins وتشمل فيتامينات A، E، D، K؛ وفيتامينات ذائبة في الماء Water Soluble Vitamins وتشمل مجموعة فيتامينات B المركبة وفيتامين C. ونظراً لصغر الكميات التي تحتويها الأغذية من الفيتامينات فلا يمكن تقديرها باستخدام طريقة التحليل التقريبي للغذاء Proximate Analysis of Food، ولكن توجد العديد من طرق التحليل المعتمدة لتحليل العناصر الغذائية كل على حدة وكذلك لتحليل العناصر الغذائية التي لا يمكن الكشف عنها بطريقة التحليل التقريبي Proximate Analysis مثل الفيتامينات أو العناصر المعدنية كل على حدة أو نوعية كل من الكربوهيدرات وأنواع البروتينات المختلفة وتجزؤات الدهون وغيرها، ولمزيد من المعلومات حول هذا الموضوع يمكن العودة إلى أي من مراجع تحليل الأغذية Food Analysis الموجودة في المكتبة.

وعموماً يمكن وضع الأغذية التي يتناولها الإنسان في ثلاث مجاميع كالتالي:

1- الأغذية التي تُتَناول للحصول على الطاقة وهي الكربوهيدرات والبروتينات والدهون.

2- الأغذية التي تُتَناول بهدف بناء وتجديد وتعويض الأنسجة وهي البروتينات والدهون وبعض العناصر المعدنية.

3- الأغذية التي تُتَناول بهدف الوقاية وتنظيم العمليات الحيوية في الجسم وهي الفيتامينات وبعض العناصر المعدنية و الماء.

كما يمكننا تقسيم العناصر الغذائية حسب حاجة الجسم لها إلى:

1- العناصر الغذائية الكبرى وتشمل الكربوهيدرات والدهون والبروتينات والماء.

2- العناصر الغذائية الصغرى وتشمل الفيتامينات والعناصر المعدنية.

كما تقسم الأغذية بناءً على محتواها من العناصر الغذائية إلى:

1- الأغذية الكربوهيدراتية، وهي تلك التي تحتوي على نسب عالية من الكربوهيدرات في تركيبها الكيميائي، ومن أمثلتها الخبز والأرز والبطاطا...الخ.

2- الأغذية البروتينية، وهي تلك التي تحتوي على نسب عالية من البروتينات في تركيبها الكيميائي، ومن أمثلتها اللّحوم والأسماك والبقوليات والبيض...الخ..

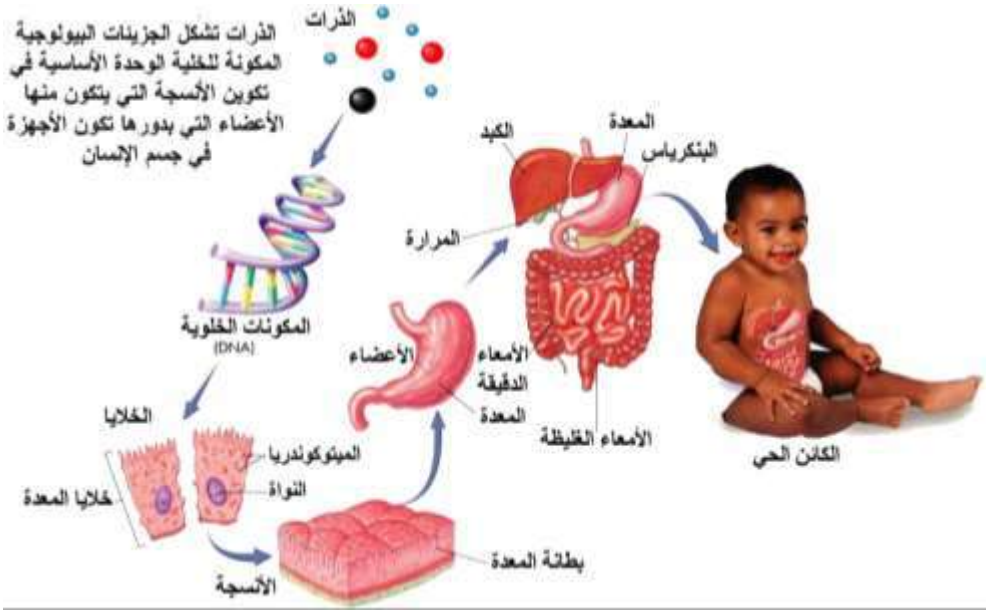
3- الأغذية الدهنية، وهي تلك التي تحتوي على نسب عالية من الدهون في تركيبها الكيميائي.

ويجب أن تحتوى كل من الأغذية الكربوهيدراتية والبروتينية والدهنية (في الغذاء الصحي والمتوازن) على نسب جيدة من الفيتامينات والعناصر المعدنية لكي نُحقق أهداف بناء وتجديد وتعويض أنسجة الجسم وتنظيم العمليات الحيوية فيه ووقايته من الأمراض.

الفصل الثاني

خلفية فسيولوجية Physiological Background

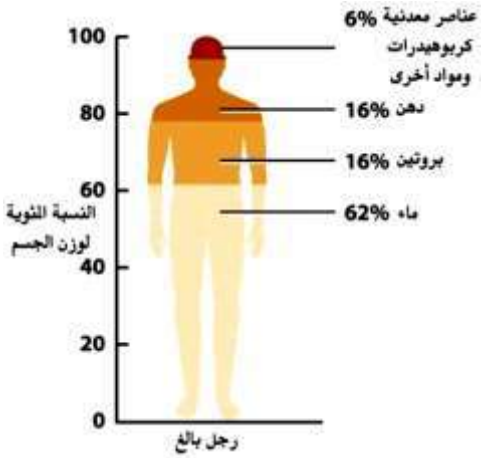
يتكون جسم الإنسان (شأنه شأن بقية الكائنات الحية) من وحدات أساسية تعرف بالخلايا، وتشكل الخلية الوحدة الأساسية في تكوين الأنسجة التي يتكون منها الأعضاء (مثل القلب، الكبد، الكُلى...الخ) والتي بدورها تكون الأجهزة (مثل الجهاز الدوري، الهضمي، البولي...الخ).



الشكل رقم (4) العناصر الكيميائية تشكل الجزيئات البيولوجية المكونة للخلية الوحدة الأساسية في تكوين الأنسجة التي يتكون منها الأعضاء التي بدورها تكون الأجهزة في جسم الإنسان، عن (Wardlaw and Hampl, 2007).

وتختلف خلايا الجسم في أشكالها ووظائفها المتخصصة، ورغم هذا الاختلاف في الشكل والوظيفة فإنها تتشابه في مكوناتها الكيميائية حيث تشكل أربع عناصر كيميائية هي الأكسجين O_2، الكربون C، الهيدروجين H_2، والنيتروجين N_2 ما يقارب 95 % من كتلة الخلية، ومن هذه العناصر يتكون الماء والعديد من المركبات العضوية التي تنتمي إلى الكربوهيدرات والبروتينات والليبيدات والأحماض النووية والمرافقات الإنزيمية، وإضافة إلى العناصر المذكورة هناك كميات أقل من العناصر المعدنية، وهذه المركبات الكيميائية (الكربوهيدرات والبروتينات والليبيدات والأحماض النووية والمرافقات الإنزيمية والعناصر المعدنية) تشكل جسم الإنسان الذي يكون معدل تركيبه بعد تكامل النمو كالآتي: الماء بمعدل يتراوح بين 55 – 65 %، الدهون بمعدل بين 14 – 27 %، البروتين بمعدل بين 15 – 17 %، الأملاح المعدنية بمعدل بين 3.5 – 5.8 %، كربوهيدرات بمعدل بين 0.7 – 1.5 %، إضافة إلى كميات صغيرة جداً من الفيتامينات، لكن هذا

المعدل عرضة للتغيير وخاصة نسبة الدهون (والتي تكون عند النساء أكبر من كميتها لدى الذكور) ويمكن أن ترتفع هذه النسب من الدهون إلى معدلات كبيرة قد تصل إلى 70.0% من وزن الجسم في حالات السمنة (البدانة) المفرطة.

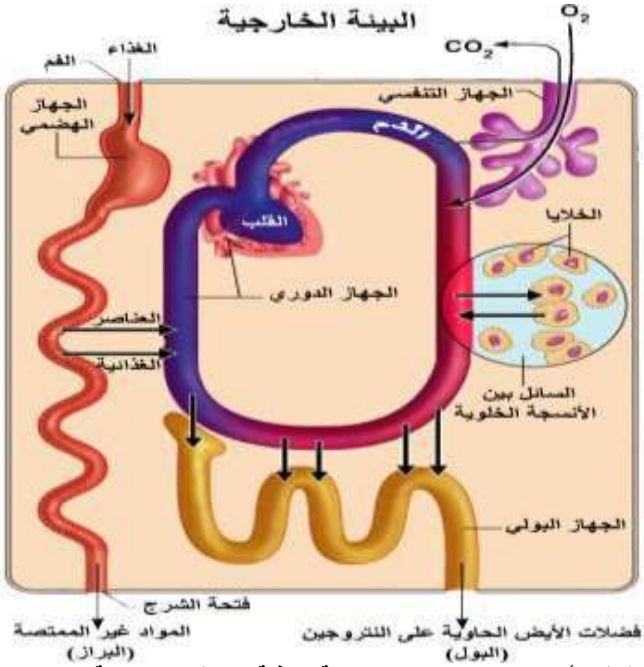


الشكل رقم (5) النسب المئوية للمركبات العضوية في جسم الأنسان (يميناً)؛ وقدرة الجسم (الكبيرة) على تخزين الدهون في حالة السمنة المفرطة (إلى اليسار)، عن (Grosvenor and Smolin, 2010).

ولخلايا الجسم عمر ثابت ومحدد، وتستبدل بشكل تلقائي عندما تهدم وتموت، وتتفاوت فترة حياة الخلايا من نوع لأخر، فمثلاً خلايا الأنسجة المبطنة للأمعاء حيث تتجدد كل 4 إلى 6 أيام كما تتجدد كريات الدم الحمراء كل 120 يوم، ويقوم الجسم بهضمها وامتصاصها للحيلولة دون فقد المواد التي تحتويها، أما خلايا العظم فتعيش خمسة عشر عاماً إلى خمس وعشرين عاماً ويتوقف عمل هذه الخلايا بصورة شبه نهائية عندما يأخذ العظم شكله النهائي، بينما الخلايا العصبية لا تتجدد، مما يعني بقاء الخلايا العصبية طيلة العمر بدون تجديد ولا يتم تعويض التالف منها. ويتم تجديد وبناء الخلايا من خلال المواد الغذائية التي نتناولها بغية إصلاح خلايا وأنسجة الجسم التالفة وترميمها.

أجهزة الجسم وعلاقتها بالتغذية:

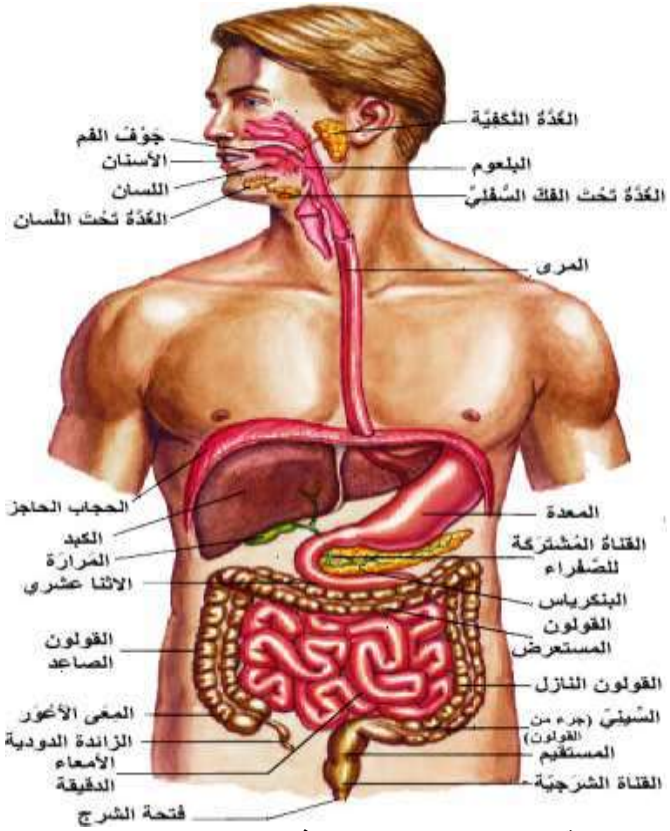
تحصل الكائنات وحيدة الخلية (خلية بمفردها لأنها قادرة على القيام بجميع الوظائف الحيوية) على غذائها من البيئة المحيطة بها، أما الكائنات عديدة الخلايا ومنها الإنسان فلا تتصل مباشرة بالبيئة الخارجية لتحصل على الغذاء، لذا تحتاج إلى أنظمة أو أجهزة خاصة للحصول علي الغذاء وهضمه وتفكيكه وامتصاصه تمهيداً لنقله وإيصاله إلي خلايا الجسم للاستفادة منه، لذا فأنَّ التغذية هي وظيفة من وظائف جسم الإنسان تقوم بها أربعة أجهزة وهي: الجهاز الهضمي، الجهاز الدموي الدوري، الجهاز التنفسي، والجهاز البولي ووحدات الإخراج الأخرى، فمن المعلوم أن الجهاز الهضمي يقوم بهضم الطعام (العمليات الميكانيكية والكيميائية التي تحدث في القناة الهضمية لتحليل الغذاء بما يحتويه من عناصر غذائية معقدة إلى عناصر بسيطة يمكن امتصاصها)، ثم يتم امتصاص الغذاء المهضوم (مرور العناصر الغذائية المهضومة من خلال جدار القناة الهضمية إلى الدورة الدموية) ونقله إلى جميع خلايا الجسم عن طريق الجهاز الدموي الدوري، ولكي يستفيد الجسم من هذا الغذاء المهضوم، يتم أيض الغذاء في وجود الأكسجين الذي يتم نقله من الرئتين (الجهاز التنفسي) إلى جميع خلايا الجسم، وبذلك تتولد الطاقة اللازمة للجسم، ونتيجة لذلك تتكون فضلات نتيجة عمليات التمثيل الغذائي (الأيض) يتم أخرجها عن طريق الجهاز البولي ووحدات الإخراج الأخرى.



الشكل رقم (6) رسم تخطيطي لأجهزة الجسم التي تقوم بعملية التغذية والوظائف المتعلقة بها، عن (Marieb and Hoehn, 2006).

1- الجهاز الهضمي Digestive system:-

يختص الجهاز الهضمي بهضم الطعام من خلال تقطيعه وتمزيقه وطحنه وبلعه ومزجه بالعصارات الهاضمة المختلفة التي تحتوي على الإنزيمات الهاضمة والتي تفرز من كل من الغدد اللعابية والمعدة والكبد/المرارة والبنكرياس والأمعاء الدقيقة، ويقوم بتحويل المركبات المعقدة في الغذاء إلى مركبات بسيطة يسهل للجسم الاستفادة منها في الحصول علي الطاقة وبناء الجسم وأداء مختلف عملياته الحيوية بعد امتصاص المواد المهضومة والتخلص من المواد غير المهضومة. ويتألف الجهاز الهضمي من القناة الهضمية وملحقاتها التي تشمل الأسنان واللسان والغدد اللعابية والكبد والبنكرياس، وهذه الأعضاء جميعها تسهم بعملية هضم الطعام ميكانيكياً من خلال عمليات ميكانيكية (تمزيق الطعام وتقطيعه إلي أجزاء صغيرة وطحنه وتقليبه واستحلابه)، وكيميائياً (إنزيمياً) لتحويله إلى مركبات وجزيئات أبسط ليسهل إمكانية عبور الطعام المهضوم من خلال جدار الأمعاء إلى مجرى الدم، وبالتالي يصل إلى جميع خلايا الجسم. ويتكون الجهاز الهضمي (شكل رقم 7) من القناة الهضمية وملحقاتها.



الشكل رقم (7) يوضح الجهاز الهضمي في الإنسان، عن (Fox, 2003).

أ- القناة الهضمية:-

هي عبارة عن أنبوبة طويلة تبدأ بالفم وتنتهي بفتحة الشرج، وتشمل مكوناتها:

أولاً- الفم Mouth:-

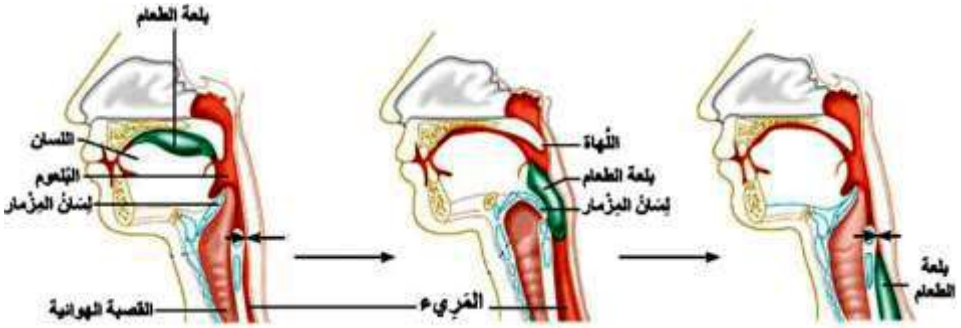
هو أول أجزاء القناة الهضمية، ويحاط الفم بشفتين عضليتين متحركتين عليا وسفلى، حيث تساعد الشفتان عند فتحة الفم على الشرب والتقاط الطعام. وفي الفم تتم عملية مضغ الطعام، وهي أول عملية من عمليات هضم الطعام، وذلك بتفتيت الطعام إلى قطع صغيرة من خلال تقطيعها وتمزيقها وطحنها بالأسنان وذلك لزيادة السطح المعرض للعصارات الهاضمة، واثناء عملية المضغ يتم خلط الطعام باللعاب الذي يتفاعل كيميائيًا مع الطعام مما يكسبه قوامًا عجينيًا ويجعله أسهل في البلع. ويفرز اللعاب من ثلاثة أزواج من الغدد اللعابية Salivary gland، واللعاب سائل لزج يفرز في الفم، ويؤدي دورًا مهمًا في هضم الطعام، وهو ذو مظهر مائي عديم اللون، ويحتوي على بعض المخاط الذي يليّن الطعام حتى يكون سهل الابتلاع، وبالإضافة إلى ذلك يحتوي اللعاب على بيكربونات الصوديوم وغيرها من الأملاح التي تنتج أثرا قلوياً يحد كيميائيا من الحموضة التي قد توجد في بعض الأطعمة والمشروبات، ويحتوي اللعاب أيضًا على أول الإنزيمات الهضمية للجهاز الهضمي حيث تؤثر هذه الإنزيمات بصفة خاصة على الأطعمة الكربوهيدراتية، نتيجة احتوائها على إنزيم أميليز اللعاب (بتيالين) Salivary amylase الذي يحوّل الكربوهيدرات المعقدة مثل النشا والجلايكوجين إلى مواد بسيطة كربوهيدراتية مثل المالتوز، وهذه هي الخطوة الأولى لعملية الهضم.

النشا (كربوهيدرات معقدة) $\xleftarrow[\text{Salivary amylase (Ptyalin)}]{\text{أميليز اللعاب (بتيالين)}}$ مالتوز (سكر ثنائي) + دكسترينات متعددة

وتنتهي عملية المضغ بقيام اللسان بدفع الطعام إلى داخل البلعوم أثناء عملية البلع.

ثانياً- البلعوم Pharynx:-

البلعوم ممر مشترك لكل من الغذاء والهواء يقع خلف تجويفي الأنف والفم، وبعد ابتلاع الطعام من الفم يقوم البلعوم بنقل الطعام من التجويف الفمي إلى المرئ كما يقوم أيضاً بنقل الهواء من التجويف الأنفي إلى الحنجرة. ونتيجة لتقاطع طريق الغذاء وطريق الهواء في هذا الممر، فمن الممكن أن يدخل الغذاء إلى الحنجرة والقصبة الهوائية مما يمكن أن يؤدي إلى الاختناق، لذلك فإن الخالق عز وجل قد جعل لسان المزمار (غطاء متحرك ورقي الشكل) يقوم بإغلاق فتحة الحنجرة لمنع الغذاء من دخول الحنجرة أو القصبة الهوائية، والشكل رقم (8) يوضح العمليات التي تحدث عند ابتلاع الطعام، حيث تحدث عمليتان لإغلاق ممر الهواء في الأولى يضغط اللسان على اللهاة فتغلق الفتحة المؤدية إلى الأنف ويدفع اللسان الطعام مباشرة إلى البلعوم، أما العملية الثانية فيقوم لسان المزمار بإغلاق فتحة الحنجرة، مما يؤدي إلى دفع الطعام إلى الممر الخاص به (المريء).



الشكل رقم (8) يوضح عملية بلع الطعام ودور اللهاة في إغلاق الفتحة المؤدية إلى الأنف وكذلك دور لسان المزمار في إغلاق فتحة الحنجرة، عن (Marieb, 2003).

ثالثاً- المريء Esophagus:-

المريء قناة عضلية يبلغ طولها حوالي 25 سم تقع خلف القصبة الهوائية، تمتد عبر التجويف الصدري وتعبر الحجاب الحاجز إلى تجويف البطن ليتصل بالمعدة عند فتحة الفؤاد، وفيها ينتقل الغذاء من البلعوم إلى المعدة عن طريق الانقباضات العضلية (الحركة الدودية) التي تشترك في القيام بها العضلات الدائرية والطولية المحيطة بجدار المريء، والحركة الدودية هي مجموعة من الانقباضات والانبساطات العضلية تستمر على طول القناة الهضمية وهي مسئولة عن دفع الطعام وخضه وعجنه مع العصارات الهاضمة ليسهل امتصاص الغذاء المهضوم، وتحتوى بطانة المريء على غدد تفرز مخاط ولا تفرز إنزيمات هاضمة لكن الهضم الإنزيمي بواسطة أميليز اللعاب يستمر أثناء مرور الغذاء في المريء، إلا أنه يتوقف عند بلوغ الطعام إلى المعدة حيث أن إنزيم أميليز اللعاب لا يعمل في الوسط الحامضي للمعدة.

رابعاً- المعدة Stomach:-

هي الجزء المُتَّسع من القناة الهضمية الذي يقع بين المريء والأمعاء الدقيقة، ويفصلها عن المرئ عضلة حلقية تتحكم في فتحة الفؤاد ويفصلها عن الأمعاء عضلة حلقية عاصرة تتحكم في فتحة البواب، وتتكون المعدة من الأجزاء الآتية:

1- فتحة الفؤاد مكان اتصال المريء بالمعدة، تليها منطقة صغيرة جداً من المعدة تسمى الفؤاد.
2- قاع المعدة القسم الذي يتجاور مع فتحة الفؤاد، تسكنه فقاعات هوائية تتمدد مع الطعام المبتلع ويسمى الجيب الهوائي.
3- جسم المعدة ويمتد من الفؤاد إلى نهاية الانحناء الصغير.
4- الانحناء الصغير يمتد من فتحة الفؤاد حتى البواب، ويشكل المكان المقعر من المعدة.
5- الانحناء الكبير يقع في الحافة اليُسرى من المعدة.
6- غار المعدة وهو القسم السفلي المتضيّق من المعدة، يمتد من الأسفل لينتهي بالبواب.
7- البواب وهو تضيّق غار المعدة والذي يفتح على الاثنى عشر.

ويتكون جدار المعدة من أربع طبقات مرتبة من الداخل إلى الخارج وهي:

1- الطبقة المخاطية Mucosa (الطبقة المحيطة بتجويف المعدة) وتتكون من طيات كبيرة تستقيم كلما امتلأت المعدة بالطعام كما تحتوى أيضا على حفر معدية Gastric peptic صغيرة دائمة تفتح فيها قنوات الغدد المعدية Gastric glands. وتنقسم المعدة تبعاً لنوع الغدد الموجودة في هذه الطبقة إلى:

أ- المنطقة المريئيه Esophageal Region: تلي نهاية المرئ ولا تحتوي على أي غدد بالجدار.

ب- المنطقة الفؤاديه Cardiac: تلي المنطقة المريئيه وتحتوى الغدد الفؤاديه المُفرزه للمخاط.

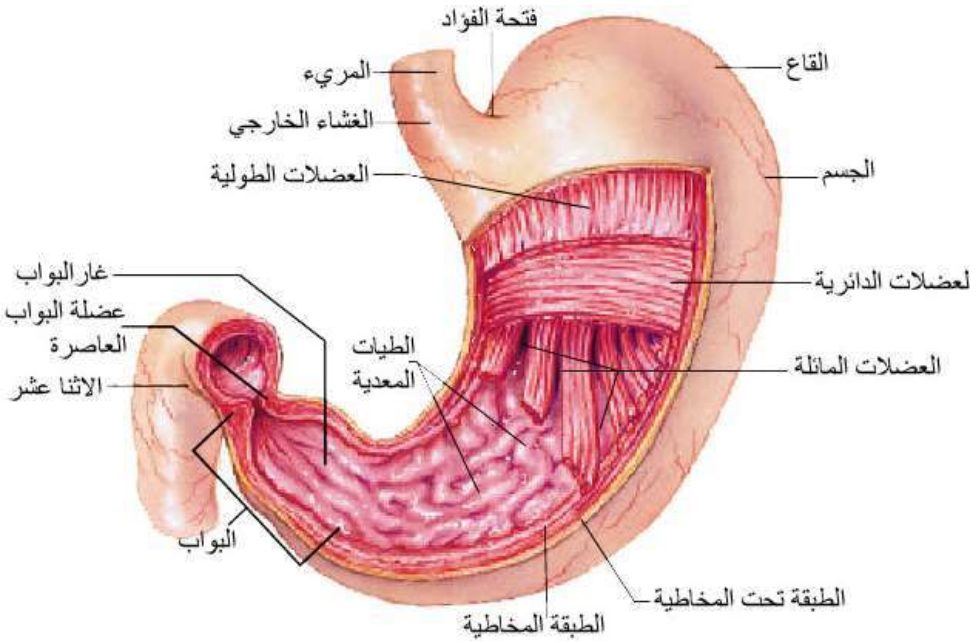
ج- المنطقة القاعدية Fundic: وهى الجزء المفرز للعصارة المعدية.

د- المنطقة البوابية Pyloric: تحتوى غدد أنبوبيه تفرز المخاط وهرمون الجاسترين.

2- الطبقة تحت المخاطية Sub-Mucosa، عبارة نسيج ضام يحوي الغدد المعدية Gastric glands يبلغ عددها في الإنسان اليافع حوالي أربعون مليون غدة.

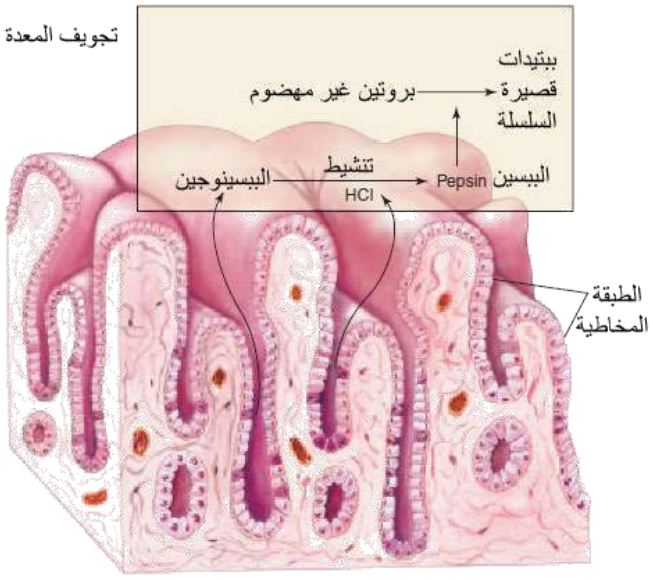
3- الطبقة العضلية الخارجية Tunica muscularis وتتكون من عضلات دائرية وطولية وأخرى مائلة أو منحرفة.

4- الطبقة المصلية Serosa، وهي غشاء بريتوني من نسيج ضام مرن مغطى بنسيج طلائي حرشفي يغلف المعدة.



الشكل رقم (9) يوضح تركيب المعدة، عن (Fox, 2003).

تفرز المعدة في المنطقة البوابية هرمون الجاسترين Gastrin الذي ينشط إفراز حامض الهيدروكلوريك HCl والببسينوجين، وتعرف إفرازات الغدد المعدية بالعصارة المعدية وهي تفرز في الطبقة المخاطية (المنطقة القاعدية) التي تحوي غدد أنبوبيه تتكون كل منها من ثلاث أنواع من الخلايا هي: خلايا العنق Neck Cells (توجد في عنق المعدة وهى تفرز المخاط)، الخلايا الجدارية Parietal Cells (ذات شكل هرمي وتفرز حامض الهيدروكلوريك HCl)، والخلايا الرئيسية Chief Cells التي تفرز أنزيم الببسينوجين وهو أهم أنزيم تفرزه المعدة حيث يفرز في صورة غير نشطة ولا يُنشط إلا بعد خروجه من الخلايا إلى تجويف المعدة بفعل حامض HCl وبذلك يتحول إلى الببسين الذي يهضم الأغذية البروتينية (كاللحوم وغيرها) ويحولها إلى ببتيدات قصيرة السلسلة (بروتيوزات ثم إلى ببتونات) لاحظ الشكل رقم (10)، لكن إنزيم الببسين لا يستطيع أن يحلل الببتونات إلى جزيئات أصغر مهما أتيح له من الوقت.



الشكل رقم (10) يوضح إفراز أنزيم الببسينوجين الذي يتحول إلي ببسين (في وجود HCl)، عن (Fox, 2003).

كما تفرز المعدة كذلك (خصوصاً عند الأطفال الرضع) إنزيم الرنين الذي يحول الحليب (السائل) إلى خُثرة شبه صلبة تبقى في المعدة لحين هضم البروتينات التي يحتويها الحليب، وتفرز المعدة أيضاً أنزيم الليبيز المعدي، الذي يقوم بهضم الدهون المُستحلبة حيث يحولها إلى أحماض دهنية وجليسرول، غير أن هضم الدهون في المعدة محدود للغاية (بسبب الحموضة العالية للعصارة المعدية مما يجعلها وسطا غير ملائم لعمل هذا الإنزيم) ويكاد أن يكون هضم الدهون بأكمله في الأمعاء الدقيقة بفعل إنزيم الليبيز البنكرياسي، أما حامض الهيدروكلوريك فليس إنزيماً ولكنه إفراز مهم لخفض الأس الهيدروجيني في المعدة مما يسمح لأنزيم الببسين بأداء وظيفته

إذ لا يعمل الأخير إلا في بيئة حمضية ذات رقم هيدروجيني pH منخفض جدا، كما أنه يقضي على كثير من الأحياء المجهرية التي تغزو الجهاز الهضمي، كما انه يعمل على انتفاخ البروتينات لتسهيل هضمها. أما وظيفة المخاط الأساسية فهي حماية الغشاء الطلائي للمعدة من تأثير حامض الهيدروكلوريك، وإذا ما حصل اختلال في إفراز المخاط في جزء من جدار المعدة فتهضم العصارة المعدية هذا الجزء من جدار المعدة مما يتسبب في الإصابة بقرحة المعدة، كما تفرز المعدة مركباً كيميائياً يسمي العنصر الداخلي Intrinsic factor وهو مركب ضروري لامتصاص فيتامين B_{12} (الذي يتم في الأمعاء الدقيقة).

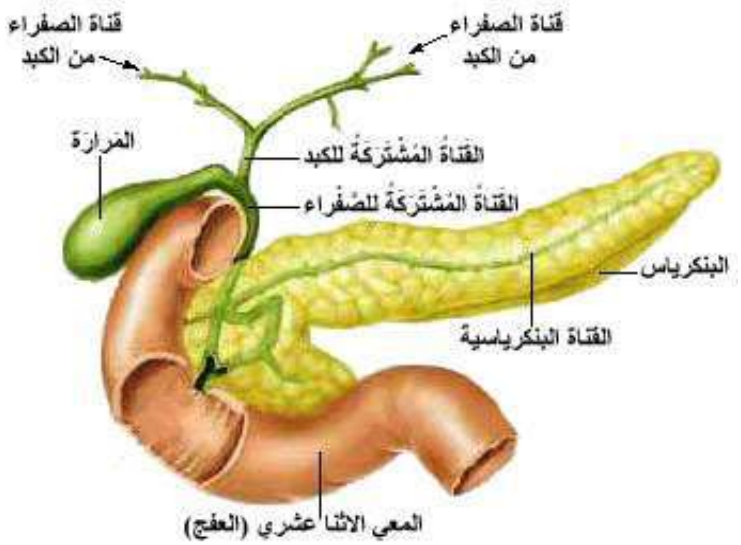
تنقبض عضلات المعدة انقباضات قوية تعمل على مزج الطعام بالعصارة المعدية التي يفرزها الغشاء المخاطي المبطن للمعدة ويفتح البواب من وقت لآخر ليسمح بمرور الغذاء من المعدة إلى الاثنى عشر وانقباضات الطبقة العضلة للمعدة تكون مصحوبة بحركات تموجية دورية وتتجه هذه الحركات من الفؤاد نحو البواب وتعرف هذه الحركات بالحركة الدودية أو الحركة التقلصية وهي تنتشر في طول القناة الهضمية ويتحكم بها هرمون الموتيلين Motilin الذي يفرز في الأمعاء الدقيقة ويعمل على تنظيم حركة عضلات الجهاز الهضمي، كذلك تقوم المعدة بواسطة انقباضاتها العضلية القوية بمزج الغذاء وتقليبه لبضعة ساعات حتى يصبح على هيئة معجون سائل يُسمَّى الكيموس Chyme وهو عبارة عن كتل من الطعام كثيفة القوام وهو ذو قوام مناسب للدخول علي دفعات للأمعاء الدقيقة، ويتم دفع هذه الكتل بواسطة الحركة الدودية من المعدة إلى الأمعاء الدقيقة. ومن المعلوم بأن هناك عضلة عاصرة تحيط بأول الجزء الفؤادي للمعدة تعمل على قفل الفؤاد أثناء وجود الطعام بالمعدة، كما تحفظ العضلة البوابية (عضلة دائرية حول فتحة الاثنى عشر) الطعام في المعدة حتى يصبح على هيئة معجون سائل، ثم ترتخي فتتيح للكيموس المرور إلى الأمعاء.

خامساً- الأمعاء الدقيقة Small intestine:-

هي القسم الأكبر من القناة الهضمية وتشغل معظم التجويف البطني على هيئة لفات، وفيها تجري معظم عملية الهضم الميكانيكي والكيميائي، وفيها تكتمل هذه العملية التي بدأت في الفم ثم في المعدة، وبالإضافة إلى الهضم تقوم الأمعاء الدقيقة بوظيفة أخرى مهمة وهي امتصاص العناصر الغذائية المتحصل عليها من الغذاء المهضوم الذي يمر خلال نتوءات صغيرة طولها حوالي ملليمتر واحد موجودة في الطبقة المخاطية المبطنة للأمعاء الدقيقة تسمى الزَّغابات المِعَويَّة (الخملات) Villi ومنها ينتقل الغذاء المهضوم إلى الدم والليمف، وتتكون الأمعاء الدقيقة من 3 أجزاء هي على التوالي: الأثناعشر (العفج) Duodenum، الصائم Jejunum، واللفائفي Ileum.

1- الأثناعشر (العفج) Duodenum:-

هو القسم الأول من الأمعاء الدقيقة يلي المعدة مباشرة ويبلغ طوله حوالي 24 سم وهو أكثر اتساعا من بقية الأمعاء الدقيقة ويتميز الاثنى عشر بانحنائه على شكل قوس متجه إلى اليسار حيث يوجد البنكرياس وتصب فيه إفرازات غدتي الكبد والبنكرياس من خلال فتحة واحدة تشترك فيها القناة الصفراوية والقناة البنكرياسية.



الشكل رقم (11) يوضح الأثناعشر وقنوات إفرازات غدتي الكبد والبنكرياس، عن (Vander, *et al.* 2000).

2- الصائم Jejunum:-

هو ذلك الجزء من الأمعاء الدقيقة الذي يلي الاثنى عشر وينتهي بمنطقة اللفائفي وطوله حوالي مترين ونصف متر.

3- اللفائفي Ileum:-

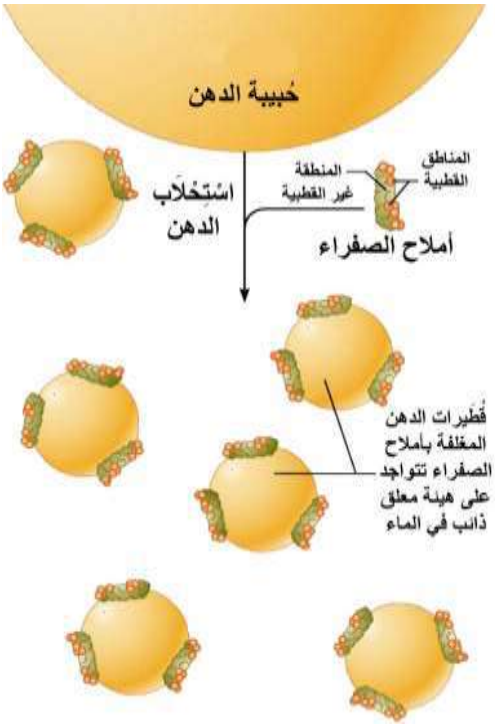
هو جزء كثير الالتفاف يبلغ طوله حوالي ثلاثة أمتار ونصف متر يكون باقي الأمعاء الدقيقة ويحدث فيه امتصاص الغذاء المهضوم، ويتصل بالأمعاء الغليظة عند الصمام اللفائفي القولوني ويعمل هذا الصمام كعضلة عاصرة حول نهاية اللفائفي تمنع محتويات اللفائفي من المرور بسرعة إلى الأعور (أول جزء من الأمعاء الغليظة).

<u>الهضم في الأمعاء</u>:-

بمجرد مغادرة مخلوط الطعام المعروف بالكيموس للمعدة وانتقاله للأمعاء فإنه يتعرض فوراً لمجموعة من العصارات الهاضمة، وكون هذه العصارات قلوية التفاعل فإنها تعادل معظم HCl الموجود في الكيموس ولذلك يتضاءل تأثير إنزيم الببسين المفرز في العصارة المعدية، والعصارات التي تعمل على هضم الطعام في الأمعاء الدقيقة هي:

1- العصارة الصفراوية:-

تقوم المرارة (كيس صغير على شكل الكمثرى يقع في الجزء الأيمن السفلي من الكبد) بتخزين العصارة الصفراوية التي يفرزها الكبد على الغذاء أثناء مروره في الإثنى عشر، وخلال عملية الهضم، تنساب العصارة الصفراوية من الكبد عبر القناة الكبدية إلى قناة الصفراء العامة وتفرغ العصارة الصفراوية في الإثنى عشر، ولا يحتاج الجسم إلى العصارة الصفراوية بين وجبات الطعام، ولكنها تستمر في الانسياب من الكبد إلى القناة الصفراوية العامة وتبقى بعيدًا عن الاثنا عشر حيث تُركز وتُخزن في المرارة إلى حين الحاجة لها عند الهضم، حيث تتقلص المرارة بعمل هرمون يدعى كولي سيستوكينين Cholecystokinin يتكون في الجزء العلوي من الأمعاء الدقيقة، كما يعمل هذا الهرمون على زيادة إفراز إنزيمات العصارة البنكرياسية. وتخلو العصارة الصفراوية من الإنزيمات الهاضمة لكنها تحتوي علي مجموعة أملاح تسمى أملاح الصفراء وأحماض تسمى أحماض الصفراء وبعض الأصباغ تسمى (أصباغ الصفراء)، والوظيفة الأساسية للعصارة الصفراوية في عملية الهضم هي استحلاب الدهون (تحويلها إلى مستحلب دهني) أي تجزئة الحبيبات الكبيرة إلي قطرات دهنية دقيقه فيسهل ويسرع التأثير الإنزيمي علي الدهون التي لا تذوب في الماء.



الشكل رقم (12) يوضح تأثير العصارة الصفراوية في استحلاب الدهون.

2- العصارة البنكرياسية:-

إفراز قاعدي مائي عديم اللون، أسه الهيدروجيني 8 (pH = 8). والإفراز البنكرياسي يحتوى على بعض المواد غير العضوية مثل بيكربونات الصوديوم التي (يحفز إفرازها بواسطة هرمون السكرتين Secretin) بحيث تعادل تأثير حامض الهيدروكلوريك المفرز من المعدة وتجعل الوسط قلويا، وكذلك يحتوي على إنزيمات قادرة على هضم الكربوهيدرات، الدهون، والبروتينات.

وهذه الإنزيمات تتمثل بـ إنزيم الإميليز البنكرياسي الذي يحلل النشا والجلايكوجين إلى سكر المالتوز، وإنزيم الليبيز الذي يحلل الدهون مائيا إلى أحماض دهنية وجليسرول وذلك بعد استحلابها بواسطة أملاح الصفراء، وإنزيم التربسينوجين وهو إنزيم غير نشط ومتى وصل إلى الاثنى عشر فانه يتحول إلى تربسين (نشط) بفعل إنزيم التربسين إنتيروكينيز الذي يفرزه الجدار الخلوي للأمعاء الدقيقة، ويساعد إنزيم التربسين على هضم البروتينات، كما يفرز البنكرياس إنزيم الكيموتربسينوجين الذي ينشط بواسطة التربسين فيتحول إلى الكيموتربسين المحلل للبروتينات.

النشا والجلايكوجين (كربوهيدرات معقدة) ← (الإميليز البنكرياسي / Pancreatic amylase) مالتوز (سكر ثنائي)

الدهون المستحلبة ← (إنزيم الليبيز / Pancreatolipase) أحماض دهنية + جليسرول

البروتينات ← (إنزيمات التربسين والكيموتربسين / Trypsin and Chymotrypsin) عديد الببتيد + أحماض أمينية

وعموماً الإنزيمات المنتهية باللاحقة جين gen مثل إنزيم الببسينوجين الذي تفرزه المعدة، وإنزيمات التربسينوجين والكيموتربسينوجين المفرزة من البنكرياس هي أنزيمات غير نشطة (وتسمي إجمالاً زيموجينات Zymogens) وهذه هي الصيغة التي تكون عليها هذه الأنزيمات عند إفرازها، ويتم تحويلها إلي الصيغة النشطة بعد الإفراز.

3- العصارة المعوية:-

مجموعه من الإنزيمات تفرزها خلايا خاصة في جدار الأمعاء الدقيقة وتقوم بعمليات الهضم النهائي لمكونات الغذاء وتشمل:

1. **إنزيم التربسين إنتيروكينيز وهو ليس من الإنزيمات الهاضمة بل إنزيم منشط لإنزيم التربسينوجين البنكرياسي.**
2. **مجموعة إنزيمات الببتيديز وهي عدة أنواع يختص كل نوع منها بتكسير الروابط الببتيدية بين أنواع معينة من الأحماض الأمينية في سلسلة عديد الببتيد لتكون في النهاية الأحماض الأمينية المختلفة.**

عديد الببتيد ← (مجموعة إنزيمات الببتيديز / Peptidases Enzymes Groups) أحماض أمينية

3- مجموعة الإنزيمات المحللة للسكريات الثنائية إلى السكريات الأحادية وهى:

المالتوز ← إنزيم المالتيز Maltase ← جزيئين من سكر الجلوكوز

السكروز ← إنزيم السكريز (الإنفرتيز) Sucrase (invertase) ← جلوكوز وفركتوز

اللاكتوز ← إنزيم اللاكتيز Lactase ← جلوكوز وجالاكتوز

جدول رقم (2): يلخص الإنزيمات الهاضمة ومكان إفرازها وظائفها

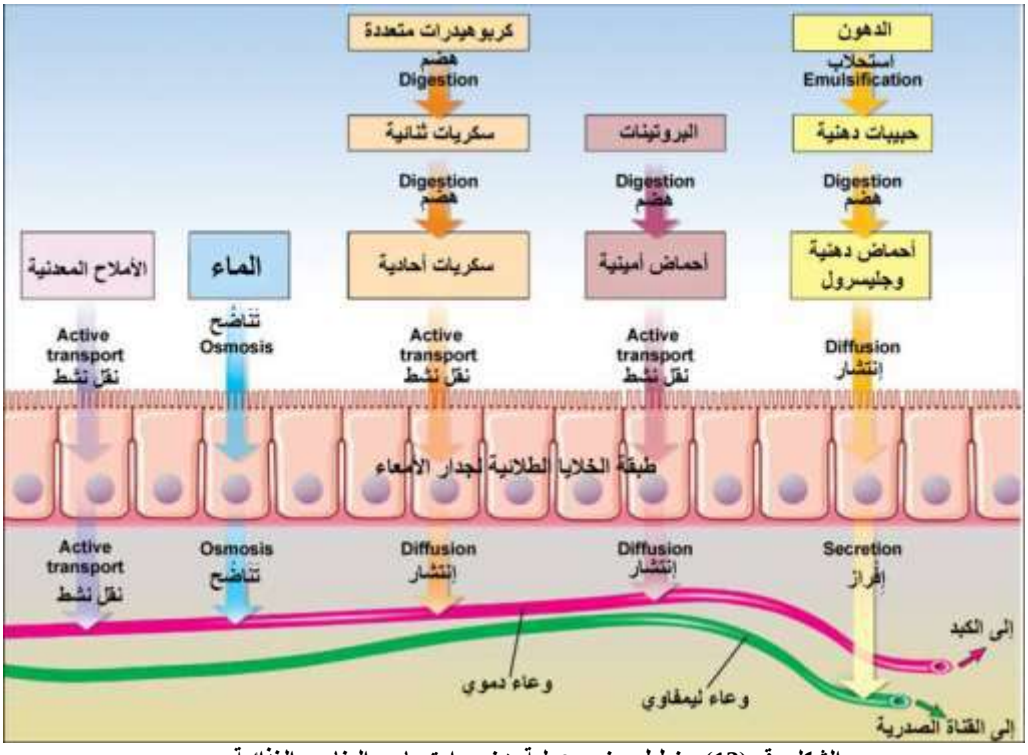
العضو	الإنزيم	وظيفته
الغدد اللعابية	أميليز اللعاب	هضم الكربوهيدرات وتحويلها إلى مالتوز ودكسترينات متعددة
المعدة	حامض HCl	تحويل ببسينوجين إلي ببسين وتوفير بيئة ملائمة لعمله
	الببسينوجين	يتحول إلى الببسين الذي يهضم البروتينات ويحولها إلى بروتيوزات ثم إلى ببتونات (هضم جزئي)
	الرنين	تحويل الحليب إلى خُثرة شبه صلبة تبقى في المعدة لحين هضم البروتينات التي يحتويها
	الليبيز المعدي	هضم الدهون المُستحلبة حيث يحولها إلى أحماض دهنية وجلسرول (محدود الأهمية)
	العنصر الداخلي Intrinsic factor	مهم لامتصاص فيتامين B_{12} (الذي يتم في الأمعاء الدقيقة)
الكبد	العصارة الصفراوية	استحلاب الدهون (تحويل الدهون إلي مستحلب دهني)
البنكرياس	الإميليز البنكرياسي	تحليل النشا والجلايكوجين إلى سكر المالتوز
	الليبيز البنكرياسي	تحليل الدهون مائيا إلى أحماض دهنية وجليسرول بعد استحلابها
	التربسينوجين	إنزيم غير نشط ومتى وصل إلى الاثنى عشر فانه يتحول إلى تربسين نشط يهضم البروتينات إلى أحماض أمينية وببتيدات
	الكيموتربسينوجين	إنزيم غير نشط، ينشط بواسطة إنزيم التربسين فيتحول إلى إنزيم الكيموتربسين الذي يهضم البروتينات إلى أحماض أمينية وببتيدات
الأمعاء الدقيقة	تربسين إنتيروكينيز	تنشيط إنزيم التربسينوجين وتحويله إلى تربسين (نشط)
	مجموعة إنزيمات الببتيديز	عدة أنواع من الإنزيمات يختص كل نوع منها بتكسير الروابط الببتيدية بين أنواع معينة من الأحماض الأمينية
	إنزيم المالتيز	هضم المالتوز (سكر ثنائي) إلى وحدتين من الجلوكوز
	إنزيم السكريز	هضم السكروز (سكر ثنائي) إلى جلوكوز وفركتوز
	إنزيم اللاكتيز	هضم اللاكتوز (سكر ثنائي) إلى جلوكوز وجالاكتوز

جدول رقم (3): يلخص بعض الهرمونات المفرزة في القناة الهضمية ومكان إفرازها وظائفها

العضو	الهرمون	وظيفته
المعدة	الجاسترين Gastrin	تنشيط إفراز حامض HCl والببسينوجين
الأمعاء	كولي سيستوكينين Cholecystokinin	انقباض الحوصلة المرارية لتصب العصارة الصفراوية في الاثني عشر، كما يعمل على زيادة إفراز إنزيمات العصارة البنكرياسية
	السكرتين Secretin	حفز البنكرياس لإفراز بيكربونات الصوديوم والماء
	الموتيلين Motilin	تنظيم حركة عضلات الجهاز الهضمي

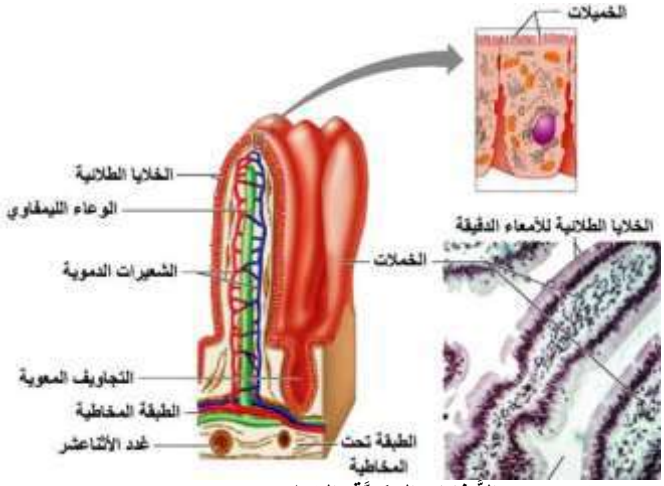
الامتصاص في الأمعاء:-

بعد قيام الإنزيمات الهاضمة بتفكيك العناصر الغذائية إلى عناصرها الأساسية فتتفكك المواد الكربوهيدراتية إلى سكريات أحادية بسيطة (جلوكوز وفركتوز وجالاكتوز)، والدهون إلى جليسرول وأحماض دهنية، والبروتينات إلى أحماض أمينية، فإن الخطوة التالية هي امتصاص هذه الجزيئات البسيطة وما يوجد معها من عناصر أخرى مثل الفيتامينات والأملاح المعدنية والماء إلى الدم ليمكن نقلها إلى خلايا الجسم المختلفة.



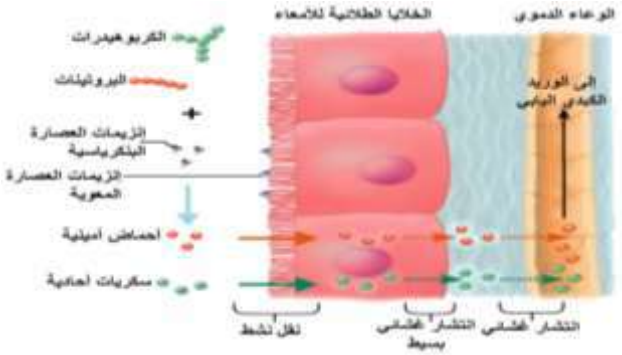
الشكل رقم (13) مخطط يوضح عملية هضم وامتصاص العناصر الغذائية.

ويتم الامتصاص في الأمعاء الدقيقة حيث توجد تراكيب خاصة للامتصاص تسمى الزَّغابات المِعَويَّة (الخملات) Villi وهي عبارة عن ثنيات بارزة من الغشاء المخاطي تشبه الأصابع، وتتكون الخملة من طبقه طلائية بداخلها وعاء ليمفاوي يحيط به شبكه من الشعيرات الدموية الشريانية والوريدية. ويوجد في كل واحدة من هذه الزَّغابات المِعَويَّة (الخملات) آلاف الثنيات الدقيقة جدا والتي تسمى الخملات المجهرية (الخميلات) وهي امتدادات دقيقه جدا لخلايا الطبقة الطلائية للخملة حيث يؤدي وجودها إلي زيادة مساحة سطح الأمعاء الدقيقة بدرجة هائلة (تبلغ مساحة سطح الأمعاء الدقيقة في الإنسان 500 – 600 متر مربع)، ومن الخملات ينتقل الغذاء المهضوم إلى الدم والليمف بواسطة خاصيتي الانتشار الغشائي والنقل النشط.



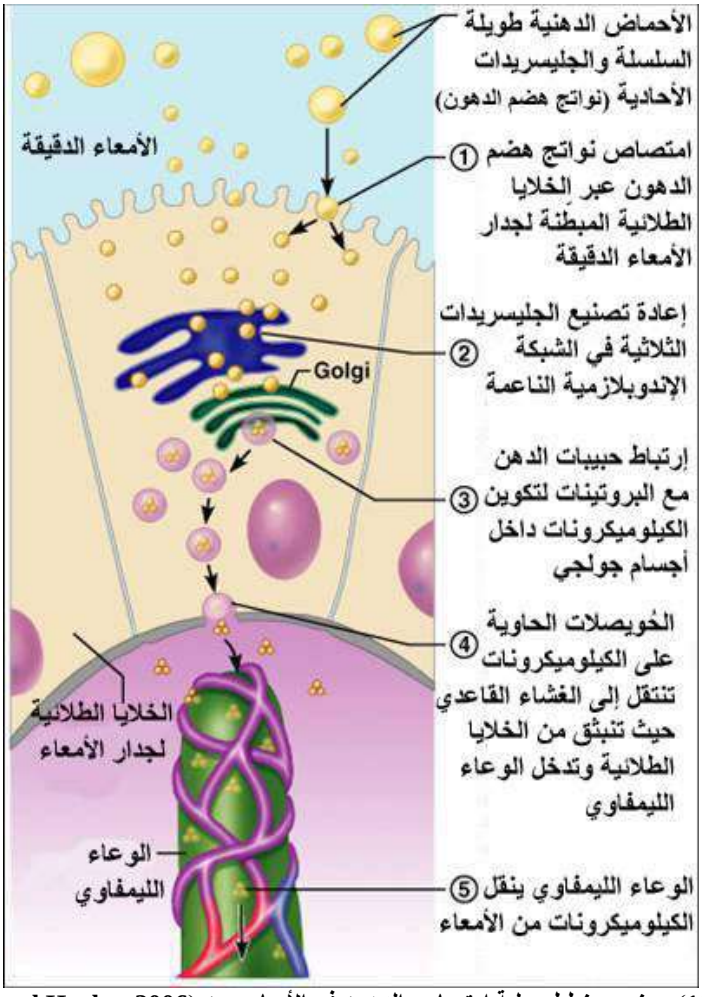
الشكل رقم (14) يوضح تركيب الزَّغابات المِعَويَّة (الخملات)، عن (Marieb and Hoehn, 2006).

يتم امتصاص السكريات الأحادية والأحماض الأمينية والفيتامينات الذائبة في الماء والمعادن والأحماض الدهنية قصيرة السلسلة (أقل من 10 ذرات كربون) والجليسرول والنيوكليوتيدات مباشرة عبر الخميلات إلي الدم من خلال الشعيرات الدموية.



الشكل رقم (15) يوضح مخطط بسيط لعملية هضم وامتصاص السكريات الأحادية والأحماض الأمينية في الأمعاء الدقيقة، عن (Marieb and Hoehn, 2006).

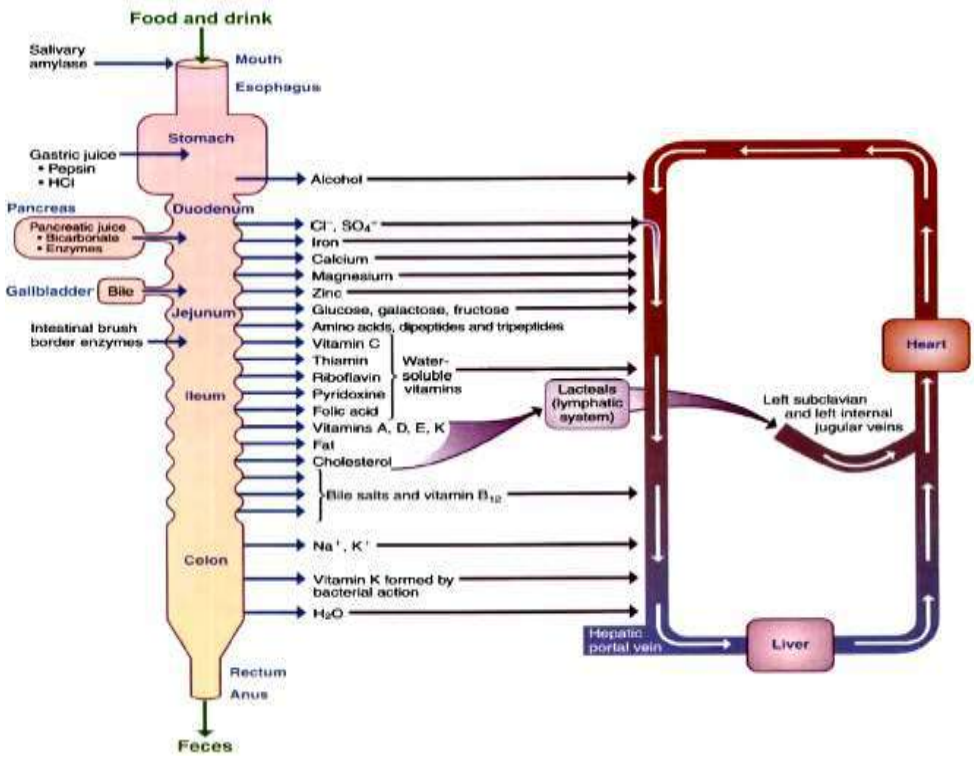
أما الأحماض الدهنية طويلة السلسلة (أكبر من 10 ذرات كربون) والجلسريدات الأحادية وكذلك الفيتامينات الذائبة في الدهن فامتصاصها يتم أولا بواسطة الخلايا الطلائية المبطّنة لجدار الأمعاء الدقيقة (بعد انفصال أملاح الصفراء التي تمتص وتعود إلى الكبد بواسطة الوريد البابي لإعادة استخدامها في استحلاب الدهون)، وفي داخل الخلايا الطلائية المبطّنة لجدار الأمعاء الدقيقة يتم إعادة تصنيع الجليسريدات الثلاثية من كلٍ من الأحماض الدهنية الطويلة السلسلة والجلسريدات الأحادية في الشبكات الإندوبلازمية الناعمة للخلايا الطلائية، ثم تتجمع مع كميات بسيطة من البروتينات والفوسفوليبيدات والكولسترول والفيتامينات الذائبة في الدهن في هيئة مستحلب يسمى كيلوميكرونات Chylomicrons (تُكوّن الجليسريدات الثلاثية أكثر من 85 % من تركيبه) في أجسام جولجي للخلايا الطلائية ثم تنتقل إلى الأوعية الليمفاوية ثم إلى الدم.



الشكل رقم (16) يوضح مخطط عملية امتصاص الدهون في الأمعاء، عن (Marieb and Hoehn, 2006).

سادساً- الأمعاء الغليظة Large intestine:-

يبلغ طولها مترًا ونصف المتر، وتتكون الأمعاء الغليظة من أقسام مختلفة هي: الأعور Cecum، القولون Colon، والمستقيم Rectum، حيث تبدأ الأمعاء الغليظة بالأعور وهو جزء منفتح مقفل من أسفل يقع في الجزء السفلى للتجويف البطني ويتصل به من أسفل الزائدة الدودية. يلي الأعور القولون الذي يتصل بالأعور من أعلى، ويبدأ القولون بالقولون الصاعد الذي يصعد على الجانب الأيمن للتجويف البطني حتى السطح السفلى للكبد ثم يتجه إلى اليسار مكونا القولون المستعرض الذي يعبر التجويف البطني إلى الجانب الأيسر ثم ينحني ويمتد إلى أسفل على هيئة القولون النازل الذي ينتهي في القولون الحوضي الذي يقع في الحوض، ويؤدى القولون الحوضي إلى المستقيم الذي يمتد إلى القناة الشرجية التي تنتهي بفتحة الشرج.



الشكل رقم (17) امتصاص العناصر الغذائية في القناة الهضمية، عن (Mahan and Escott-Stump, 2008).

وبوصول الطعام إلى الأمعاء الغليظة يكون قد تم إفراز كمية من العصارات الهاضمة من كل من الغدد اللعابية والمعدة والمرارة والبنكرياس والأمعاء تصل إلى حدود 7 إلى 9 لترات، ويتبقى حوالي 1500 مليليتر من الكتلة الغذائية المهضومة (الكيموس) فيجري تركيزها بامتصاص كمية كبيرة من الماء الذي تحتويه، ويتم امتصاص المواد الغذائية المهضومة والجزء الأكبر من الماء قبل وصول الطعام إلى الأمعاء الغليظة.

إن الوظيفة الأساسية للأمعاء الغليظة هي امتصاص الماء والفيتامينات والأملاح من المادة المتبقية التي لم تُهضم كطعام، وتطرح الفضلات من الجسم، ولا تفرز الأمعاء الغليظة أي أنزيمات والإفراز الوحيد فيها هو مخاط قلوي يحمي الخلايا الطلائية للأمعاء الغليظة، ولكن البكتيريا الموجودة في الأمعاء الغليظة تقوم بهضم بعض هذه المواد ببطء مما يؤدي إلي إنتاج بعض الفيتامينات (خصوصاً فيتامين K، وكميات أقل من فيتامين B_{12}) التي يمتصها جدار الأمعاء الغليظة، كما تقوم البكتيريا الموجودة في الأمعاء الغليظة بتخمير كتلة الطعام غير المهضومة المتبقية منتجةً غازات H_2 و CO_2 والميثان والأمونيا، وكذلك أحماض عضوية كحامضي اللاكتيك والخليك إضافة إلى مركبات كيميائية أخرى بعضها ذات تأثير سمي، وبعد ذلك تتحرك الفضلات (التي تكون كتلتها اليومية بين 100 إلى 200 جرام) إلى أسفل في اتجاه المستقيم، أي نهاية الأمعاء الغليظة، وتترك الجسم على هيئة براز.

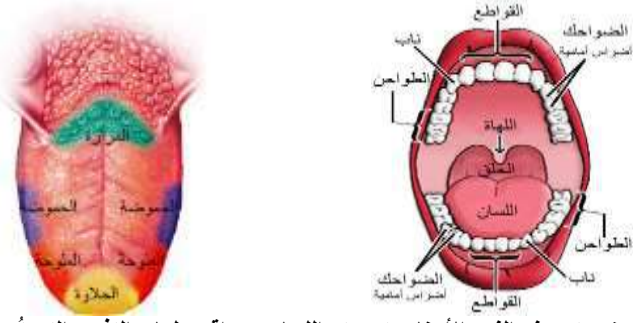
ب- <u>ملحقات القناة الهضمية:-</u> وتشمل مكوناتها:

أولاً- الأسنان Teeth:-

يوجد في داخل التجويف الفمي **Oral cavity** صفَّان من الأسنان واحد فوق الآخر (يبلغ عددها لدى الإنسان البالغ 32 سناً في الفكين العلوي والسفلي)، وتقوم الأسنان بتقطيع وتمزيق وطحن الغذاء وهى مختلفة الشكل والوظيفة فالأسنان التي توجد في الجزء الوسطى الأمامي لكل فك (عددها 4 في كل فك) تعرف بالقواطع وتتميز بأن لها حافة حادة لقضم الغذاء، ويوجد على جانبيها الأنياب (عددها 2 في كل فك) وهي مدببة الأطراف، وتقوم بتمزيق الغذاء، ويليها على كل جانب الأضراس التي تكون سطوحها عريضة تستعمل في طحن الغذاء وعددها عشرة في كل فك (الطواحن أو الضواحك وهي الأضراس الأمامية عددها 4 في كل فك، والطواحن وهي الأضراس الخلفية وعددها 6 في كل فك) شكل رقم (18)، أما الأسنان اللبنية (غير الدائمة) فعددها 20 سن وهي عبارة عن 4 قواطع، نابان و4 ضواحك في كل فك، تبدأ بالظهور في الشهر السادس حيث يظهر أولاً 2 من القواطع على الفك السفلي، ويكتمل ظهورها في عمر سنتين.

ثانياً- اللسان Tongue:-

يحتوي التجويف الفمي على اللسان وهو عضو عضلي قوى متحرك طرفه الخلفي مثبت بينما طرفه الأمامي سائب متحرك ويتكون اللسان من ألياف عضلية تمر في جميع الاتجاهات، بعضها لتثبيت اللسان والبعض الآخر لتمكن من اتخاذ أشكال مختلفة، ولتسمح له بحركات ضرورية لعمليات المضغ والبلع والمص، حيث يساعد اللسان في تقليب الطعام أثناء المضغ ودفعة إلى الخلف أثناء البلع ويتصف سطح اللسان السفلي بالنعومة أما العلوي فخشن بسبب النتوءات المنتشرة على سطحه والتي تشكل أربعة أصناف من نتوءات التذوق (حلمات التذوق) التي تساعدنا على التمييز بين الطعم الحلو، والحامض، والمالح، والمُر، شكل رقم (18).



الشكل رقم (18) يوضح تجويف الفم والأسنان (يمين)، اللسان ومواقع حلمات التذوق التي تُميز بين الطعم الحلو، والحامض، والمالح، والمُر (يسار).

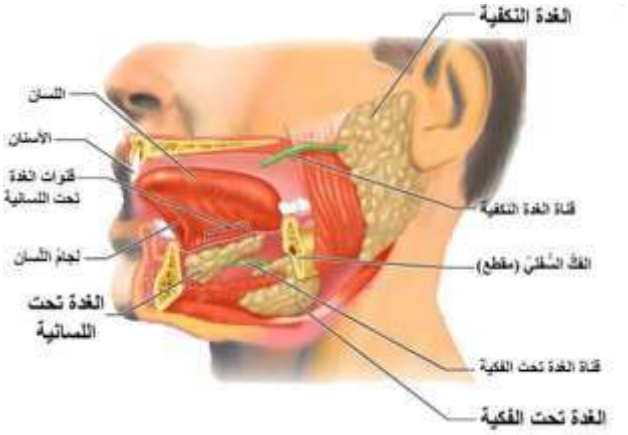
ثالثاً- الغدد اللعابية Salivary gland:-

غدد عنقوديه تتكون من مجموعه فصوص يربطها نسيج ضام داخل الفم والوجنتين وهي:

1- الغدد النكفية Parotid gland وتوجد في جانبي الوجه مباشرة أمام أسفل الأذنين.

2- الغدد تحت الفكية Submandibular gland وتوجد تحت الفك الأسفل.

3- الغدد تحت اللسانية Sublingual gland وتوجد تحت اللسان.



الشكل رقم (19) يوضح مواقع الغدد اللعابية، عن (Marieb and Hoehn, 2006).

رابعاً- الكبد والمرارة Liver and Gallbladder:-

الكبد Liver أكبر غدة في الجسم، تقع في أعلى الجانب الأيمن من البطن تحت الحجاب الحاجز مباشرة وفوق المعدة والأمعاء ولها وظائف عديدة تشمل:

1- تصنيع العصارة الصفراوية وافرزها، والعصارة الصفراوية الزائدة تختزن في كيس المرارة (الحوصلة المرارية)، وهي كيس كمثريّ الشكل يقع في الجزء الأيمن السفلي من الكبد، ومن ثم تنتقل العصارة الصفراوية بواسطة أنبوب مشترك مع أنبوب البنكرياس لتصب في الاثنى عشر.

2- المحافظة على ثبات نسبة الجلوكوز في الدم (حيث يتم في خلايا الكبد تحويل الجلوكوز الزائد من الدم إلى جلايكوجين وتحويل الجلايكوجين إلى جلوكوز عند انخفاض نسبة الأخير في الدم).

3- تخزين عناصر غذائية مثل الجلايكوجين وبعض الفيتامينات مثل A و D، والحديد.....الخ.

4- معادلة السموم وتكسير كثير من المواد السامة التي تشمل المبيدات الحشرية والعقاقير والمضافات الغذائية والمواد الكيميائية الصناعية...الخ، حيث تقوم خلايا الكبد بترشيح هذه المواد الضارَّة من الدم، وتقوم الإنزيمات في خلايا الكبد بتحويل بعض هذه المواد إلى مركبات ذائبة في الماء يحملها الدم إلى الكُلىَ لطردها عن طريق البول.

5- تفكيك الهيموجلوبين (عند تحطم كريات الدم الحمراء) إلى مواد متعددة تشمل الحديد وصبغة صفراء محمرة تسمى بليروبين، وهذه الصبغة تفرز في العصارة الصفراوية، كما يقوم بتخزين الحديد لاستخدامه في إنتاج كريات الدم الحمراء الجديدة.

6- إنتاج أنواع مختلفة من البروتينات المهمّة (كألبومين الدم والبروتينات المهمة في المناعة وفي تجلط الدم وغيرها).

7- أيض وتمثيل العناصر الغذائية، مثل تحويل الأحماض الأمينية والأحماض الدهنية إلى جلوكوز عندما ينخفض مخزونه من الجليكوجين، وخلال عملية الاستفادة من الأحماض الأمينية كمصدر للطاقة يتم نزع مجموعة الأمين منها فتتكَّون الأمونيا التي تعتبر من الفضلات السامة فيقوم الكبد بتحويلها إلى يوريا تفرز مع البول.

خامساً- البنكرياس Pancreas:-

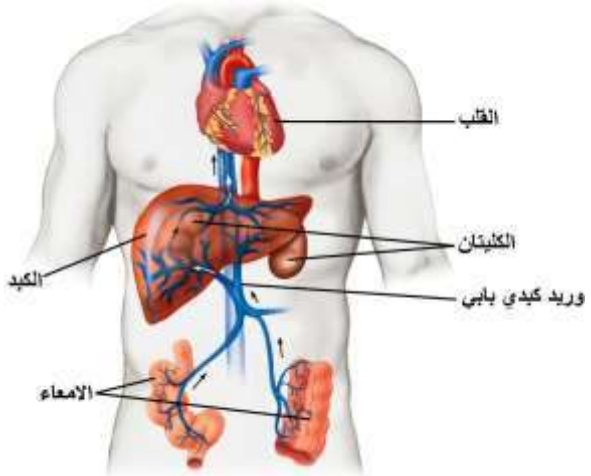
غدة ذات لون أصفر مائل إلى الوردي، يتراوح طولها بين 15 – 20 سم، وعرضها حوالي 3,8 سم، وسمكها حوالي 2,5 سم، ويأخذ البنكرياس موقعًا عرضيًا خلف المعدة. يفرز البنكرياس العصارات الهاضمة السابق ذكرها، كما يفرز هرموني الإنسولين والجلوكاجون، وهما هورمونان ضروريان للمحافظة على توازن السكر في الدم وعمليات الأيض.

*** في الصفحات التالية سنستعرض بشكل موجز (بدون أي إسهاب) بقية أجهزة الجسم الأخرى، وسنقتصر على ذكر علاقة هذه الأجهزة بالتغذية.**

2- الجهاز الدوري Circulatory system:-

هو الجهاز المختص بنقل كل من الغذاء المهضوم من الجهاز الهضمي، والأكسجين من الجهاز التنفسي لجميع أجزاء الجسم ثم نقل نواتج أيض وتمثيل الغذاء من الخلايا إلى أعضاء الإخراج. ويتكون الجهاز الدوري للإنسان من ثلاثة أجزاء هي القلب، الأوعية الدموية، والدم. وتتلخص أهمية ووظائف الجهاز الدوري في أنه يحمل الدم الذي يقوم بالوظائف التالية:

1- **نقل العناصر الغذائية المهضومة في الجهاز الهضمي (الماء، الأملاح المعدنية، السكريات الأحادية، الأحماض الأمينية والفيتامينات الذائبة في الماع) من الأمعاء بدأً بالشعيرات الدموية في كل خملة إلي الوريد البابي الكبدي الذي يصب في الكبد ومن ثم عن طريق الوريد الكبدي لتصب في الوريد الأجوف السفلي وتصل إلى أنسجة الجسم المختلفة.**



الشكل رقم (20) يوضح نقل العناصر الغذائية من الأمعاء عبر الوريد البابي الكبدي إلى الكبد ومن ثم إلى القلب عن طريق الوريد الكبدي لتصب في الوريد الأجوف السفلي وتصل من خلال الجهاز الدوري إلى أنسجة الجسم المختلفة.

2- **نقل الغازات الناتجة عن عمليات التبادل الغازي بالجهاز التنفسي.**

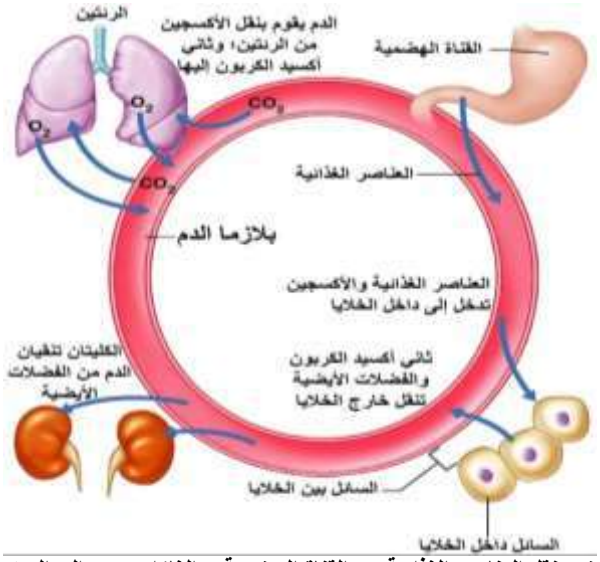
3- **نقل مخلفات الأيض الخلوي من الخلايا إلى الكليتين، الجلد، الرئتين، والأمعاء للتخلص منها خارج الجسم.**

4- **نقل الهرمونات من الغدد الصماء إلى الأعضاء المستهدفة بعملها.**

5- **حفظ الرقم الهيدروجيني pH لسوائل الجسم حيث تعمل بروتينات بلازما الدم كماده منظمه.**

6- **حماية الجسم من الأمراض حيث تبتلع كريات الدم البيضاء البكتيريا والفيروسات والمواد الضارة وتدمرها.**

7- **يساعد الدم أثناء دورانه على بقاء درجة حرارة الجسم ثابتة، وذلك عن طريق امتصاص الحرارة أثناء عملية توليد الطاقة بالخلايا.**



الشكل رقم (21) يوضح نقل العناصر الغذائية من القناة الهضمية، والغازات من وإلى الرئتين، ومخلفات الأيض الخلوي من الخلايا إلى الكليتين والرئتين، للتخلص منها خارج الجسم، عن (Marieb and Hoehn, 2006).

3- الجهاز اللمفاوي Lymphatic system:-

هو عبارة شبكة من الأوعية الدقيقة التي تشبه الأوعية الدموية، ويمر الجهاز الليمفاوي في الجسم كله، ويسري في داخله سائل شفاف يسمى اللِّمف، مكون من البلازما والبروتينات والأجسام المضادة ومواد أخرى. ومن أهم وظائف الجهاز اللِّمفاوي التي لها علاقة بالغذاء والتغذية عملية نقل الدهون الممتصة من الأمعاء الدقيقة، حيث تقوم الأوعية اللمفاوية الموجودة في جدار الأمعاء بدور مهم في نقل الدهون والتي تكون على شكل كيلوميكرونات Chylomicrons، وهذه الأخيرة تتجه نحوا الأوعية الليمفاوية داخل الخملة ومنها إلي الجهاز اللمفاوي الذي يحملها ببطء ليصُبها في الوريد الأجوف العلوي.

ويعتبر بعض العلماء الجهاز اللِّمفاوي جزءًا من الجهاز الدوري، لأن اللِّمف يأتي من الدم ويعود إليه، حيث يتواجد الدم تحت ضغط مستمر لتمر البلازما بدون صعوبة خلال الجدران الدقيقة للشعيرات الدموية إلى داخل الخلايا وبينها، حيث أن ضغط السوائل في الجسم يجعل الماء والبروتينات وغيرها من المواد تتسرب باستمرار خارج الشعيرات الدموية، ويقوم هذا السائل الراشح بغمر وتغذية أنسجة الجسم، وإذا لم يجد السائل الزائد طريقه إلى الدم فإن الأنسجة تنتفخ وتتورم، ولذا فإن معظم السائل الزائد يرشح إلى داخل الشعيرات الدموية التي يكون ضغط السائل فيها منخفضًا، ويعود الباقي (اللِّمف) عن طريق الجهاز اللمفاوي الذي يقوم بإعادة السوائل من أنسجة الجسم إلى مجرى الدم.

4- الجهاز التنفسي Respiratory system:-

هو الجهاز المختص بتزويد خلايا جسم الإنسان بالأكسجين O_2 الضروري لأنشطتها من أجل التفاعلات الأيضية التي تؤدى لإنتاج الطاقة، وفى نفس الوقت فإن هذه التفاعلات تؤدى لإطلاق ثاني أكسيد الكربون CO_2، فيعمل الجهاز التنفسي على التخلص ثاني أكسيد الكربون الناتج عن عملية أيض المواد الغذائية وإنتاج الطاقة فيها، من خلال عملية تبادل الغازات (تبادل O_2 ، CO_2 بين حوصلات الرئة والشعيرات الدموية الرئوية). ويتكون الجهاز التنفسي من الأنف، البلعوم، الحنجرة، القصبة الهوائية، الشعب الهوائية والرئتين.

5- الجهاز البولي ووحدات الإخراج الأخرى Urinary system & other Secretion Units:-

سبقت الإشارة إلى أنه أثناء عمليات أيض المواد الغذائية تنتج الخلايا مخلفات مثل ثاني أكسيد الكربون CO_2 (حيث أن الكميات الكبيرة من CO_2 تؤدى لإحداث حموضة تعتبر سامة للخلية لذلك فإنه من الضروري التخلص من الكميات الزائدة من CO_2)، ويتم التخلص منه عن طريق الجهاز التنفسي، كما تتكون كميات من الماء H_2O والحرارة يسهم الجهاز التنفسي في التخلص من كميات بسيطة منها، ويسهم الجلد (عن طريق العرق) بالتخلص من كميات محسوسة منها إضافة إلى كميات قليلة من الأملاح واليوريا المتكونة، ولذلك يطلق على هذه الأعضاء تسمية وحدات الإخراج Secretion Units كونها تسهم في التخلص من هذه الفضلات السامة.

بالإضافة إلى ذلك نجد أن هدم البروتين يؤدى لإنتاج مخلفات نيتروجينية سامة مثل الأمونيا واليوريا فضلا عن تراكم كميات كبيرة من الهيدروجين وأيونات كل من الصوديوم والكبريتات والفوسفات (الإليكتروليتات). ويعد الجهاز البولي أحد وحدات الإخراج Secretion Units التي يقوم من خلالها الجسم من التخلص من هذه المواد السامة المتراكمة بالجسم حيث يقوم بالتخلص من الفضلات النيتروجينية السامة الناتجة من تمثيل البروتين ويقوم بالتخلص من الإليكتروليتات المتراكمة، كما ويسهم في التخلص من بعض الحرارة المتكونة نتيجة عمليات الأيض.

وتعتبر الوظيفة الرئيسية للجهاز البولي هي تنظيم الاتزان الحامضي القاعدي في البيئة الداخلية للجسم، والمحافظة على ثبات الحالة الطبيعية للجسم عن طريق التحكم في حجم ومكونات وضغط الدم ويتم ذلك عن طريق إزالة واستعادة كميات معينة من الماء والأملاح، ويتكون الجهاز البولي من كليتين وحالبين ومثانة وقناة بولية.

الباب الثاني

العناصر الغذائية والطاقة

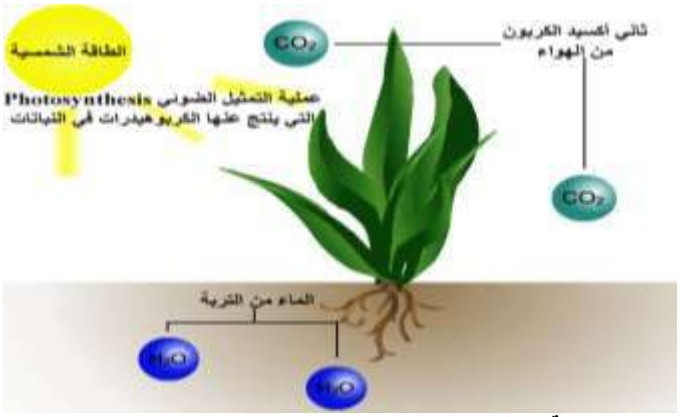
Nutrients and Energy

الفصل الثالث

الكربوهيدرات: مصدر الطاقة الأسهل للجسم

Carbohydrates: The Easiest Energy Source

تعتبر الكربوهيدرات من المركبات الغذائية التي لها دور رئيس في تغذية الإنسان، فهي المصدر الأساسي للطاقة المخزنة في الغذاء، حيث يقوم النبات بعملية التمثيل الضوئي Photosynthesis التي ينتج عنها الكربوهيدرات في وجود الطاقة التي يتحصل عليها النبات من الشمس والماء الذي يحصل عليه النبات من التربة وثاني أكسيد الكربون CO_2 من الهواء.

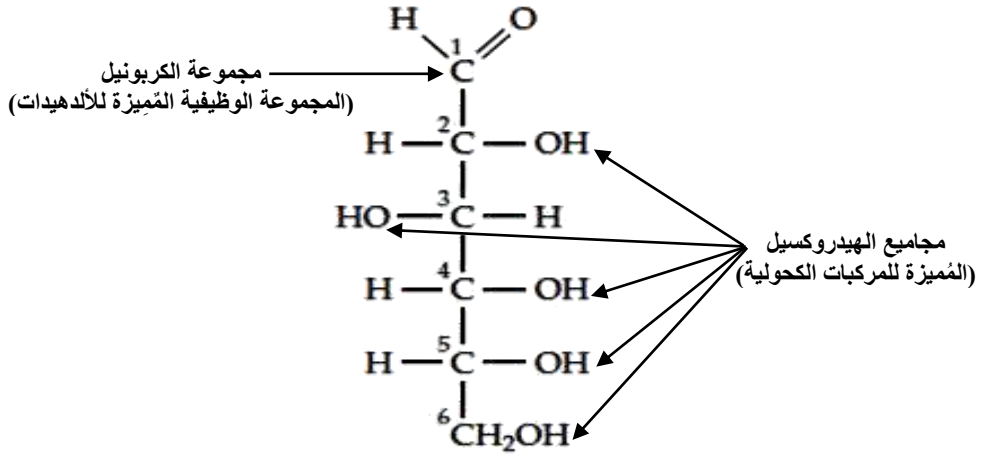


الشكل رقم (22) يوضح عملية التمثيل الضوئي Photosynthesis التي ينتج عنها الكربوهيدرات في النباتات.

والكربوهيدرات تتكون أساساً من عناصر الكربون والهيدروجين والأكسجين، ويرمز لها عامة بالرمز (CH_2O) = $C_n(H_2O)_n$، بذلك نجد أن الهيدروجين والأكسجين يوجدان بنسبة وجودهما في الماء وبذلك سميت في الأصل ماءات (هيدرات) الكربون Carbon-hydrates.

$$nCO_2 + nH_2O \xrightarrow[\text{Photosynthesis}]{\text{عملية التمثيل الضوئي}} C_n(H_2O)_n + nO_2$$

هناك بعض المركبات الأخرى التي لها نفس التركيب العام ولكنها لا تعتبر من الكربوهيدرات مثل الفورمالدهيد CH_2O وحامض الخليك CH_3COOH وحامض اللاكتيك $C_3H_6O_3$. عموماً يمكن تعريف الكربوهيدرات على أساس تركيبها الكيميائي الذي يتكون من الديهيدات كحولية أو كيتونات كحولية فهي تعرف على أنها المركبات التي تتكون من الديهيدات كحولية عديدة الهيدروكسيل أو كيتونات كحولية عديدة الهيدروكسيل أو المركبات التي تتحلل مائياً إلى هذا النوع من الالدهيدات أو الكيتونات. والشكل التالي يوضح الصيغة البنائية لواحد من أهم الكربوهيدرات (سكر الجلوكوز).



الشكل رقم (23) الصيغة البنائية لسكر الجلوكوز، وصيغته الكيميائية $C_6H_{12}O_6$.

أهمية الكربوهيدرات في الأغذية :-

1- رخيصة الثمن نسبياً مقارنة مع المواد الغذائية الأخرى نتيجة سهولة إنتاجها وانخفاض تكاليف خزنها وتصنيعها مقارنة مع البروتينات والدهون، وتنتشر بشكل واسع في الطبيعة، إذ تشكل ثلاثة أرباع المادة الجافة الموجودة في الغذاء النباتي وأكثر من نصف الغذاء المتوفر في العالم.

2- تشكل ثلثي مصدر الطاقة الغذائية التي يحتاجها الإنسان يومياً، وقد تشكل حوالي 90% من الطاقة اليومية لبعض الشعوب الفقيرة، وهي مصدر ممتاز للطاقة يتمكن الجسم من أكسدتها بصورة سريعة لتحرير الطاقة المخزونة فيها ويستعملها في نشاطاته المختلفة.

3- كونها مصدر رخيص للطاقة فهي تساعد على ادخار البروتين (الذي له وظائف أخرى أكثر أهمية من كونه مصدر للطاقة).

4- تعمل على تنظيم أيض الدهون حتى يتم أكسدة الدهون بشكل طبيعي (الفصل الرابع).

5- تعمل على إزالة السموم من الجسم من خلال أيض الجلوكوز الذي ينتج حامض الجلوكورونيك Glucuronic acid الذي له القدرة على الارتباط بالمواد السامة وطردها خارج الجسم.

6- من أهم خواص الكربوهيدرات وخاصة السكريات الأحادية والثنائية في الأغذية هي استعمالها لإعطاء المستوى المرغوب من الطعم الحلو Sweetness. وتختلف السكريات من ناحية الحلاوة النسبية لها ، وإذا ما قورنت بالسكروز (سكر المائدة) الذي نقيم نسبة الحلاوة فيه بقيمة 100% فإننا نجد أن الحلاوة النسبية للسكريات كالآتي:

السكروز Sucrose (سكر المائدة) 100 %، الفركتوز Fructose (سكر الفواكه) 150 %، الجلوكوز Glucose (سكر العنب) 75 %، المالتوز Maltose (سكر الشعير) 60 % واللاكتوز Lactose (سكر الحليب) 20 %.

وتقسم الكربوهيدرات تبعاً لقدرتها على التحلل المائي (وما ينتج عنه) إلى:

1- سكريات أحادية Mono-Saccharides: وهى التي لا يمكن تحليلها إلى سكريات أبسط منها مثل الجلوكوز، المانوز، الفركتوز وتسمى بالسكريات البسيطة.

2- سكريات الاوليجو Oligo-Saccharides: (اوليجو Oligo كلمة لاتينية تعني عدد قليل) ويقصد بها السكريات التي تتحلل مائياً وينتج عنها عدد من وحدات (جزئيات) السكريات الأحادية تتراوح بين 2 إلى 10 وحدات من نوع واحد وأنواع مختلفة من السكريات الأحادية.

3- سكريات عديدة Poly-Saccharides: وهي التي تتحل مائياً وينتج عنها وحدات من السكريات الأحادية متماثلة أو مختلفة وعددها غير معروف ومن أمثلتها النشا، السليلوز، الجلايكوجين والصموغ النباتية.

الكربوهيدرات في الأغذية :- تقسم الكربوهيدرات إلى مجموعتين رئيستين:

- **المجموعة الأولى الكربوهيدرات الذائبة Soluble Carbohydrates أو ما عرّفناه سابقاً بالمستخلص الخالي من النيتروجين Nitrogen-free extract، وهي الكربوهيدرات القابلة للهضم.**
- **المجموعة الثانية الكربوهيدرات غير الذائبة Insoluble Carbohydrates أو ما تسمى بالألياف الغذائية Dietary fiber، وهي الكربوهيدرات غير القابلة للهضم.**

- **الكربوهيدرات القابلة للهضم Digestible Carbohydrates:- وتشمل:**

أولاً:- السكريات الأحادية:-

هي الوحدات البنائية الأساسية لجميع الكربوهيدرات، وتتكون من عدد من ذرات الكربون يتراوح بين 3 إلى 7 ذرات كربون، وبناءاً على ذلك تسمى بالسكريات ثلاثية، رباعية، خماسية، سداسية وسباعية الكربون، إلا أن السكريات الخماسية والسداسية الكربون هي أهمها من الناحية الغذائية، ومن أمثلتها:

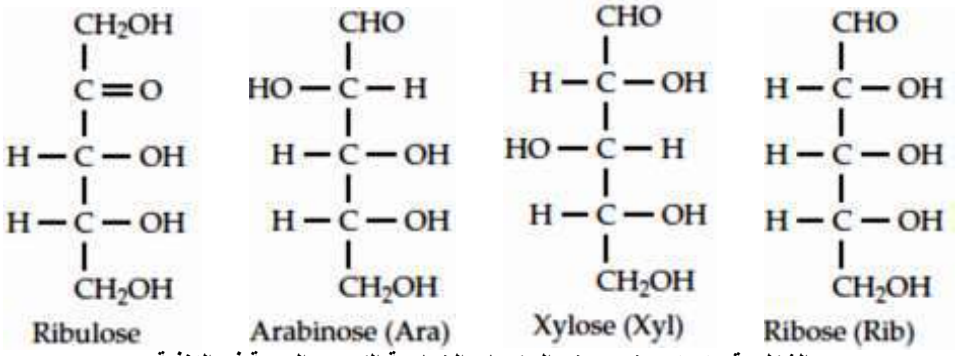
السكريات الخماسية الكربون:-

1- الرايبوز Ribose: من المكونات الأساسية للحامض النووي RNA وكذلك سكر الرايبوز منقوص الأكسجين Deoxyribose الذي يدخل في تركيب الحامض النووي DNA، وتوجد هذه السكريات في خلايا الخميرة وبروتينات الخلية الواحدة Single Cell Proteins.

2- الزيلوز Xylose: يوجد في قوالح الذرة على هيئة سكريات عديدة وفي الدرنات والجذور.

3- الأرابينوز Arabinose: كثير الانتشار في الأجزاء النباتية على حالة متحدة مع أنواع مختلفة من السكريات مكوناً الصموغ والهيمي سليلوز.

4- الريبولوز Ribolose: يعتبر مركباً وسطياً مهماً في أيض الجلوكوز.



الشكل رقم (24) يوضح بعض السكريات الخماسية الكربون المهمة في التغذية.

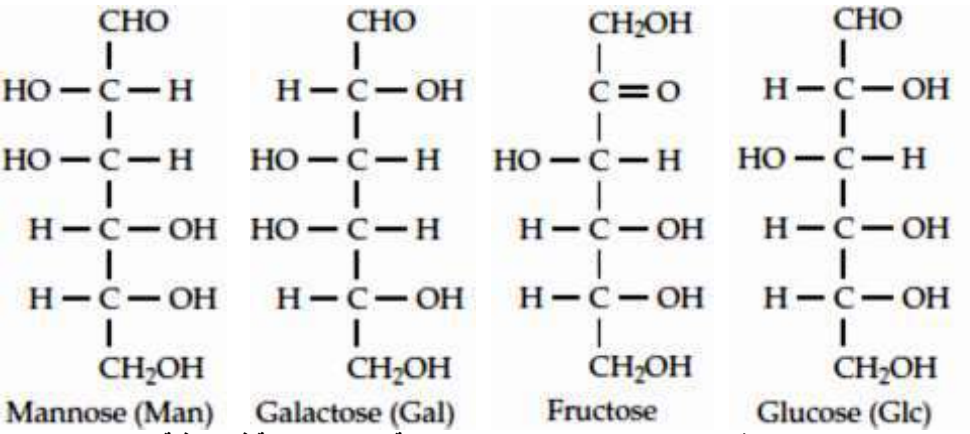
السكريات السداسية الكربون:-

1- الجلوكوز Glucose: يوجد على حالة حرة في عصارة الفواكه وفي عسل النحل ويكون الوحدات البنائية لكثير من السكريات العديدة مثل النشا، الجليكوجين، والسليلوز كما يوجد في تركيب بعض سكريات الاوليجو متحداً مع أنواع مختلفة من السكريات الأحادية.

2- الفركتوز Fructose: يوجد في حالة حرة في عصارة النباتات وفي عسل النحل ويدخل في تركيب السكروز، كما يكون الوحدات البنائية للسكر العديد الانيولين الذي يحضر منه الفركتوز بالتحلل المائي.

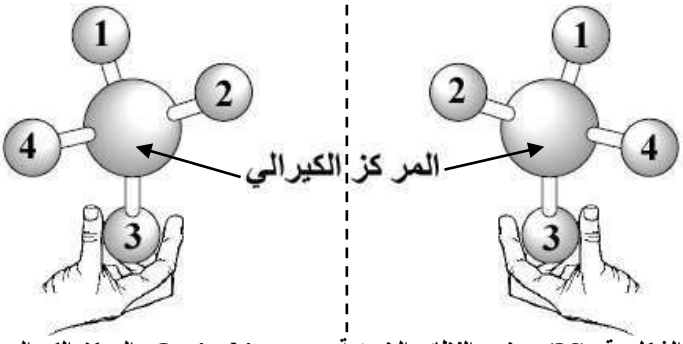
3- الجالاكتوز Galactose: أهم مصادره سكر الحليب حيث يوجد متحداً مع الجلوكوز، وكذلك يوجد في الصموغ النباتية والسكريات العديدة المنتشرة في الأجزاء الخشبية من النباتات.

4- المانوز Mannose: يوجد في البرتقال والزيتون والبذور النابتة ومولاس قصب السكر، ويعتبر جزء أساسي في تكوين البروتينات الكربوهيدراتية Glycoprotein والدهون الكربوهيدراتية Glycolipids.



الشكل رقم (25) يوضح بعض السكريات السداسية الكربون المهمة في التغذية.

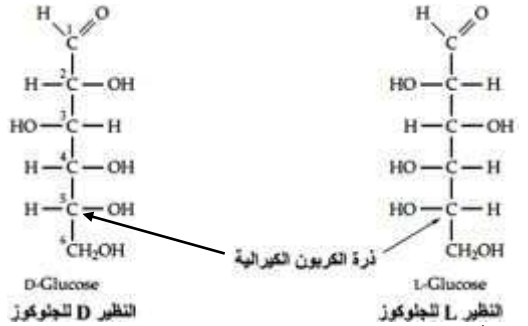
تحتوي السكريات الأحادية الالدهيدية المحتوية على ثلاث ذرات كربون أو أكثر وكذلك السكريات الأحادي الكيتونية المحتوية على أربع ذرات كربون أو أكثر، على نظائر (النظائر مركبات كيميائية متساوية في عدد ذرات العناصر التي تتركب منها إلا أنها تختلف من حيث الطريقة التي تترتّبُ بها الذرات) تعرف بالنظائر الضوئية **Optical isomers**. والنظائر الضوئية تحتوي على ذرة كربون تدعى ذرة الكربون الكيرالية **Chiral** أو غير المتماثلة **Asymmetric**، وكلمة كيرالية **Chiral** صفة للكلمة اللاتينية **Cheir** والتي تعني اليد، فالنظيران الناتجان عن مركز كيرالي يكون أحدهما إلى الأخر مثل اليد اليمنى إلى اليد اليسرى، أي أن أحدهما صورة مرآة للأخر.



الشكل رقم (26) يوضح النظائر الضوئية **Optical isomers** والمركز الكيرالي فيها.

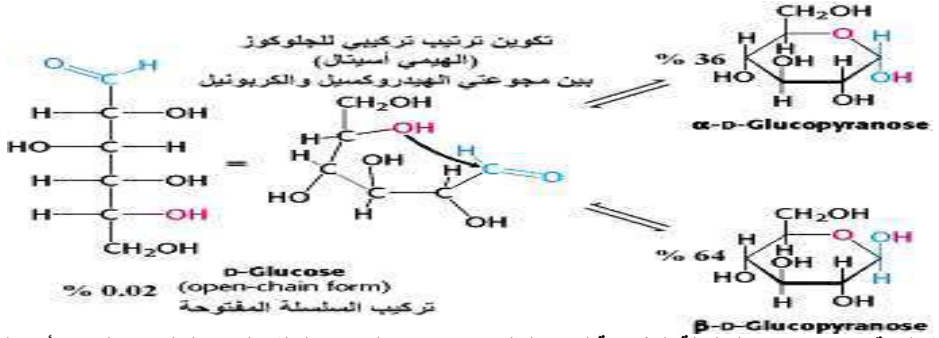
ونلاحظ من الشكل السابق أن ذرة الكربون الكيرالية **Chiral** ترتبط بأربع مجاميع أو ذرات مختلفة عن بعضها تماماً وهي موجودة في كِلا النظيرين إلا أن مواقعها مختلفة بحيث أننا إذا وضعنا مجسم هذين النظيرين متقابلين بدا إحداهما كأنه صورة مرآة للأخر، وبذلك يكون للنظيرين نفس التركيب الكيميائي والخواص الفيزيائية (مثل درجة الغليان والكثافة.....الخ) إلا أنهما يختلفان في خاصية واحدة تتمثل في تأثيرهما على الضوء المستقطب، فالنظير الذي يدير الضوء المستقطب في اتجاه اليمين (في اتجاه عقارب الساعة) يسمى النظير اليمني **Dextrorotatory** ويأخذ الإشارة + والحرف D، أما النظير الذي يدير الضوء المستقطب في اتجاه اليسار (عكس اتجاه عقارب الساعة) يسمى النظير اليساري **Levorotatory** ويأخذ الإشارة – والحرف L.

وقد أوضحت الدراسات أن مجموعة الهيدروكسيل (OH) على ذرة الكربون الكيرالية توجد على اليمين في النظير اليمني، أما في النظير اليساري فتكون مجموعة الهيدروكسيل على اليسار. والشكل التالي يوضح النضيرين الضوئيين لسكر الجلوكوز وموقع ذرة الكربون الكيرالية فيهما.

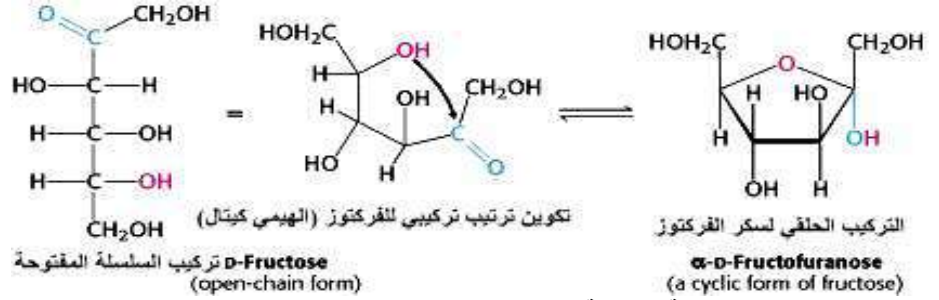


الشكل رقم (27) يوضح النضيرين الضوئيين D و L لسكر الجلوكوز.

وقد لاحظ العلماء أن وصف صيغ السكريات الأحادية على شكل تركيب مفتوح السلسلة لا يساعد في تفسير الخواص العديدة لهذه السكريات والتي تتواجد عادة على ثلاثة أشكال (في حالة توازن) في المحاليل المائية وتتحول بسرعة من شكل لأخر، ولا يمثل شكل السلسة المستقيمة للجلوكوز مثلاً أكثر من 0,02 % من هذه الأشكال والتي يوجد الشكلان الآخران منها في صورة حلقية تُسبق بالحرف α أو β حسب مجموعة الهيدروكسيل على ذرة الكربون رقم واحد. هذه الصورة الحلقية تنتج من تكون ترتيب تركيبي داخلي يدعى الهيمي أسيتال Hemiacetal للسكريات الألدهيدية والهيمي كيتال Hemiketal للسكريات الكيتونية، وهذه التراكيب الداخلية تتكون بين مجوعتي الهيدروكسيل والكربونيل.

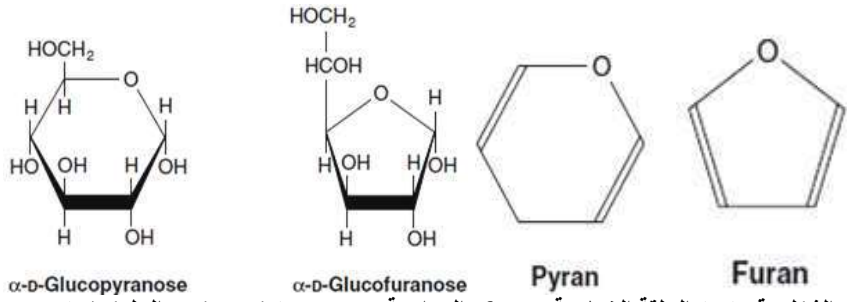


الشكل رقم (28) تركيب السلسلة المفتوحة لسكر الجلوكوز وتكوين التركيب الحلقي لسكر الجلوكوز الهيمي أسيتال، مع توضيح الحالات الثلاث لسكر الجلوكوز في المحاليل المائية ونسب تواجدها.



الشكل رقم (29) تركيب السلسلة المفتوحة لسكر الفركتوز وتكوين التركيب الحلقي لسكر الفركتوز الهيمي كيتال.

والحلقة في التركيب الحلقي لهذه السكريات إما أن تكون سداسية (بيرانوز Pyranose) كما هو في حالة سكر الجلوكوز ولذلك يطلق عليه تسمية Glucopyranose أو تكون خماسية (فيورانوز furanose) كما في حالة سكر الفركتوز ويطلق عليه تسمية Fructofuranose. وعليه فسوف يتم التعبير عن الصيغ التركيبية للسكريات الأحادية من الآن فصاعداً بناء على التركيب الحلقي لهذه السكريات وسكريات الاوليجو والسكريات العديدة المتكونة.



الشكل رقم (30) الحلقة الخماسية furan والسداسية Pyran، وتركيب سكري الجلوكوز (α-D-Glucopyranose) والفركتوز (α-D-Fructofuranose) بالصيغة الحلقية.

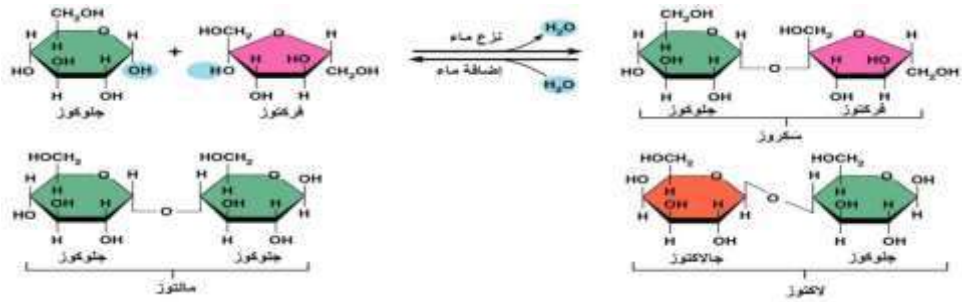
ثانياً:- سكريات الاوليجو:

أ- السكريات الثنائية:-

1- المالتوز Maltose: ويتكون نتيجة اتحاد جزيئين من الجلوكوز D- glucose (α-D-Glucopyranose) ويعرف بسكر الشعير حيث يتكون عند تحلل النشا مائيا بتأثير بعض أنواع الأنزيمات كما يوجد في بعض البذور أثناء الإنبات وفي بعض أوراق النباتات.

2- اللاكتوز Lactose: ويتكون من اتحاد جزئ جلوكوز D-glucose مع جزئ جالاكتوز D-Galactose ويسمى سكر اللبن وهو يوجد في لبن الثدييات بنسبة 1,8- 6,9 %.

3- السكروز Sucrose:- ويتكون من اتحاد جزئ من الجلوكوز α-D-glucose مع جزئ من الفركتوز D-Fructose (α-D-Fructofuranose) وهو من أهم السكريات الشائعة ويسمى سكر القصب كما يسمى سكر البنجر لأنهما المصدرين الرئيسين له كما قد يعرف بسكر المائدة ويكثر في عصارة النباتات وخصوصاً ثمار بعض الفواكه حيث يعطيها المذاق الحلو.



الشكل رقم (31) يوضح بعض السكريات الثنائية المهمة في تغذية الإنسان.

وخلاف المالتوز واللاكتوز والسكروز تحتوي النباتات على مجموعة أخرى من السكريات الثنائية التي لا يمكن هضمها بواسطة الإنسان وبذلك فليس لها قيمة غذائية ولكنها تؤثر على قوام النباتات سواء الطازجة أو المطبوخة ومنها مركب **Celebiose** الذي ينتج من التحلل المائي للسليلوز ويتكون من وحدتين من بيتا جلوكوز مرتبطين برابطة جليكوسيدية.

ب- السكريات الثلاثية والرباعية (غير قابلة للهضم):-

1- **الرافينوز Raffinose:** سكر ثلاثي يتركب من جزيء بيتا فركتوز وجزئ ألفا جلوكوز وآخر ألفا جلاكتوز يرتبط الأول مع الثاني برابطة ألفا- بيتا جليكوسيدية 1-2، والثاني مع الثالث برابطة ألفا جليكوسيدية 1-6 ويحصل عليه أثناء تحضير السكروز من البنجر.

2- **الاستاكيوز Stachyose:** سكر رباعي يتركب من جزيئين ألفا جلاكتوز + جزئ ألفا جلوكوز + جزئ بيتا فركتوز بحيث يرتبط جزئياً الجالاكتوز برابطة جليكوسيديه (α 1-6) ويرتبطان مع جزئي الجلوكوز برابطة جليكوسيديه (α 1-6) بينما يرتبط جزئ الجلوكوز مع الفركتوز برابطة جليكوسيدية من نوع (α β 1-2).

ثالثاً:- السكريات العديدة:

معظم الكربوهيدرات الموجودة في الطبيعة موجودة في صور سكريات عديدة وتوجد أنواع مختلفة منها تختلف عن بعضها البعض في تركيبها البنائي تبعاً للاعتبارات التالية:-

أ- **نوع الوحدات البنائية:** فهي تختلف في نوع السكريات الأحادية المكونة لها فقد تكون من نوع واحد أو من أنواع مختلفة وتختلف الوحدات البنائية في نوع الحلقة، فقد تكون الحلقة سداسية **Pyranose** أو خماسية **furanose**.

ب- **موضع الرابطة بين الوحدات البنائية:** تختلف السكريات العديدة في موضع الرابطة الجليكوسيدية من حيث موضع ذرات الكربون المتصلة ببعضها بهذه الرابطة أو وضع الرابطة إذا كانت α أو **B** فقد تتماثل بعض السكريات العديدة في نوع الوحدات البنائية المكونة لها ولكنها تختلف في موضع الرابطة مثل النشا والسليلوز الذي يتكون كل منهما من وحدات α -D-glucose ولكنهما يختلفان في وضع الرابطة بين الوحدات.

ج- **التشعب:** السكريات العديدة تختلف في تشعبها فبعضها تتصل فيه الوحدات البنائية ونوع واحد ممن الارتباط ويتكون الجزئي من سلسلة غير متشعبة وبعضها توجد على هيئة سلسلة متشعبة نتيجة ارتباط الوحدات البنائية في مواضع مختلفة ومن أمثلة ذلك النشا الذي يوجد منه نوعين كل منهما يتكون من وحدات α -D-glucose ولكن يوجد أحدهما في سلاسل متشعبة (الاميلوبكتين) أما الثاني (الاميلوز) فيوجد في سلاسل غير متشعبة.

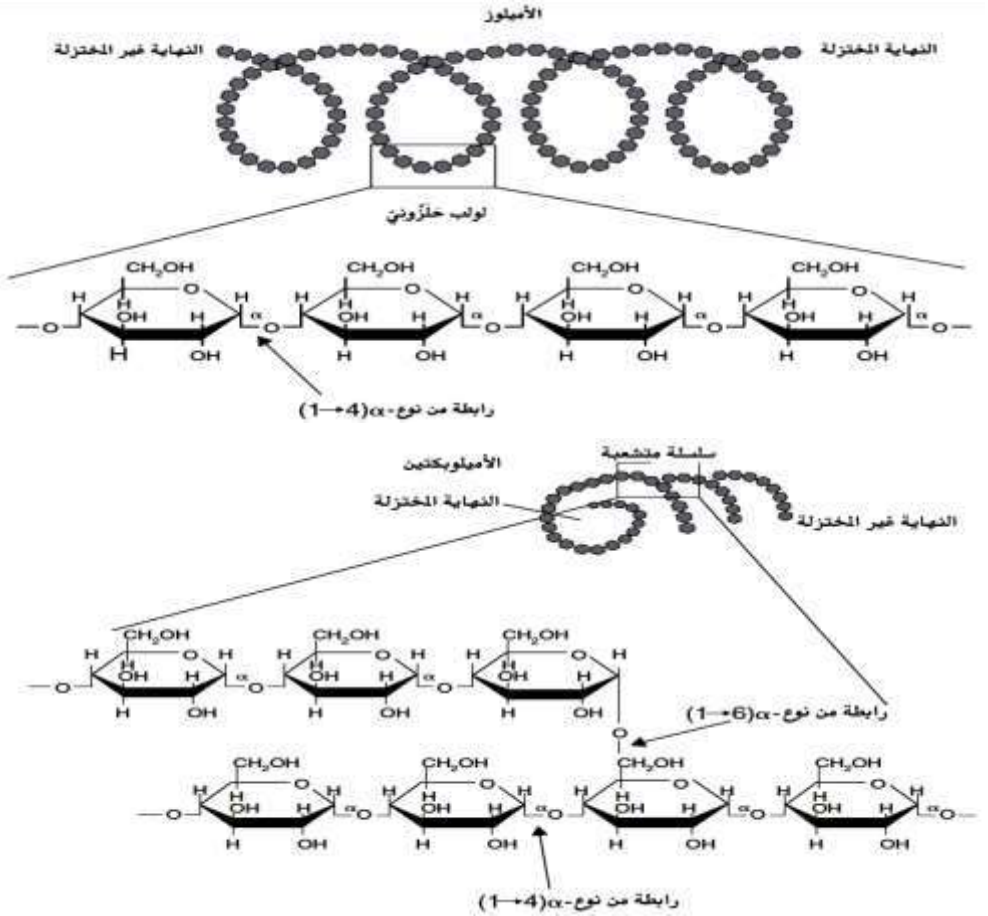
وتقسم السكريات العديدة إلى قسمين:-

✓ **سكريات عديدة متجانسة Homo-polysaccharides:-**

هي السكريات العديدة التي تتكون من نوع واحد من السكريات الأحادية مثل النشا والجلايكوجين (النشا الحيواني الذي يصنعه الحيوان في جسمه من سكر الجلوكوز ويخزنه في الكبد والعضلات) ويعتبران من الكربوهيدرات الذائبة، وكذلك السليلوز الذي يعتبر من الكربوهيدرات غير الذائبة.

✓ **سكريات عديدة غير متجانسة Hetero-polysaccharides:-**

هي السكريات التي تعطي عن تحللها خليطاً من السكريات الأحادية وبعض مشتقاتها، ومن أمثلتها الصموغ النباتية والهمي سليلوز وجميعها من الكربوهيدرات غير الذائبة، التي سيأتي ذكرها لاحقاً.



الشكل رقم (32) نوعي النشا، الاميلوز الذي يوجد سلاسل غير متشعبة والاميلوبكتين الذي يوجد في سلاسل متشعبة.

والجدول التالي يوضح محتوى بعض الأغذية من المواد الكربوهيدراتية.

جدول رقم (4): محتوى بعض الأغذية من المواد الكربوهيدراتية*

الغذاء	إجمالي الكربوهيدرات%	السكريات الأحادية والثنائية %	السكريات العديدة %
العسل	82.3	جلوكوز 28 – 35؛ فركتوز 34 – 41؛ سكروز 1 – 5	--
عصير قصب السكر	14 – 28	جلوكوز + فركتوز 4 – 8؛ سكروز 10 – 20	--
البنجر السكري	18 – 20	سكروز 18 – 20	--
شراب نَباتُ القَيْقَب	65.5	سكروز 58.2 – 65.5؛ سكريات سداسية أخرى 0.0 – 7.9	--
اللّحوم	كميات ضئيلة جداً	جلوكوز 0.01	جلايكوجين 0.1
الحليب	4.9	لاكتوز 4.9	--
الجزر	9.7	جلوكوز 0.85؛ فركتوز 0.85؛ سكروز 4.25	نشا 7.8؛ سيليلوز 1.0
التفاح	14.5	جلوكوز 1.17؛ فركتوز 6.04؛ سكروز 3.78؛ مانوز (كميات ضئيلة)	نشا 1.5؛ سيليلوز 1.0
العنب	17.3	جلوكوز 5.35؛ فركتوز 5.33؛ سكروز 1.32؛ مانوز 2.19	سيليلوز 0.6
الفراولة	8.4	جلوكوز 2.09؛ فركتوز 2.40؛ سكروز 1.03؛ مانوز 0.07	سيليلوز 1.3

* المصدر (deMan, 1999).

- **<u>الكربوهيدرات غير القابلة للهضم Indigestible Carbohydrates</u>:-**

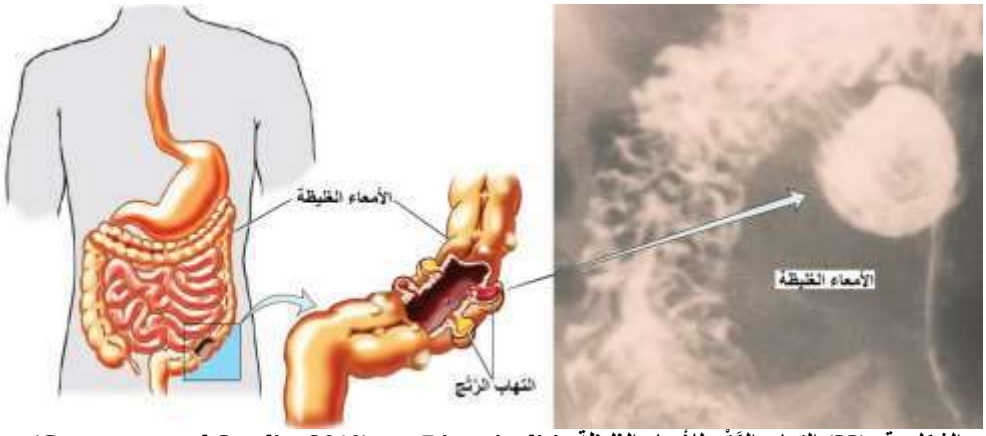
سبقت الإشارة إلى مصطلح الألياف الخام Crude fiber هو المصطلح العام المتعارف عليه لوصف ألياف النباتات، وهى عبارة عن الجزء المتبقي بعد معاملة الغذاء بالأحماض والقلويات المخففة، أي هي عبارة عن مكونات الغذاء المقاومة للأحماض والقلويات المخففة، (في موضوع التحليل التقريبي للأغذية)، لكن الألياف الخام حسب التحليل التقريبي للأغذية لا تشمل جميع مكونات الألياف الغذائية Dietary fiber وهي عبارة عن الألياف المقاومة للإنزيمات الهاضمة الموجودة في القناة الهضمية للإنسان وتشمل الألياف غير الذائبة وأهمها السليلوز Cellulose والألياف الذائبة ومنها البكتين Pectin والنشا المقاوم للهضم واللجنين Lignin وتدعى بمجموعها أيضاً الكربوهيدرات غير المتاحة Unavailable Carbohydrates.

فوائد الألياف الغذائية Dietary fiber:-

الألياف الغذائية Dietary fiber لا تعتبر مصدراً للطاقة عند الإنسان ولكنها تقوم بوظيفة ميكانيكية طبيعية مهمة في صحة الإنسان، و فيما يلي تلخيص لأهم فوائد الألياف الغذائية:

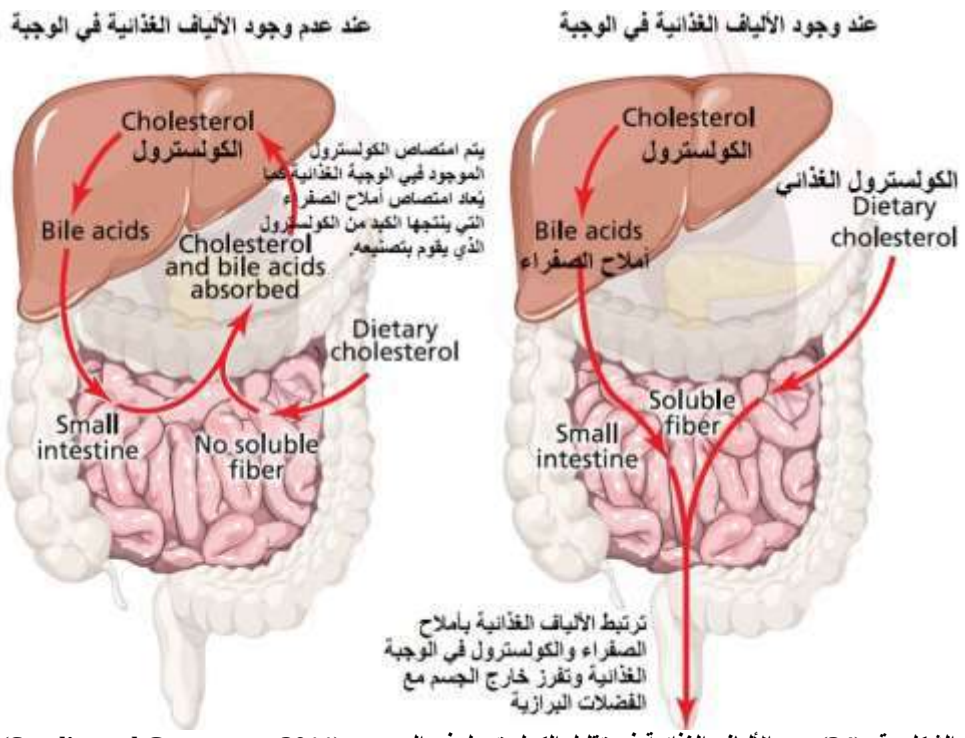
1- الألياف الغذائية مواد مالئة Bulky food: لا تعتبر الألياف مصدراً للطاقة أو للعناصر الغذائية عند الإنسان، ولهذا يمكن إدخالها في وجبات الحمية الخاصة بخفض الوزن، كذلك فالألياف تعطي الشعور بالامتلاء نتيجة لحجمها الكبير الناتج عن عدم قابليتها للهضم، كما أنها تؤخر تفريغ المعدة من الطعام مما يمنح الإحساس بالشبع لفترة طويلة.

2- الألياف الغذائية مواد ملينة Laxative material: تمتص الألياف كمية كبيرة من الماء في الجهاز الهضمي نتيجة لاحتوائها على عدد كبير من مجاميع الهيدروكسيل OH مما يعمل على تلين الكتلة البرازية، كما أنها تعمل على زيادة الحركة المعوية للأمعاء مما يساعد على انزلاق كتلة الفضلات البرازية بسرعة داخل الأمعاء الغليظة، وهذه الميزة تحمي الإنسان من الإصابة بأورام القولون، وكذلك حالات التهاب الرَّتْج للأمعاء الغليظة Diverticulitis والذي ينشا عن ضغط كتلة البراز الجافة على المناطق الرقيقة في الأمعاء الغليظة.



الشكل رقم (33) التهاب الرَّتْج للأمعاء الغليظة Diverticulitis، عن (Grosvenor and Smolin, 2010).

3- تحمي الإنسان من الإصابة بأمراض القلب والأوعية الدموية: حيث أن الوجبة الغنية في محتواها من الألياف تكون منخفضة في نسبة الدهون والسكريات البسيطة والبروتين، حيث أن المبالغة في تناول هذه العناصر الغذائية الثلاثة تعد من العوامل المؤدية إلى الإصابة بأمراض القلب والدورة الدموية، كما أن الألياف الذائبة ترتبط بالكولسترول Cholesterol وأملاح الصفراء Bile Salt، مما يقلل من امتصاصهما ويؤدي إلى طرحهما خارج الجسم، فيقوم الكبد بتصنيع كميات جديدة من أملاح الصفراء من الكولسترول في الدم وبالتالي تخفض مستوى الكولسترول لدى الأشخاص الذين يعانون من ارتفاع مستوى الكولسترول في دمهم.



الشكل رقم (34) دور الألياف الغذائية في تقليل الكولسترول في الدم، عن (Smolin and Grosvenor, 2011).

4- تعمل على سرعة تخليص الجسم من المواد السامة والمسببة للسرطان: كون الألياف تعمل على زيادة الحركة المعوية للأمعاء مما يساعد على قصر الفترة الزمنية التي تعبر فيها الفضلات للأمعاء، وبالتالي تقلل من المدة الزمنية التي تتعرض فيها الأغشية المخاطية المبطنة لجدار الأمعاء للمواد السامة والمواد المسببة للسرطان، كما أنه نتيجة امتصاص الألياف الغذائية لكميات من الماء فهي تعمل أيضاً على تخفيف المواد السامة.

5- تساعد الألياف في السيطرة على مستوى السكر في الدم: وذلك لأنها تقلل وتنظم امتصاص السكريات، مما يؤدي إلى بقاء سكر الدم وخصوصاً عن مرضى الداء السكري عند مستويات معقولة، وقد دلت الأبحاث الأخيرة على أن مرضى الداء السكري من النوع الثاني يمكن أن يسيطروا على مستوى السكر في الدم ويقللوا من استعمال الأدوية المخفضة للسكر وحقن الإنسولين عن طريق زيادة الألياف في الغذاء.

ولذا ينصح بتناول الأطعمة الغنية بالألياف كالحبوب الكاملة والخبز الكامل والخضروات والفواكه بحيث تصل كمية الألياف في اليوم إلى حدود 30 إلى 40 جرام، وقد اقترن انخفاض الألياف في الغذاء بزيادة حدوث كثير من التغيرات والحالات المرضية المزمنة كالسرطان، وخاصة سرطان القولون، والسمنة والإمساك والتهاب الرَّتْج في القولون الذي يتميز بوجود انتفاخات على جداره الخارجي تُسمى الرتوج، والداء السكري وأمراض القلب والدورة الدموية.

ولا ينصح بالمبالغة في تناول الألياف وخاصة على شكل أقراص أو نخالة صافية وذلك لأن الإسراف في تناول الألياف يؤدي إلى انخفاض في امتصاص كثير من العناصر الغذائية الصغرى مثل الفيتامينات الذائبة في الدهن والعناصر المعدنية كالحديد والكالسيوم والزنك، حيث ترتبط هذه العناصر الغذائية بالألياف وتخرج معها في الفضلات، كما أن الإفراط في تناول الألياف ينتج عنه انتفاخ وغثيان وربما تقيؤ، وهذه المشاكل (باستثناء الانتفاخ) يمكن التغلب عليها بتقليل نسبة الألياف المُتناولة ثم زيادة نسبتها بشكل تدريجي.

جدول رقم (5): يوضح محتوى بعض الأغذية من الألياف الغذائية*

الغذاء	حصة التقديم	الكمية بالجرام
خبز من الدقيق الكامل	شريحة	2
ثمار الفراولة	كوب واحد	8
مانجو متوسطة الحجم	ثمرة واحدة	4
كمثرى متوسطة الحجم	ثمرة واحدة	4
برتقالة متوسطة الحجم	ثمرة واحدة	2
موزة متوسطة الحجم	ثمرة واحدة	3
تفاحة متوسطة الحجم	ثمرة واحدة	3
ثمرة أفوكادو	نصف ثمرة	7
لوز	نصف كوب	5
شُوفان (مطهي)	نصف كوب	4
فاصوليا بيضاء	نصف كوب	7
بَازِلاّ خضراء	نصف كوب	4
جزر	نصف كوب	3
بطاطا غير مقشرة	ثمرة واحدة	4
مَلْفُوف	نصف كوب	3
ذرة	نصف كوب	3
عدس (مطهي)	نصف كوب	5
فول سوداني	نصف كوب	3

* المصدر (Brown, Judith; 2011).

ماذا نأكل من الكربوهيدرات:-

من أهم الأغذية الحاوية على الكربوهيدرات هي الحبوب ومنتجاتها والخضروات والفواكه. حيث تحتوي الحبوب الكاملة في تركيبها على الكربوهيدرات بنسبة عالية يؤلف النشأ الجزء الأكبر منها، كما تحتوي على نسب متفاوتة من البروتينات تتراوح بين 7 – 14 % حسب نوع هذه الحبوب، وتحتوي على نسب من الدهون (تتركز في الجنين) تصل إلى 8 %، وإضافة إلى ذلك تحتوي الحبوب الكاملة على كميات من الفيتامينات والعناصر المعدنية المختلفة تتركز في الجنين والأغلفة والطبقات الخارجية من الحبة. فحبة القمح تتكون من قسمين أساسيين هما غلاف الحبة Pericarp الذي يتكون من عدّة طبقات، والبذرة Seed التي تحتوي على:

1 - القصرة أو غطاء البذرة Testa (Seed Coat).

2 - السويداء Endosperm التي تحتوي على طبقة الإليرون والسويداء النشوية.

3 - الجنين Germ الذي يتكون من الفلقة والمحور الجنيني المكون من الريشة والجذير.

وعند طحن القمح نستطيع تمييز ثلاثة أجزاء رئيسة ناتجة عن عمليات الطحن هي النّخالة (الرَدة) Bran التي تُشكل ما يبلغ حوالي 14,5 % من مكونات الحبَّة، والسويداء التي تُشَكّل الجزء الأكبر من الحبة حوالي 83 %، والجنين الذي يكوّن 2,5 % فقط من الحبة.

وتتكون النّخالة Bran من كل من غلاف الحبة وغطاء البذرة (الغنية في محتواها من البنتوزان والسلليلوز والهيميسيليلوز "وهي من الكربوهيدرات غير القابلة للهضم" إضافة إلى الأملاح المعدنية كما أنها غنية بنسبة البروتين حيث ترتفع نسبة البروتين في الحبة كلما اتجهنا إلي الخارج كما أنها غنية بفيتامينات مجموعة B المركبة، كما تحتوي على حامض الفايتيك الذي يرتبط مع العناصر المعدنية كالحديد والكالسيوم والزنك).

وإضافة إلى غلاف الحبة وغطاء البذرة تحتوى النخالة على جزء كبير من طبقة الإليرون التي تمثل الغشاء الحاوي والمغلف للسويداء ويبلغ وزنه 8 % من السويداء أو 6,5 % من إجمالي وزن الحبة. (وعلى الرغم من أن طبقة الإليرون ضمن السويداء إلا أنها تفصل مع الأغلفة عند الطحن لغرض الحصول على الدقيق الأبيض وتتجمع مع النخالة).

ويطحن القمح للحصول على أنواع مختلفة من دقيق القمح منها الدقيق الكامل ويعرف بالدقيق الأسمر وهو ذلك الدقيق المحتوى على النُخالَة (نسبه الاستخلاص فيه تصل إلى 90 – 95 %) كما يحتوي أيضاً على كثير من الفيتامينات والعناصر المعدنية إضافة جنين القمح مما يعزز قيمته الغذائية، وهناك أيضاً الدقيق الأبيض ونسبه الاستخلاص فيه 80 – 85 %، والدقيق الأبيض عالي الاستخلاص أو ما يسمى بالدقيق الأبيض الفاخر (ويعرف محلياً باسم الطابونه) ونسبه الاستخلاص فيه 70 – 75 %، وللحصول على هذا الدقيق يتم التخلص من كلٍ من الجنين

الذي يحتوي على معظم العناصر الغذائية في هذه الحبوب، كما يتم التخلص من النُخالَة التي تحتوي على الألياف الغذائية المهمة في التغذية وكذلك الكثير من الفيتامينات والعناصر المعدنية المتواجدة في حبة القمح.

لذا يجب الحرص على تناول الحبوب الكاملة والمنتجات المحضرة من دقيق القمح الكامل أو دقيق الحبوب الكاملة الأخرى، وتجنب تناول المنتجات المحضرة من الدقيق الأبيض. كما ينبغي الحرص على تناول الخضروات والفواكه التي تمثل مصدر ممتاز للكربوهيدرات المعقدة والألياف الغذائية، حيث تحتوي الفواكه على كميات متفاوتة من السكريات (حسب نوع الفاكهة) أما الخضروات (بشكل عام) فتحتوى على كميات أقل من السكريات وبالتالي فمحتوها من السعرات الحرارية أقل ولذا فهي من الأغذية المالئة المناسبة لبرامج انقاص الوزن. وتشكل الخضروات والفواكه مصدر مهم للألياف الغذائية والعديد من الفيتامينات والعناصر المعدنية، كما تمتاز هذه الأغذية النباتية بألوانها واشكالها الجذابة التي تضيف الرونق والتنويع للوجبات الغذائية. وتلك الألوان مواد كيميائية ملونة تدعى الكيمياويات النباتية **Phytochemicals**، وهي مركبات كيميائية توجد في الأغذية النباتية بشكل طبيعي مثل الفلافونويد والكاروتينات والليكُوبين والكُرْكُمين والأَنْثُوسَيانيدينات والإيزوثيوسيانات والمركبات الكبريتية العضوية، وعلى الرغم من أنها لا تُصنف كعناصر غذائية إلا أنها مركبات فعالة من الناحية البيولوجية تساعد على تحسين صحة الفرد وحمايته من المرض وهي تعمل كمواد مضادة للأكسدة ومضادة للالتهابات ومضادة للسرطان. ولذلك للحصول على الكميات الملائمة من هذه المواد الرائعة والمفيدة ينبغي التنوع في ألوان الأغذية المختلفة والحرص على أن يكون نصف ما تتناوله يومياً من الخضروات والفواكه، واختيار خمسة ألوان مختلفة من الخضروات والفواكه يومياً، والتنوع في أنواع الخضروات والفواكه بحيث تُختار أنواع مختلفة في كل اسبوع إن لم يكن في كل يوم.

الشكل رقم (35) أنواع مختلفة من الحبوب الكاملة (يمين)، تركيب حبة القمح والطبقات المتكونة منها (وسط)، أنواع مختلفة من الخضروات والفواكه (يسار).

وبشكل عام يجب تناول أنواع الكربوهيدرات المعقدة والإقلال من تناول الكربوهيدرات البسيطة وتجنب تناول الأغذية المضاف إليها السكر.

الشكل رقم (36) إلى اليمين: أنواع الكربوهيدرات المعقدة التي ينبغي الإكثار من تناولها، مقابل أنواع الكربوهيدرات البسيطة التي ينبغي الإقلال من تناولها (إلى اليسار)، عن (Boyle and Long, 2007).

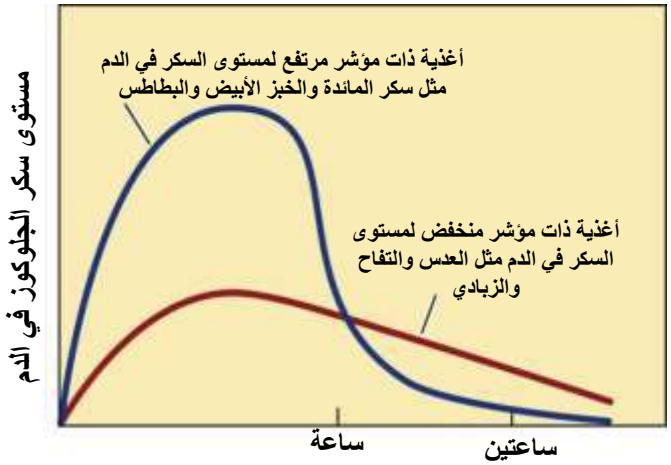
جدول رقم (6): يوضح محتوى بعض الأغذية من الكربوهيدرات*

الغذاء	حصة التقديم	الكمية بالجرام	الغذاء	حصة التقديم	الكمية بالجرام
الكربوهيدرات البسيطة (السكريات الأحادية والثنائية)					
موزة متوسطة الحجم	ثمرة واحدة	21	ذرة	نصف كوب	3
تفاحة متوسطة الحجم	ثمرة واحدة	16	قرنبيط	نصف كوب	2
برتقالة متوسطة الحجم	ثمرة واحدة	14	بطاط متوسطة الحجم	ثمرة واحدة	1
خَوْخ متوسط الحجم	ثمرة واحدة	8	حليب كامل الدسم	كوب واحد	11
عبوة مشروب غازي	350 مل	38	عصير فاكهة	كوب واحد	29
العسل	ملعقة شاي	6	سكر المائدة (السكروز)	ملعقة شاي	4
الفُشار	كوب واحد	18	رقائق الذرة	كوب واحد	2
الكربوهيدرات المعقدة					
أرز أبيض (مطهي)	نصف كوب	21	معكرونة (مطهية)	نصف كوب	15
شَّوفان (مطهي)	نصف كوب	12	ذرة	نصف كوب	10
فاصوليا بيضاء (مطهية)	نصف كوب	11	فاصوليا حمراء (مطهية)	نصف كوب	12
بطاطس	ثمرة واحدة	30	قرنبيط	نصف كوب	2
خبز من الدقيق الكامل	شريحة	7	رقائق الذرة	كوب واحد	11

* المصدر (Brown, Judith; 2011).

مؤشر مستوى السكر في الدم Glycemic Index:

هو عبارة مقياس تأثير الكربوهيدرات على معدلات السكر في الدم، ويستخدم هذا المقياس لمعرفة مدى قدرة أنواع الأغذية المختلفة على رفع مستوى سكر جلوكوز الدم، ويتمثل هذا المقياس برقم يتراوح بين 0 إلى 100 ويدل هذا المقياس على سرعة تحول الأغذية الكربوهيدراتية إلى سكر جلوكوز. وتعتبر الأغذية التي لها رقم يزيد عن 70 أغذية ذات مؤشر عالي، أما الأغذية التي لها رقم يتراوح بين 55 إلى 70 أغذية ذات مؤشر متوسط، في حين أن الأغذية التي يكون مؤشرها من 55 أغذية ذات مؤشر منخفض لمستوى السكر في الدم Glycemic Index حيث تحدث ارتفاعاً طفيفاً في مستوى سكر الدم. ويفضل استهلاك هذه الأغذية ذات المؤشر المنخفض لمستوى السكر في الدم مثل البقوليات والخضروات والفواكه ومنتجات الألبان غير المحلاة بالسكر، وتجنب الأغذية ذات المؤشر المرتفع لمستوى السكر في الدم مثل الخبز الابيض والبطاطس المقلية ، التي تؤدي الى رفع معدّل السكّر في الدم بشكل سريع مما يؤدي إلى تحويل الفائض من سكر الدم إلى دهون مما يؤدي إلى زيادة الوزن والبدانة.



الشكل رقم (37) يوضح تأثير بعض الأغذية على مؤشر مستوى السكر في الدم Glycemic Index (GI)، عن (Whitney and Rolfes, 2008).

وعلى الرغم من أهمية مؤشر مستوى السكر في الدم كوسيلة للتحكم في مستوى سكر الجلوكوز في الدم إلا أنها تعاني من بعض العيوب التي تتمثل في أن عدد قليل من الأغذية لا تجاوز 5% قد تم تحديدها على هذا المؤشر كما يختلف قيمة المؤشر باختلاف أصنافها ودرجة نضجها، إضافة إلى أن طريقة طهي وإعداد الأغذية يوثر على قيمة هذا المؤشر، كذلك تناول أنواع مختلفة من الأغذية مثل تناول الأغذية الغنية بالألياف او البروتينات أو الدهون مع الكربوهيدرات يخفض عادة من المؤشر الكلي للوجبة.

جدول رقم (7): يوضح مؤشر مستوى السكر في الدم Glycemic Index لبعض الأغذية*

أغذية ذات مؤشر عالي		أغذية ذات مؤشر متوسط		أغذية ذات مؤشر منخفض	
سكر الجلوكوز	100	سكر المائدة (السكروز)	68	العسل	55
الخبز الفرنسي	95	كيك الملاك	67	دقيق الشُّوفان	54
الكعك المسطح	92	الكرواسون	67	الخبز القمح الكامل	53
البطاطا المخبوزة	85	عصيدة الشوفان	65	عصير البرتقال	52
الذرة	83	خبز بالزبد والمربى	62	الموز	52
الكعك المملح	83	البطاطا الحلوة	61	البطاطا المسلوقة	51
رقائق الذرة	81	فطائر المافن بالنخالة	60	بَازِلاَّ خضراء	48
خبز الذّرة	80	الأرز	60	المعكرونة	48
الكعك المقليّ بالدهن	76	فطائر المافن بالتوت	59	الجزر الطازج	47
الكيك بالشوكولاتة	76	مشروب الكولا	58	سكر اللاكتوز	46
البطيخ الاحمر	72			حليب بالشوكولاتة	43
الخبز الأبيض	70			البرتقال الطازج	42
				الخوخ الطازج	42
				البرقوق الطازج	39
				التفاح	38
				الكُمَّثْرَى	38
				عصير الطماطم	38
				الفاصوليا الجافة	25
				الجريب فروت	25
				الكَرَز	22
				سكر الفركتوز	16

* المصدر (Brown, Judith; 2011).

بدائل السكر Alternatives to Sugar:

عرفنا سابقاً أن من أهم خواص السكريات الأحادية والثنائية في الأغذية هي استعمالها لإعطاء المستوى المرغوب من الطعم الحلو، وتلك المحليات الطبيعية (السكريات الأحادية والثنائية) تمد الجسم بالطاقة فكل جرام منها يمد الجسم بـ 4 سعرات حرارية، لكن هناك عدد من المواد المضافة للأغذية التي تعطي نفس تأثير السكر على حاسة التذوق، وتدعى هذه المواد ببدائل السكر، وبعض بدائل السكر هذه تعتبر طبيعية وبعضها صناعية تعرف باسم المحليات الصناعية Artificial Sweeteners. وهناك أنواع من بدائل السكر تملك عدة أضعاف من حلاوة السكروز (مُحليات عالية الكثافة) وبالتالي يتم استخدام كميات ضئيلة منها وبالتالي فإن اسهامها في أمداد الجسم بالطاقة ضئيل جداً وبالتالي يكون الهدف الأساسي من استخدامها هو اعطاء الطعم الحلو للأغذية والمشروبات دون إمداد الجسم بالطاقة أو زيادة مستوى سكر (جلوكوز) الدم، ولذلك فهي تستخدم في حميات إنقاص الوزن وكذلك تدخل في غذاء مرضى السكر بحيث انه لا يتم حرمانهم من التمتع بالطعم الحلو للأغذية والمشروبات دون أي زيادة في مستويات السكر في الدم. لكن ما يعيب بعض هذه البدائل (الصناعية) إن الإحساس بالحلاوة الذي ينتج منها يعتبر في بعض الأحيان مختلف مقارنة بالسكروز، لذلك يستعمل في كثير من الأحيان ضمن خليط معقد يحقق الإحساس بالحلاوة بشكل طبيعي أكثر.

بدائل السكر الطبيعية: من أهم بدائل السكر الطبيعية المستخدمة ما يلي:

1. **شراب القَيْقَب Maple syrup وهو شراب يصنع عادة من عُصَارَة خلايا اللحاء في نبات القَيْقَب السكري (الذي ينمو في المناطق الشمالية في روسيا وأوروبا وكندا وغيرها)، والشراب السكري سائلٌ غليظ القوام حلو المذاق ذو لون بني ذهبي يستخدم في صناعة الحلوى، وفي إكساب الأغذية والمشروبات طعم حُلو نكهة طيبة. كما يمكن أن شراب القَيْقَب لصنع سكر القَيْقَب.**
2. **الستيڤيا السكرية *Stevia rebaudiana* وهي عشبة استوائية معمرة تعود أصولها إلى أمريكا الجنوبية وبالتحديد باراجواي تستخدم لإنتاج مستخلص سكري قليل السعرات (أحلى 20 إلى 30 مرة من السكروز) يدعى ستيفيول جليكوسايدز Steviol glycosides، ويمكن إضافة أوراق الستيڤيا مباشرة إلى المشروبات الساخنة حيث تتميز أوراقها بنسبة عالية من السكر.**
3. **السكريات الكحولية: هناك عدد من السكريات الكحولية مثل الزيليتول Xylitol والسوربيتول Sorbitol تستخدم كبدائل للسكر، لكن ينبغي استخدامها باعتدال لأن الإكثار منها يسبب إسهال وانتفاخ ومشاكل في القولون.**

بدائل السكر الصناعية: من اكثر بدائل السكر الصناعية استخداماً ما يلي:

1 - السكارين Saccharin: من أقدم المحليات الصناعية المستخدمة، وقد واكتشف عام 1879م. وهو مادة عضوية بيضاء متبلورة، تفوق حلاوته حلاوة السكروز بحوالي 450 مرة (حيث أن 12 ملجم منه يعادل ملعقة شاي من السكروز)، لكن إذا زادت كميته في المشروبات المحلاة به عن 0,5% فإنه يعطي مذاقاً مراً. جرعته المسموحة لا يتجاوز 5 ملجم/ كجم من وزن الجسم.

2 - السيكلامات Cyclamates: محلي تفوق حلاوته حلاوة السكروز بحوالي 30 مرة فقط، ونظراً لحلاوته المنخفضة فقد كان يستعمل بمستويات مفرطة للتحلية وخصوصاً وأنه لا يحدث مذاقاً مراً كالسكارين، لكن هناك عدد من الدراسات أثبتت أن له أضرار صحية وعليه اقترحت منظمة الصحة العالمية ألا يزيد الاستهلاك اليومي من عن 50 ملجم/ كجم من وزن الجسم.

3 - الاسبارتيم Aspartame: مركب L-aspartyl-L-phenylalanine methyl ester (ببتيد ثنائي يتكون من حامضين أمينيين)، وهو حبيبات بيضاء عديم الرائحة ذائبة في الماء، تفوق حلاوتها السكروز بحوالي 200 – 300 مرة (18 ملجم منه يعادل ملعقة شاي من السكروز)، وكونه يحتوي على الـ Phenylalanine فلا يجوز استخدامه مع مرضى البيلة الفنيلية الكيتونية (PKU)، وقد لُوحظ أن تناوله لفترة طويلة قد يسبب الصداع المزمن، ويجب أن لا يتجاوز ما يتم استهلاكه من الاسبارتيم عن 50 ملجم/ كجم من وزن الجسم.

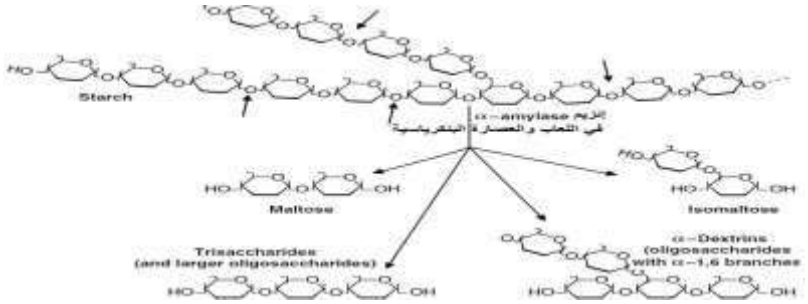
4 - اسيسلفام البوتاسيوم Acesulfam K: محلي صناعي تفوق حلاوته حلاوة السكروز بحوالي 200 مرة (حيث أن 25 ملجم منه يعادل ملعقة شاي من السكروز)، ويستخدم على هيئة ملح البوتاسيوم للاسيسلفام، ويتميز هذا المحلي الصناعي بالثبات أثناء التسخين لذا يستخدم مع الأغذية التي تتعرض لمعاملات حرارية مثل منتجات المخابز. ويجب أن لا يتجاوز ما يتم استهلاكه من الاسيسلفام عن 15 ملجم/ كجم من وزن الجسم.

5 - السكرالوز Sucralose: وهو عبارة عن مركب مصنوع من السكروز عن طريق استبدال ثلاث مجموعات هيدروكسيل بثلاث ذرات كلور (لذا يصبح مقاوم لإنزيم السكريز ولا يتم هضمه وبالتالي يمتص ما يقارب 15% منه أما الباقي فيخرج من الجسم دون أن يطرأ عليه تغيير). تفوق حلاوته حلاوة السكروز بحوالي 600 مرة (حيث أن 6 ملجم منه يعادل ملعقة شاي من السكروز). وهو أيضاً شديد الثباتية أثناء المعاملات الحرارية لذا يستخدم في المخبوزات والمنتجات المقلية. ولا تتجاوز الكمية المسموحة منه 5 ملجم/ كجم من وزن الجسم.

6 - نـيـوتـــيم Neotame: هو محلي صناعي شبيه بالاسبارتيم Aspartame، وتفوق حلاوته حلاوة السكروز بحوالي 8000 مرة (0,5 ميكروجرام منه يعادل ملعقة شاي من السكروز). ويجب أن لا يتجاوز ما يتم استهلاكه من الاسبارتيم عن 18 ملجم/ كجم من وزن الجسم.

هضم وامتصاص الكربوهيدرات Carbohydrates digestion and absorption:

تبدأ عملية هضم الكربوهيدرات ميكانيكياً وإنزيمياً في الفم الذي تتم فيه عملية مضغ الطعام وتفتيته إلى قطع صغيرة من خلال تمزيقه وطحنه بالأسنان وذلك لزيادة السطح المعرض للعصارات الهاضمة، وأول الإنزيمات الهاضمة في هضم الكربوهيدرات إنزيم الفا أميليز اللعاب Salivary amylase الذي يحوّل الكربوهيدرات المعقدة مثل النشا والجلايكوجين إلى مواد بسيطة كربوهيدراتية مثل المالتوز إضافة إلى دكسترينات عديدة السلسة، لكن عمل هذا الإنزيم يتوقف في المعدة نتيجة حموضة العصارة المعدية. أما المكان الرئيس لهضم الكربوهيدرات فهو الأمعاء الدقيقة وذلك بواسطة عدد من الإنزيمات أولها إنزيم الأميليز البنكرياسي أحد إنزيمات العصارة البنكرياسية والتي تصب في الإثنى عشر، ويقوم بإكمال تحليل النشا والجلايكوجين والدكسترين إلى سكر المالتوز، كما تقوم الأمعاء الدقيقة بإفراز العصارة المعوية التي تحتوي على مجموعة الإنزيمات المحللة للسكريات الثنائية إلى السكريات الأحادية وهى إنزيم المالتيز الذي يحلل سكر المالتوز جزيئين من سكر الجلوكوز، إضافة إلى إنزيم السكريز (الإنفرتيز) الذي يحلل سكر السكروز (سكر المائدة) إلى سكري الجلوكوز والفركتوز، وكذلك إنزيم اللاكتيز الذي يحلل سكر اللاكتوز إلى سكري الجلوكوز والجالاكتوز.



الشكل رقم (38) يوضح تأثير إنزيم الفا أميليز في اللعاب والعصارة البنكرياسية على النشا والجلايكوجين.

بعد قيام الإنزيمات بتفكيك الكربوهيدرات المعقدة إلى سكريات أحادية (سكريات خماسية، جلوكوز، فركتوز، جالاكتوز، مانوز)، يتم امتصاصها في الأمعاء الدقيقة عبر الخميلات بطريقة الامتصاص النشط مباشرة إلي الدم من خلال الشعيرات الدموية، ومن أسرع السكريات الأحادية امتصاصاً سكر الجالاكتوز ثم الجلوكوز أما سكر الفركتوز فيكون امتصاصه أقل منهما (43 % من سرعة امتصاص سكر الجلوكوز) وأخيراً سكر المانوز. وتصل تلك السكريات الأحادية الممتصة إلى الكبد بواسطة الوريد البابي وهناك يبدأ استخدام تلك السكريات فيتحول الجالاكتوز والفركتوز إلى جلوكوز وبالعكس، ويستخدم الجلوكوز في إنتاج الطاقة، كما يستخدم الجلوكوز في بناء سكر الريبوز ومركبات حيوية أخرى مهمة للجسم، كما يتحول الجلوكوز إلى جلايكوجين، وكذلك الجلايكوجين إلى جلوكوز (وهذا ما سيتم توضيحه في الفقرات التالية).

استقرار وتوازن الجلوكوز في الجسم Glucose homeostasis:

يوجد الجلوكوز في دم الإنسان الطبيعي بتركيز 1 جرام سكر جلوكوز لكل لتر من الدم، كما يتواجد بحدود 20 جرام في السائل المحيط بالخلايا والأنسجة، وعلى الرغم من أن هذه الكمية من الجلوكوز ضئيلة إلا أنها تقوم بدور أساسي في توليد الطاقة واستمرار الحياة وتستخدم بصفة مستمرة طوال اليوم كوقود لتوليد الطاقة لاحتياج خلايا الجسم إلى طاقة مستمرة بدون توقف. كما يتم تخزين الجلوكوز في الجسم على هيئة جلايكوجين في الكبد أو في العضلات، حيث تحتوى العضلات على 350 جرام (5 % من وزنها) من الجلايكوجين للاستعمال المباشر عند الحاجة إلى حركة نشطة، كما يحتوي الكبد على ما يتراوح بين 100 – 150 جرام من الجلايكوجين يتحول بدوره إلى جلوكوز عند احتياج الخلايا الأخرى كالمخ إليه. ويكون الطلب على الجلوكوز حوالى 100 – 150 جرام/كيلوجرام في اليوم الواحد، (أي بحدود عشرة إلى عشرين ضعف الجلوكوز الموجود في الدم وفى السائل المحيط بالخلايا والأنسجة)، وبالتالي فإن كمية الجلوكوز المتاحة في الدم وفى السائل المحيط بالخلايا والأنسجة وكذلك تلك المخزنة على هيئة جلايكوجين في الكبد أو في العضلات لا تكفي لتغطية حاجة الجسم على مدار 24 ساعة لذا لابد من توفيره من الغذاء المتناول، كما يتم أيضاً بناؤه وتكوينه داخل الجسم، وتصنف مصادر الجلوكوز في الجسم إلى قسمين رئيسين هما:

1- المصادر الكربوهيدراتية: تتوافر من الغذاء المتناول، أو من الجلايكوجين المخزن في الكبد والذي يمثل ثاني أهم مصادر الجلوكوز في الدم، حيث يتحول إلى جلوكوز بواسطة التحلل المائي، أو من النواتج الوسطية المتكونة أثناء تمثيل الكربوهيدرات مثل اللاكتات والبيروفات والتي قد تدخل في تفاعلات عكسية لإنتاج الجلوكوز Gluconeogenesis.

2 - المصادر غير الكربوهيدراتية: يقصد بها الأحماض الأمينية والدهون، فيمكن أن تستخدم بعض الأحماض الأمينية Glycogenic amino acid كمصدر للجلوكوز في الدم نتيجة إزالة مجموعة الأمين Deamination فتتبقى السلسلة الكربونية اللازمة لتكوين الجلوكوز. كما أن الدهون يمكن أن تشكل مصدراً من مصادر الجلوكوز في الدم، فبعد أن يتحلل الدهن المتعادل إلى أحماض دهنية وجليسرول فان الكبد يستطيع تحويل الجليسرول إلى جلايكوجين، ومن ثم إلى جلوكوز عند الحاجة، وتعتبر مساهمة الدهن في تجهيز الجلوكوز صغيرة نوعاً ما لأن الجليسرول يشكل اقل من 10 % من وزن الدهن، ولكن الدهن بصورة عامة يلعب دوراً خطيراً في حالات وجود اضطراب في تمثيل الكربوهيدرات إذ ترتفع مستويات الأجسام الكيتونية في الدم كما هو الحال عند مرضى الداء السكري.

توازن الجلوكوز في الدم والأنسجة Blood and Tissue Glucose:

يحافظ الجسم على مستويات معينة من الجلوكوز في الجسم من خلال عمليات متنوعة تعمل على تنظيم مستوى الجلوكوز في الدم والمحافظة عليه عند المستويات الطبيعية وهي:

1- أكسدة الجلوكوز في الخلايا لتحرير الطاقة.

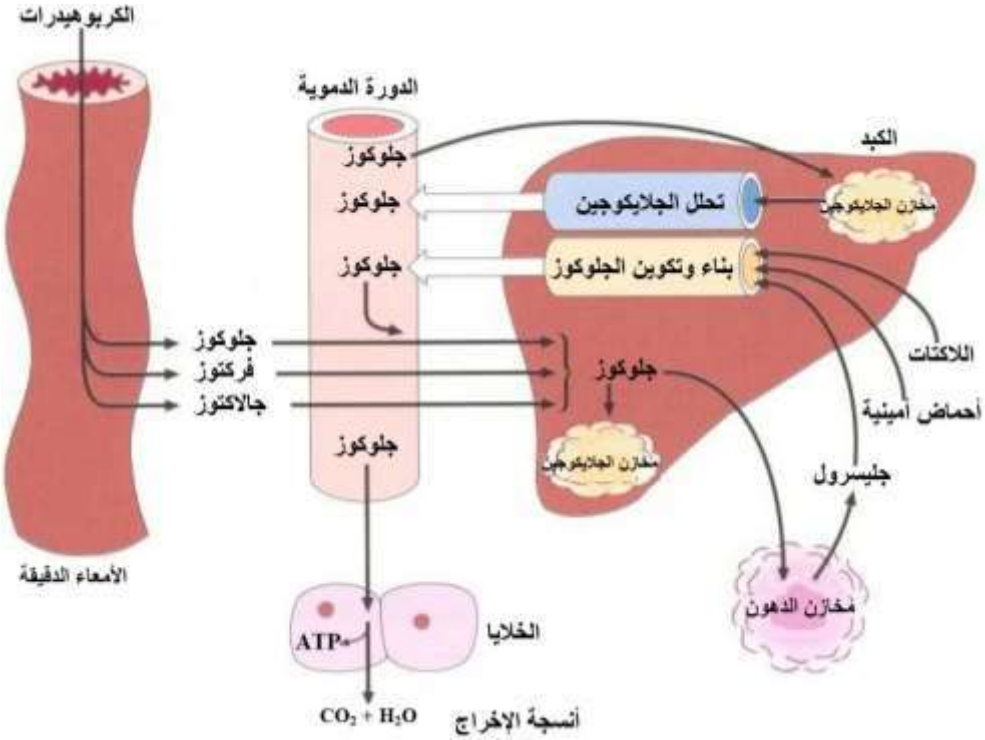
2- استهلاك الجلوكوز في إنتاج بعض المواد المهمة لكي يقوم الجسم بوظائفه الحيوية مثل سكر الريبوز وسكر الرايبوز منقوص الأكسجين وكلاهما يدخلان في تركيب الأحماض النووية RNA و DNA، وكذلك إنتاج المانوز والجلوكوزأمين والجلاكتوزأمين وجميعها ضرورية لتكوين السكريات العديدة في الأنسجة المخاطية وفي البروتينات الكربوهيدراتية، وكذلك سكر الجالاكتوز الذي يدخل في تركيب سكر اللاكتوز في الحليب وأيضاً في تركيب الدهون الكربوهيدراتية، كما أن الجلوكوز يزود الأحماض الأمينية التي يصنعها الجسم بهيكلها الكربوني، ومن المواد المهمة التي ينتجها الجلوكوز المركب المسمى حامض الجلوكورونيك Glucoronic acid وهو يؤدي دور مهم في تخليص الجسم من المواد الضارة والسامة.

3- تخزين الجلوكوز على هيئة جلايكوجين، حيث تتحول كميات من الجلوكوز إلى جلايكوجين يتم خزنه في الكبد أو في العضلات.

4- تحويل الجلوكوز إلى أنسجة دهنية؛ فعند توفير ما يحتاجه الجسم من طاقة، وتخزين ما يمكن تخزينه من فائض الجلوكوز على هيئة جلايكوجين، يتم تحويل الفائض من الجلوكوز إلى أحماض دهنية ويخزن على هيئة دهون. ويمكن لمعظم أنسجة الجسم أن تكتفي بالأحماض الدهنية كمصدر للطاقة في حال عدم توفر الجلوكوز بكميات مناسبة.

لكن خلايا الدماغ وخلايا كريات الدم الحمراء لا تستطيع استخدام الأحماض الدهنية كمصدر للطاقة (حيث تستهلك خلايا المخ وحدها 70 % من الجلوكوز في حالة سكون العضلات عن الحركة والنشاط. وإذا قلت نسبة الجلوكوز في المخ عن حد معين تختل بسرعة مراكز الادراك والتركيز والوعى فيحدث فقدان الوعى والغيبوبة)،

وعليه في حالة نقص نسبة الجلوكوز في الدم وعليه يتم رفع نسبة الجلوكوز في الدم عن طريق تحويل الجلايكوجين المخزون في الكبد إلى جلوكوز وإطلاقه إلى الدم. لكن كمية الجلايكوجين التي يخزنها الكبد لا تكفي، فإذا لم يتناول الإنسان طعاماً خلال هذه الفترة فإن على خلايا الكبد أن تصنع الجلوكوز Gluconeogenesis من مصادر أخرى غير الكربوهيدراتية (الأحماض الأمينية والأحماض الدهنية) لتزويد الخلايا التي تحتاجه، كما يقوم الكبد في حالة الجهد البدني الشديد ببناء الجلوكوز من النواتج الوسطية المتكونة أثناء تمثيل الكربوهيدرات (اللاكتات والبيروفات)، حيث تعاني العضلات في هذه الحالة من نقص نسبي في الأكسجين الوارد اليها، وهنا تسير تفاعلات تحلل الجلوكوز في المسار اللاهوائي الذي ينتهي بتكون اللاكتات التي تنتقل من الدم إلى الكبد لينتج منها الجلوكوز ويطلقه إلى الدم ثانية.



الشكل رقم (39) استقرار وتوازن الجلوكوز في الجسم Glucose homeostasis، عن (Gaw *et al.*, 1999).

الهرمونات المؤثرة على توازن الجلوكوز في الجسم:

تؤثر عدد من الهرمونات بصورة مباشرة أو غير مباشرة على أيض الجلوكوز وتنظيم مستوياته في الدم حسب حاجة الجسم، وهذه الهرمونات يمكن أن تقسم إلى قسمين الأول يقلل مستوى السكر في الدم والثاني يرفع مستوى السكر في الدم.

1- الهرمون الذي يقلل مستوى السكر في الدم، وهو هرمون الإنسولين Insulin والذي ينتج في خلايا بيتا في جزر لانجرهانس Islets of Langherhans Beta Cells في البنكرياس.

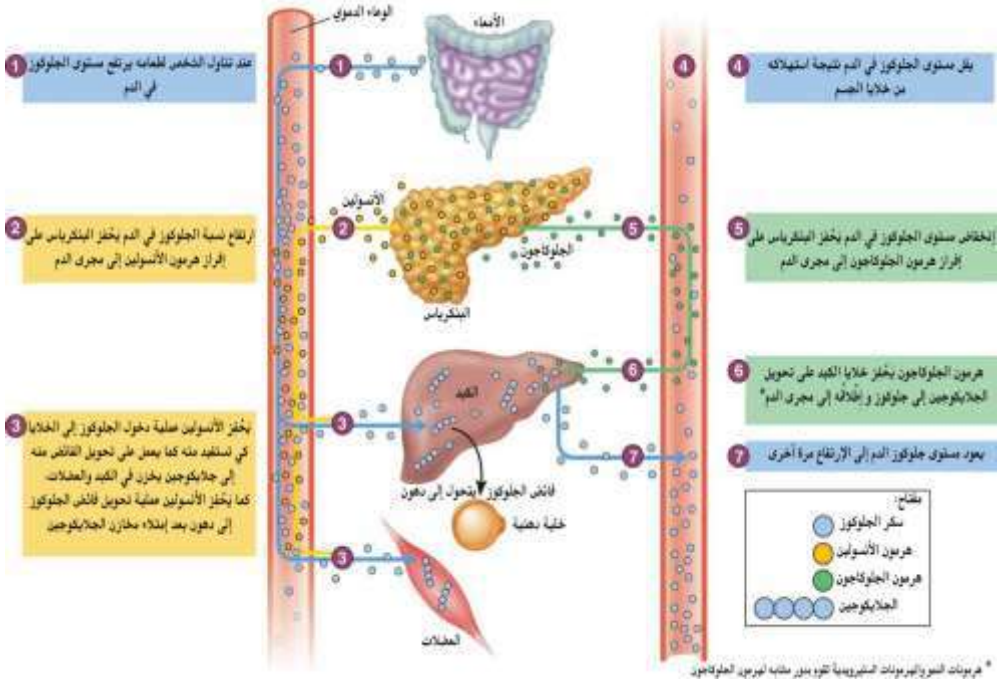
والإنسولين يساعد في عملية تحويل الجلوكوز إلى جلايكوجين وإلى أنسجة دهنية.

إن غشاء الخلية يشكل حاجزاً أمام دخول الجلوكوز إلى الخلية، لذلك فهناك نظام متخصص لنقل الجلوكوز من السائل المحيط بالخلية إلى داخل الخلية لكي تتم أكسدته من أجل إنتاج الطاقة التي يحتاجها الجسم، وتشير الأبحاث إلى وجود نظام متخصص لنقل الجلوكوز عبر غشاء الخلية (Glucose Carrier System)، وهناك أدلة تظهر أن الإنسولين يزيد من قابلية الخلية على إمرار الجلوكوز عبر الغشاء الخلوي وأن دخول الجلوكوز يتسارع مع وجود الإنسولين، وبالمقابل يُمنع دخول الجلوكوز إلى الخلية عند غياب الإنسولين، وهذا يدل على أن هناك علاقة بين الإنسولين وبين نقل الجلوكوز عبر غشاء الخلية، إلا أن ميكانيكية هذه العلاقة غير معروفة على وجه التحديد. لكن تختلف درجة اعتماد الخلية على الإنسولين لنقل الجلوكوز إلى داخلها بحسب

اختلاف الأنسجة، ففي بعض الخلايا لا يتأثر دخول الجلوكوز إليها بوجود الإنسولين من عدمه، ومن أمثلة هذه الخلايا خلايا الدماغ والكبد والنسيج المخاطي للأمعاء أو الكُلى وكذلك كريات الدم الحمراء. أما الخلايا التي تعتمد على الإنسولين لنقل الجلوكوز عبر غشائها فمن أهمها خلايا أنسجة العضلات الهيكلية والنسيج الدهني وعضلات القلب وعدسات العين وأنسجة الغدة الدرقية.

كما يعتقد أن الإنسولين له تأثير في عملية الفسفرة (اتحاد الجلوكوز بمجموعة الفوسفات) وهي الخطوة الأساسية الأولى التي يدخل الجلوكوز من خلالها في مسار أكسدته لتوليد الطاقة حيث تعتبر هذه الخطوة خطوة تنشيط للجلوكوز، ويعتقد أن الإنسولين يمنع فعل المركبات التي تعيق عمل إنزيم **Glucokinase** الذي يعمل على انتقال مجموعة الفوسفات الطرفية من الأدينوزين ثلاثي الفوسفات (ATP) إلى أي مجموعة الهيدروكسيل في ذرة الكربون رقم 6 في جزيئة الجلوكوز حيث يتحول إلى جلوكوز-6- فوسفات، ومن ثم تستمر عملية أيض الجلوكوز.

2- <u>الهرمونات التي ترفع مستوى السكر في الدم</u>، عند نقص مستوى السكر في الدم (في حالة الصيام) هناك عدد من الهرمونات تساعد على رفع مستوى السكر في الدم متعددة ومن أمثلتها هرمون الجلوكاجون **Glucagon** المنتج في خلايا ألفا في البنكرياس والهرمونات الستيرويدية وهرمونات النمو وغيرها لها دور معاكس لدور هرمون الإنسولين فهي ترفع مستوى السكر في الدم عن طريق التحلل المائي لجلايكوجين الكبد **Glycogenolysis**.



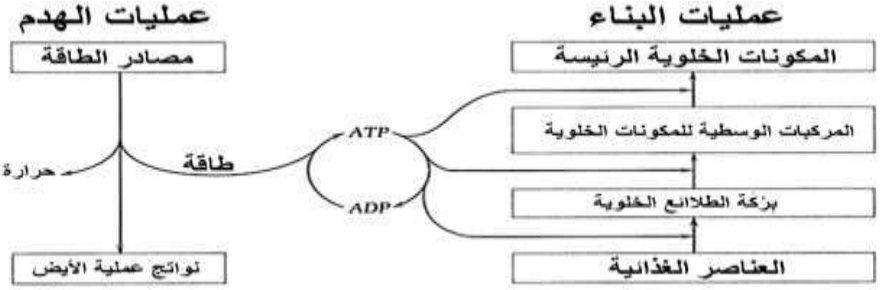
الشكل رقم (40) يوضح الهرمونات المؤثرة على أيض الجلوكوز وتنظيم مستوياته في الدم حسب حاجة الجسم، عن (Whitney and Rolfes, 2008).

أيض الكربوهيدرات Carbohydrates Metabolism:

قبل أن نخوض في غمار الحديث عن أيض الكربوهيدرات يتحتم علينا أن نعرف ما هو الأيض، فالأيض (أو ما يعرف بعملية التمثيل الغذائي) Metabolism هو العمليات الحيوية التي تجري داخل خلايا الجسم للمحافظة على الحياة. وتسمح هذه العمليات للكائنات بالنمو والتكاثر والمحافظة على تركيباتها والاستجابة للبيئة وهو عبارة عن فعاليتين تتداخل أحدها بالأُخرى تداخلاً كبيراً، لكن كلتا العمليتين مختلفتين فالأولى تدعى عملية البناء Anabolism والأُخرى تدعى عملية الهدم Catabolism.

تتضمن عمليات البناء Anabolism processes بناء المكونات الخلوية ولا تقتصر على المكونات الرئيسة للخلية (البروتينات والكربوهيدرات والدهون والأحماض النووية....الخ) فحسب ولكن أيضاً بناء مركباتها الوسطية Intermediate precursors كالأحماض الأمينية والسكريات الأحادية والقواعد النيتروجينية والأحماض الدهنية وغيرها. إن هذه العمليات بحاجة إلى طاقة تحصل عليها من عمليات الهدم Catabolism processes والتي يتم بها تكسير المركبات المعقدة إلى وحدات ابسط حيث أن هذه العمليات منتجة للطاقة التي تحتاجها الخلايا.

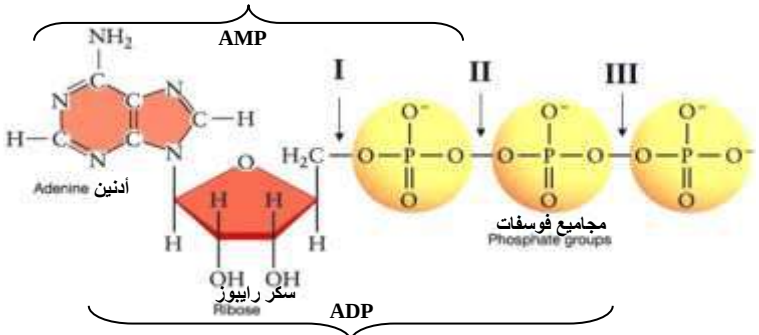
والشكل التالي يوضح العلاقة بين عمليات البناء Anabolism processes وعمليات الهدم Catabolism processes التي تحدث في الخلايا، ومن خلاله يتضح أهمية عمليات الهدم Catabolism processes التي يتم من خلالها الحصول على الطاقة الضرورية.



الشكل رقم (41) يوضح تداخل عمليتي البناء والهدم المكونين للفعاليات الأيضية والعلاقة بينهما.

وعند احتراق المادة الغذائية احتراقاً كاملاً ينشأ عنها طاقة حرارية تعرف باسم حرارة الاحتراق أو الطاقة الكلية، ولجسم الإنسان عدة احتياجات للطاقة منها الحرارة التي تستخدم لحفظ درجة حرارة الجسم، لكن جسم الإنسان لا يعمل مثل الآلة البخارية (بواسطة الحرارة فقط)، فهو يحتاج إلى صور أخرى من الطاقة من أجل إنجاز عمليات البناء Anabolism processes اللازمة لحياة الكائن الحي وكذلك من أجل الانتقال النشط للجزيئات والأيونات وأيضاً من أجل حركة وانقباض العضلات، ويحصل عليها من خلال أكسدة المواد المعقدة الحاوية على الطاقة (والتي من أهمها الكربوهيدرات) وتحويلها إلى وحدات ابسط.

وتتحول هذه الطاقة إلى طاقة حرة تخزن في مركب الأدينوزين ثلاثي الفوسفات Adenosine triphosphate (ATP) الذي يعد من أهم مركبات الطاقة المتولدة خلال عمليات الهدم، ويعمل كحامل عام للطاقة الحرة في الأنظمة الحيوية. والأدينوزين ثلاثي الفوسفات (ATP) عبارة عن نيوكليوتيد يتألف ثلاثة أجزاء هي القاعدة النيتروجينية الأدنين adenine وسكر الرايبوز ribose ومجاميع الفوسفات. وعندما يكون الأدنين والرايبوز ومجموعة فوسفات واحدة يسمى المركب المتكون هنا بالادينيليك أسيد Adenylic acid أو الأدينوزين أحادي الفوسفات (AMP) أما إذا احتوى على مجموعتين من مجاميع الفوسفات فيعرف بالادينوزين ثنائي الفوسفات (ADP). وينتج عن تحلل الأدينوزين ثلاثي الفوسفات (ATP) مائياً كمية كبيرة من الطاقة الحرة اللازمة للعمليات المشار إليها أعلاه.



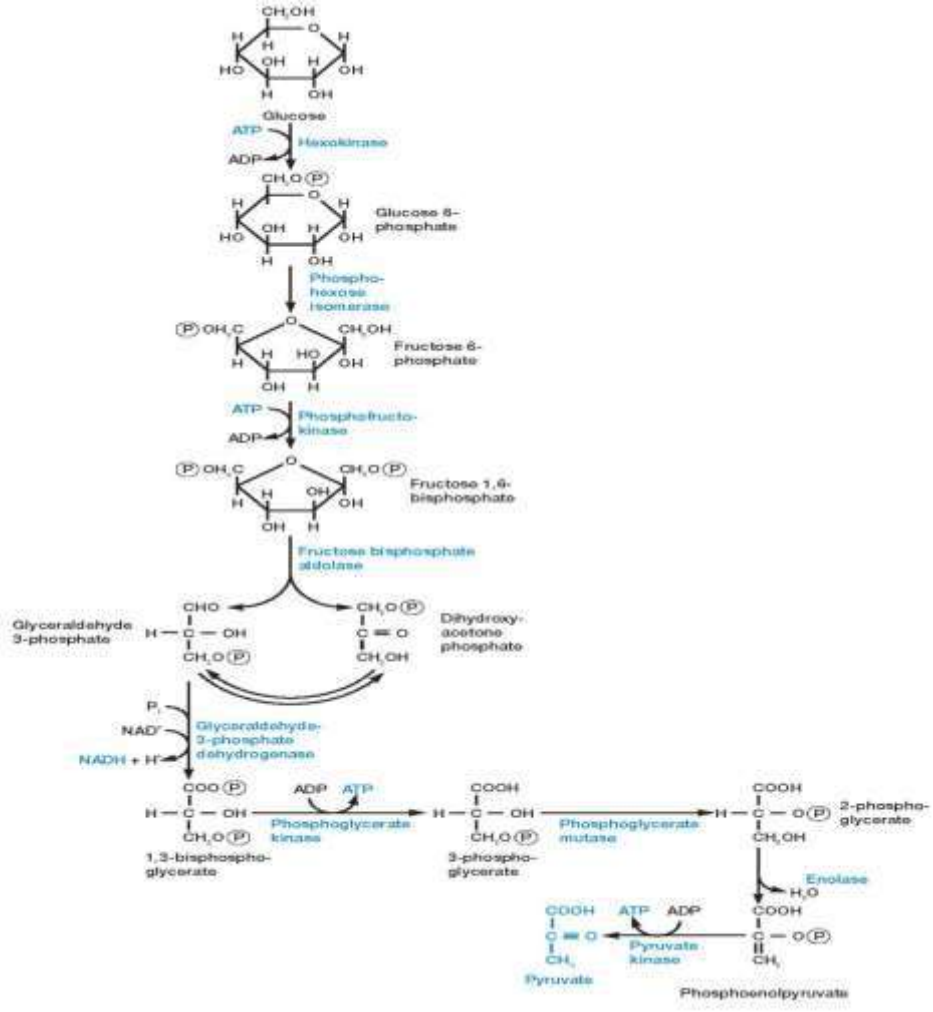
الشكل رقم (42) يوضح تركيب الأدينوزين ثلاثي الفوسفات (ATP).

المسارات الأيضية الشائعة للحصول على الطاقة:

يتم توليد مركبات الطاقة في الأنظمة الحيوية من خلال طريقين هما: 1- الفسفرة بمواد الأساس Substrate-level phosphorylation و 2- الفسفرة التأكسدية Oxidative phosphorylation والتي يطلق عليها أيضاً الفسفرة المرافقة لنقل الالكترونات والتي تحدث في السلسلة التنفسية، وكما سبق وأن أشرت فإن عمليات توليد الطاقة هي عمليات هدم، فالمركبات العضوية المعقدة الحاوية على الطاقة مثل السكريات تتعرض لعمليات الهدم ضمن مسارات خاصة تسمى بمسارات الهدم Catabolic Pathways، والتي تتمثل بمسار السكر السداسي ثنائي الفوسفات HDP وما يتبعه من دورة الحامض الثلاثي الكربوكسيل والفسفرة المرافقة لنقل الالكترونات، وكذلك مسار السكر السداسي أحادي الفوسفات HMP، والتي سيتم توضيحها لاحقاً. وفي عمليات توليد الطاقة تسلك بعض المركبات كمعطيات للالكترونات والبعض الآخر كمستقبلات في تفاعلات مزدوجة للأكسدة والاختزال، ومن أهم المركبات التي تؤدي وظيفة هذه المستقبلات في التفاعلات المزدوجة للأكسدة والاختزال التي تحدث خلال عمليات الهدم مركب نيكوتين أميد ثنائي النيوكليوتيد Nicotinamide Adenine Dinucleotide (NAD).

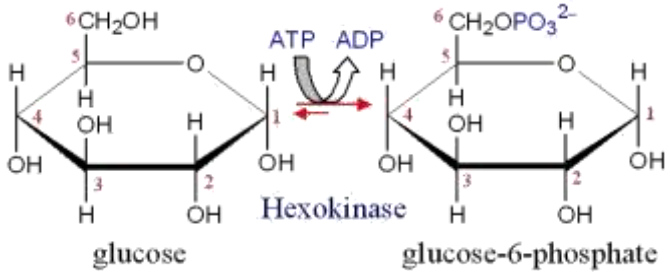
- **مسار السكر السداسي ثنائي الفوسفات Hexose diphosphate pathway:**

يعرف أيضاً بمسار إمبدن – مايرهوف – بارناس Embden–Meyerhof–Parnas (EMP)، كما يسمى مسار التحلل السكري، وهو من المسارات المهمة لتكسير السكريات السداسية لإنتاج البيروفات التي تستعمل في خطوات متتابعة أُخرى. والشكل رقم (42) يوضح خطوات هذا المسار، والذي يمكن تقسيم خطواته إلى مرحلتين، حيث أنه في المرحلة الأولى منه لا تحدث فيها عمليات أكسدة واختزال، إنما كل ما يجري في هذه المرحلة خطوات متتابعة لإنتاج المركب الوسطي جليسرالديهايد 3- فوسفات Glyceraldehyde-3-phosphate. أما المرحلة الثانية فيحدث فيها عمليات أكسدة واختزال ويتم إنتاج الأدينوزين ثلاثي الفوسفات (ATP) الحاوي على الأواصر الفوسفاتية عالية الطاقة ويتكون مركب البيروفات Pyruvate.

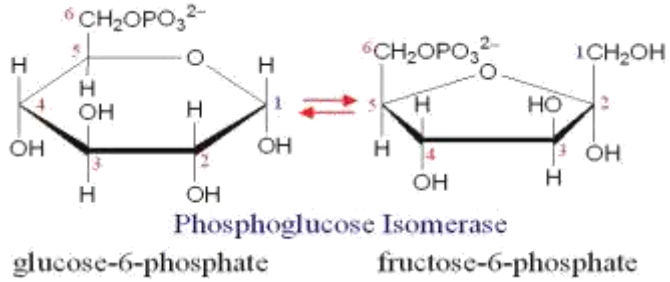


الشكل رقم (43) يوضح مسار السكر السداسي ثنائي الفوسفات HDP.

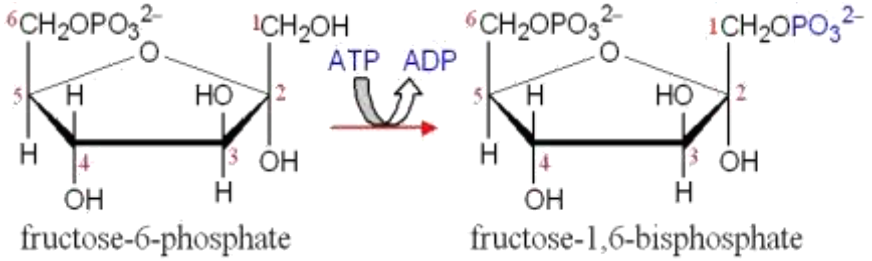
1- والخطوة الأولى من خطوات هذا المسار يحدث فيها أن يتفسفر الجلوكوز بواسطة الأدينوزين ثلاثي الفوسفات (ATP) حيث تضاف مجموعة فوسفات على ذرة الكربون رقم 6 في جزيئة الجلوكوز حيث يتحول هذا الأخير إلى جلوكوز-6- فوسفات في وجود إنزيم Hexokinase، وإنزيمات الـ kinase هي الإنزيمات التي تعمل على انتقال مجموعة الفوسفات الطرفية من الأدينوزين ثلاثي الفوسفات (ATP) إلى أي مجموعة هيدروكسيل للسكريات الخماسية والسداسية. وتعتبر هذه الخطوة خطوة تنشيط Activation للجلوكوز، وهذا النوع من التفاعل يحدث بكثرة قبيل حدوث عمليات الأكسدة. وهذا ما يتضح من خلال المعادلة التالية:



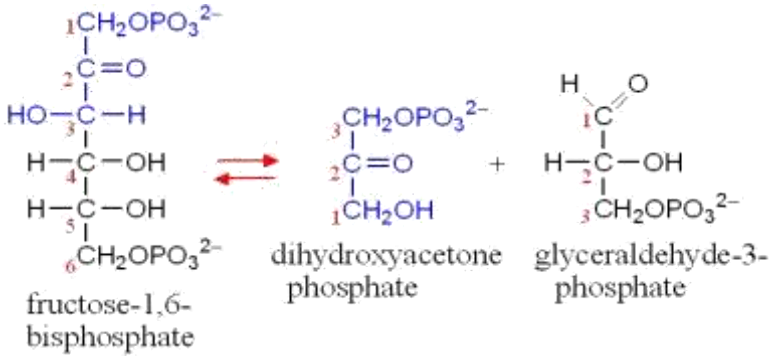
2- بعد حدوث عملية التنشيط السابقة، يتحول المركب الناتج إلى نظيره الفركتوز-6- فوسفات بواسطة إنزيم Phosphohexose isomarse [Phosphoglucose isomarse].



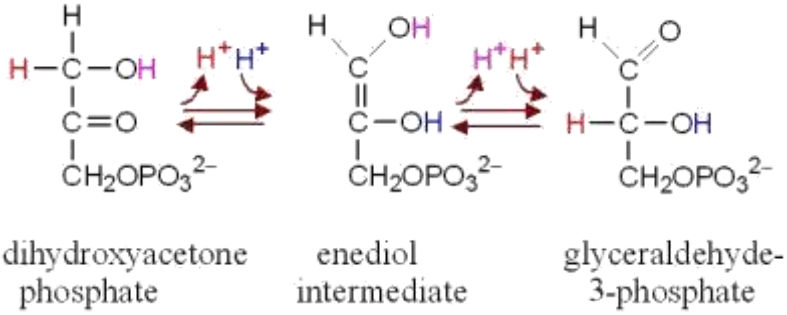
3- بعد حدوث عملية التحويل isomerization، تحدث عملية فسفرة ثانية بواسطة الأدينوزين ثلاثي الفوسفات (ATP) حيث تضاف مجموعة فوسفات على ذرة الكربون رقم 1 في جزيئة الفركتوز-6- فوسفات حيث يتحول إلى الفركتوز-1،6- ثنائي الفوسفات في وجود إنزيم Phosphofructokinase.



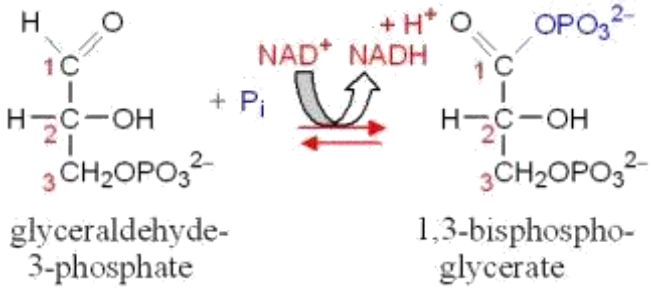
4- في هذه الخطوة ينقسم مركب الفركتوز-1،6- ثنائي الفوسفات إلى 2 من السكريات المفسفرة ثلاثية الكربون Triose phosphate هما أسيتون الفوسفات ثنائي الهيدروكسيل Dihydroxyacetone phosphate و جليسرالديهايد 3- فوسفات Glyceraldehyde-3- phosphate، وذلك في وجود الإنزيم المسمى Fructose bisphosphate aldolase.



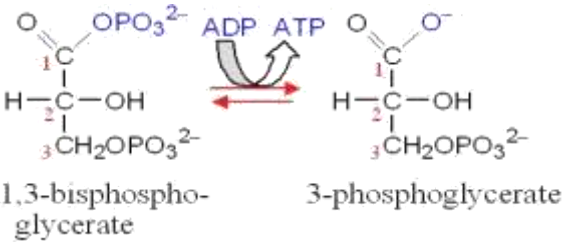
5- إن انقسام مركب الفركتوز-1،6- ثنائي الفوسفات إلى اثنين من مركبات السكريات الفوسفاتية ثلاثية الكربون يؤدي إلى تراكم أحدهم وذلك في وجود إنزيم Triose phosphate isomerase حيث يميل التوازن ناحية الجليسرالديهايد 3- فوسفات Glyceraldehyde-3- phosphate طالما ومسار HDP يسير بشكله الاعتيادي.



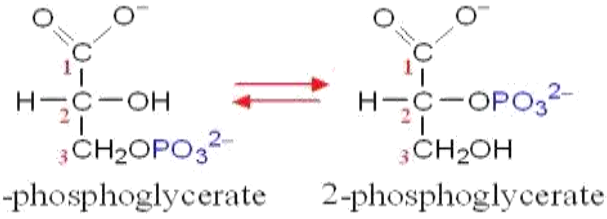
6- في هذه الخطوة من خطوات مسار HDP هي خطوة أكسدة وفسفرة مركبة (كما يتضح من المعادلة التالية) في وجود إنزيم glyceraldehyde-3-phosphate dehydrogenase.



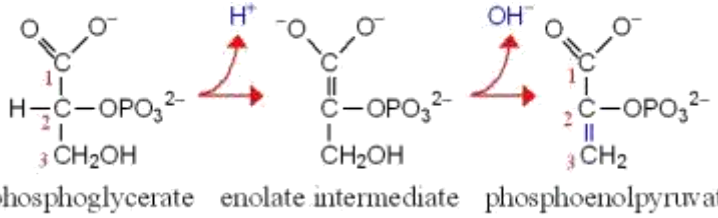
7- يفقد المركب 1,3-bisphosphoglycerate الغني بالطاقة مجموعة فوسفات ليعطي الأدينوزين ثلاثي الفوسفات (ATP) في وجود إنزيم Phosphoglycerate Kinase، وهذا النوع من الفسفرة يدعى بالفسفرة بمواد الأساس Substrate-level phosphorylation.



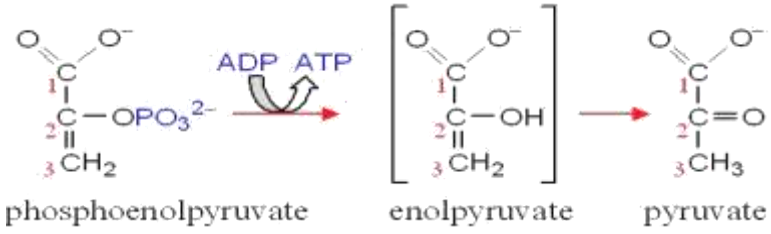
8- تتحول مجموعة الفوسفات في مركب 3-phosphoglycerate الناتج عن الخطوة السابقة من الوضع 3 إلى الوضع 2، في وجود إنزيم Phosphoglycerate Mutase.



9- في الخطوة قبل الأخيرة في هذا المسار يتكون مركب phosphoenolpyruvate في وجود إنزيم Enolase (EC 4.2.1.11).



10- أما في الخطوة الأخيرة من هذا المسار فتنتقل مجموعة الفوسفات في مركب phosphoenolpyruvate إلى الأدينوزين ثنائي الفوسفات (ADP) بمساعدة إنزيم Pyruvate Kinase، حيث يتكون مركب البيروفات Pyruvate وجزي أخر من الأدينوزين ثلاثي الفوسفات (ATP).



إن مسار السكر السداسي ثنائي الفوسفات Hexose diphosphate pathway (HDP) يعطي كمية من الطاقة مقدارها 4 مول من مركب الأدينوزين ثلاثي الفوسفات (ATP) لكل مول من الجلوكوز، لكن هناك 2 مول من الأدينوزين ثلاثي الفوسفات (ATP) تستهلك في الخطوات الأولى من هذا المسار لذلك يكون صافي الطاقة لكل مول من الجلوكوز 2 مول من الأدينوزين ثلاثي الفوسفات، إضافة إلى 2 مول من مركب البيروفات Pyruvate الذي يتحول إلى مركب Acetyl CoA ليدخل بدوره في دورة الحامض ثلاثي الكربوكسيل (TCA)، وإضافة إلى كل ما سبق يتكون 2 مول من النيكوتين أميد ثنائي النيوكليوتيد المختزل ($NADH.H^+$)، ونظراً لمحدودية محتوى الخلية من مركب النيكوتين أميد ثنائي النيوكليوتيد (NAD) الضروري في مختلف العمليات الحيوية، فإنه لابد وأن يؤكسد مرة أُخرى (لكي يتم استخدامه من جديد) من خلال السلسلة التنفسية في عملية الفسفرة التأكسدية Oxidative phosphorylation التي يطلق عليها أيضاً الفسفرة المرافقة لنقل الالكترونات في الظروف الهوائية.

- **دورة الحامض ثلاثي الكربوكسيل Tricarboxylic acid cycle (TCA):**

تسمى أيضاً دورة كربس Krebs' cycle نسبةً إلى عالم الكيمياء الحيوية الألماني هانز أدولف كربس Hans Adolf Krebs، كما تسمى أيضاً دورة حامض الستريك Citric acid cycle (الحامض ثلاثي الكربوكسيل). وهي سلسلة من التفاعلات والتحولات تتم في الميتوكوندريا يتم فيها تكون الطاقة الحرة وثاني أكسيد الكربون وذرات هيدروجين نشطة في المادة الأساس Substrate نتيجة لعدد من العمليات التي تؤدي إلى تكوين بعض المركبات الوسطية الحاملة للطاقة، ولذلك فإن أهم دور تلعبه دورة الحامض ثلاثي الكربوكسيل هو إنتاج مركبات حفظ الطاقة $NADH+H^+$ و $FADH_2$ التي يعاد أكسدتها خلال سلسلة نقل الإلكترونات والتي ترافق بإنتاج ATP بواسطة الفسفرة التأكسدية. وبالإضافة إلى الدور الذي تلعبه هذه الدورة في أكسدة المركبات العضوية وتكوين الطاقة، فإنها تلعب دوراً هاماً في عملية التخليق الحيوي لمادة الخلية حيث ينتج عنها مركب 2-Oxoglutarate التي تعتبر بادرة تكوين حامض الجلوتاميك الذي يعتبر مفتاح تكوين عدد من الأحماض الأمينية والبروتين أو مركب Oxaloacetate وما يتبعه من تكوين حامض الأسبارتيك وبقية الأحماض الأمينية.

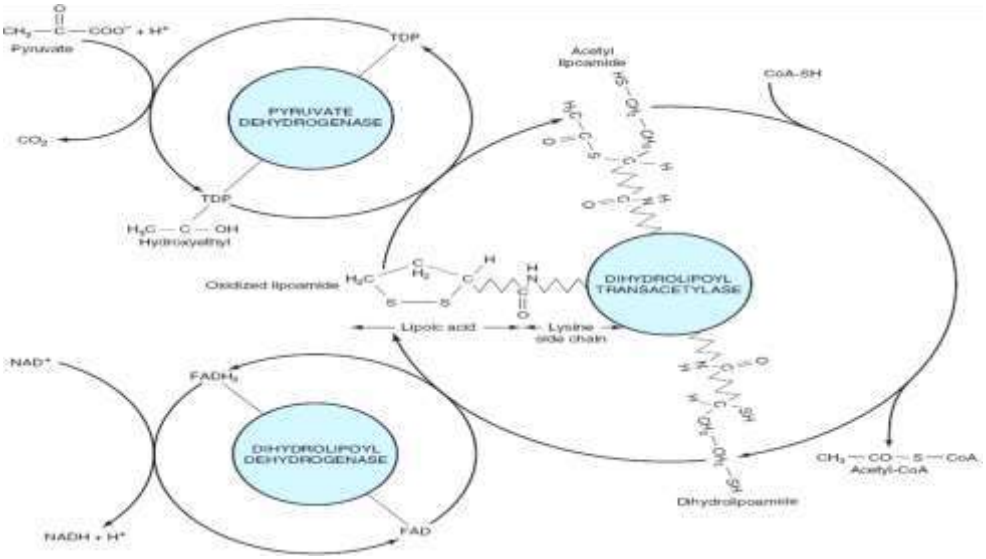
إن المركب الذي يدخل دورة الحامض ثلاثي الكربوكسيل (TCA) هو Acetyl CoA والذي يعتبر البيروفات Pyruvate هو المادة البادئة له، وذلك من خلال ارتباطه بالمرافق الإنزيمي A وهذا ما توضحه المعادلة الإجمالية التالية:

$$Pyruvate + NAD^+ + CoA \rightarrow Acetyl\text{-}CoA + NADH+H^+ + CO_2$$

وخطوات تكوين مركب Acetyl CoA يشارك فيها ثلاثة إنزيمات مختلفة تدعى في مجملها Pyruvate dehydrogenase complex، بالإضافة إلى المرافقات الإنزيمية Thiamine diphosphate و lipoic acid و NAD^+، والثلاثة إنزيمات هي:

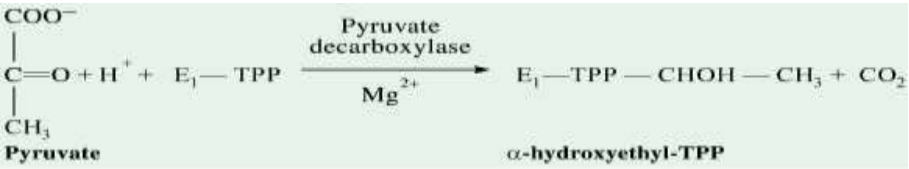
Pyruvate dehydrogenase، Dihydrolipoyl transacetylase، Dihydrolipoyl dehydrogenase

أما تسلسل خطوات تكون مركب Acetyl CoA فيمكن توضيحها من خلال الشكل التالي:

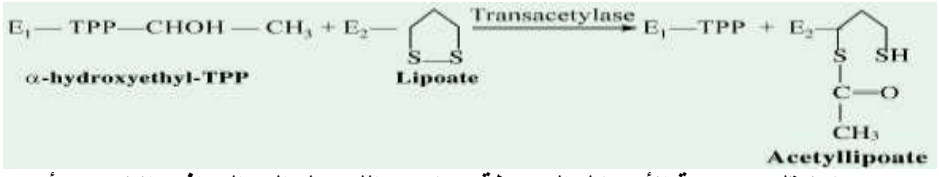


الشكل رقم (44) يوضح تسلسل خطوات تكون مركب Acetyl CoA، عن (Murray *et al*., 2003).

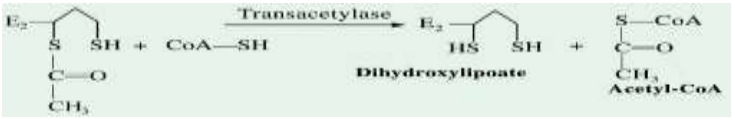
في الخطوة الأولى لتكوين مركب Acetyl CoA يتم نزع مجموعة الكربوكسيل من البيروفات بارتباطه بالثيامين ثنائي الفوسفات المرتبط بإنزيم Pyruvate dehydrogenase.



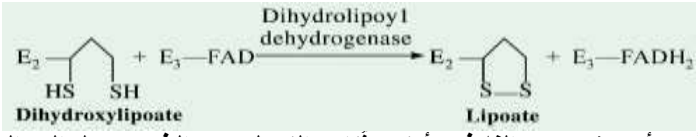
ثم تتأكسد مجموعة الهيدروكسيل المرتبطة بالثيامين ثنائي الفوسفات مكونه مجموعة أسيتايل تنتقل إلى حامض الليبويك lipoic acid (حامض 6،8 ثنائي ثيوأكتانويك)، والعامل المؤكسد هنا مجموعة الكبريتيد الثنائية في حامض الليبويك حيث تتحول إلى مجموعة سلفهيدريل.



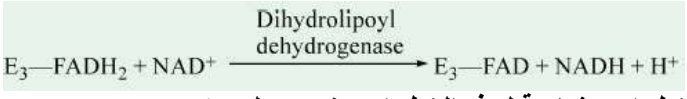
بعدها تنتقل مجموعة الأسيتايل المرتبطة بحامض الليبويك إلى المرافق الإنزيمي أ CoA ليتكون اسيتايل المرافق الإنزيمي أ Acetyl CoA والشكل المختزل لحامض الليبويك.



بعدها يتم تحول الشكل المختزل لحامض الليبويك إلى الشكل المؤكسد حتى يتمكن من الدخول في هذه الدورة من جديد في وجود إنزيم Dihydrolipoyl dehydrogenase المحتوي على FAD كمجموعة تعويضية التي تتحول إلى الشكل المختزل لها $FADH_2$.



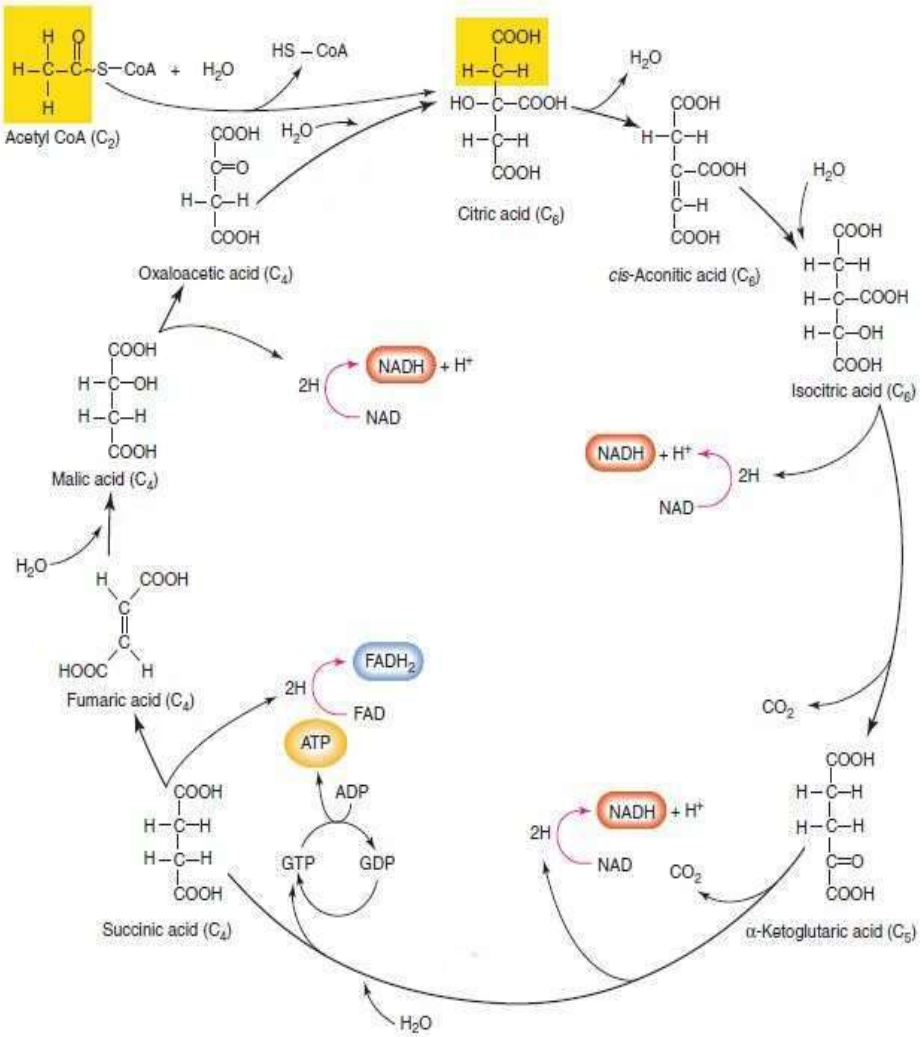
وأخيراً يتم أكسدة مركب الفلافينِ أدِنين ثُنائِي النوكليوتيد الذي تحول إلى الحالة المختزلة $FADH_2$ والعامل المؤكسد هنا هو النِّيكوتينامِيدِ أَدَنين ثُنائِي النوكليوتيد NAD^+.



تتكرر خطوات مشابهة لهذه الخطوات عند تحول مركب α-ketoglutrate إلى مركب Succinyl CoA في دورة الحامض ثلاثي الكربوكسيل Tricarboxylic acid cycle (TCA)، التي يمكن توضيح خطواتها بشكل إجمالي من خلال الشكل رقم (45).

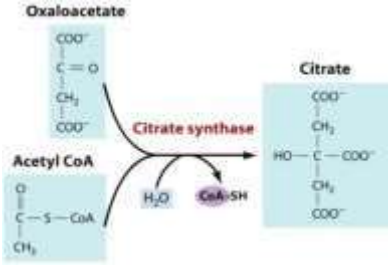
لكل جزيئة بيروفات Pyruvate تنتج ثلاث جزيئات من ثاني أكسيد الكربون CO_2، الأولى خلال تكوين مركب Acetyl CoA الذي يشكل المركب الوسطي لهذه الدورة حيث يقوم بالارتباط بمركب رباعي الكربون هو Oxaloacetate ليكون مركب سداسي الكربون هو Citrate، وتتبع هذه الخطوة عملية إزالة ماء ثم إزالة ثاني أكسيد الكربون CO_2 وعمليات أكسدة أُخرى إلى أن تنتج في نهاية الدورة جزيئتين من ثاني أكسيد الكربون CO_2 (الأولى من مركب Isocitrate أما الثانية من مركب α-Ketoglutarate)، وبذلك يتحول المركب سداسي الكربون إلى Oxaloacetate رباعي الكربون مرة أُخرى ليكون مستقبلاً لمركب Acetyl CoA من جديد.

أن ذرات الهيدروجين التي يتم انتزاعها خلال عمليات الأكسدة في دورة الحامض ثلاثي الكربوكسيل يستقبلها نوعان من المستقبلات هما: NAD^+ الذي يتحول إلى $NADH+H^+$ وكذلك FAD^+ الذي يتحول إلى $FADH_2$، وبالتالي فإن معظم الطاقة الناتجة عن عمليات الأكسدة في دورة الحامض ثلاثي الكربوكسيل يتم خزنها في هذه المركبات، وفي كل دورة يتم إنتاج ثلاث جزيئات من $NADH+H^+$، وجزيء واحد من $FADH_2$، كما أن هناك جزيئاً واحدا من ATP ينتج بطريقة مشابهة لإنتاجه في مسار HDP، وذلك من خلال فسفرة مركب ADP وتحويله إلى ATP ويتم الحصول على مجموعة الفوسفات المستخدمة في تلك الفسفرة من مركبات وسطية غنية بالطاقة من خلال عملية الفسفرة بمواد الأساس Substrate-level phosphorylation.

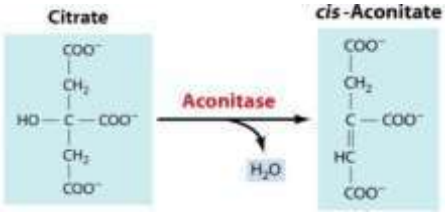


الشكل رقم (45) يوضح دورة الحامض ثلاثي الكربوكسيل (Tricarboxylic acid cycle (TCA.

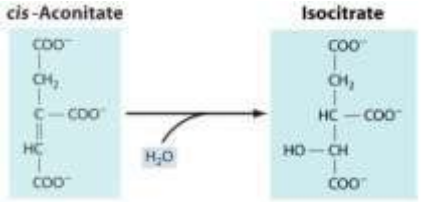
في الخطوة الأولى لهذه الدورة يتحد مركب Acetyl CoA ثنائي الكربون مع مركب رباعي الكربون هو Oxaloacetate في وجود إنزيم Citrate synthetase مع إضافة جزيء ماء ليكونان معاً مركب سداسي الكربون هو Citrate، وهذا ما تلخصه المعادلة التالية:



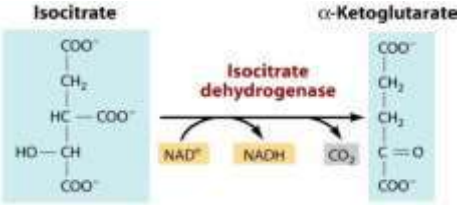
أما في الخطوة الثانية فيتم نزع الماء H_2O من الـ Citrate وتحويله إلى Cis-Aconitate، في وجود إنزيم Aconitase، وهذا ما توضحه المعادلة التالية:



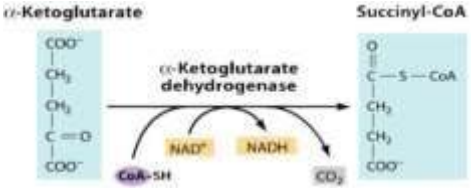
بعدها يتم تحويل الـ Cis-Aconitate وتحويله إلى Isocitrate، في وجود إنزيم Aconitate، وهذا ما توضحه المعادلة التالية:



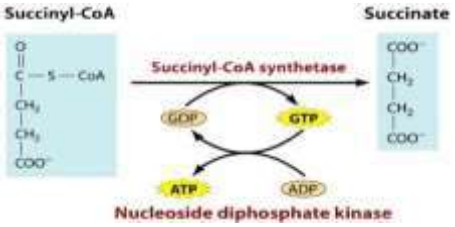
يتحول مركب Isocitrate إلى α-ketoglutrate بعد أن يفقد ذرتين من الهيدروجين، في وجود إنزيم Isocitrate dehydrogenase، وهنا يتم فقد جزيء CO_2 وبالتالي فإن مركب Isocitrate السداسي الكربون يتحول إلى الـ α-ketoglutrate خماسي الكربون وفقاً للتالي:



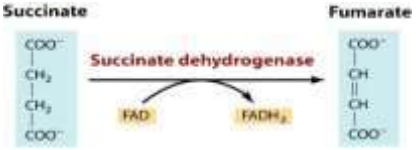
يتحول مركب α-ketoglutrate إلى Succinyl CoA بعد أن يتم فقد جزيء CO_2 أخر في وجود إنزيمات <u>complex</u> α-ketoglutrate dehydrogenase (سبق الإشارة لذلك صـ 66).



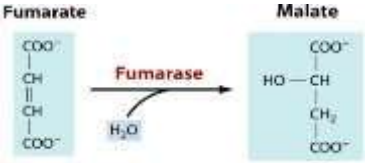
يحتوي مركب Succinyl CoA على رابطة أستر ثيول غنية بالطاقة، لذا في هذه الخطوة يتم تفكيك هذه الرابطة أثناء تحول الـ Sucinyl CoA إلى Succinate في وجود إنزيم Succinyl-CoA synthetase، وهنا يتم تحرير طاقة تستخدم في فسفرة مركب الجوانوزين ثنائي الفوسفات GDP محولاً إيه إلى جوانوزين ثلاثي الفوسفات GTP أحد المركبات الغنية بالطاقة، وهذا المركب يقوم بفسفرة ADP إلى ATP.



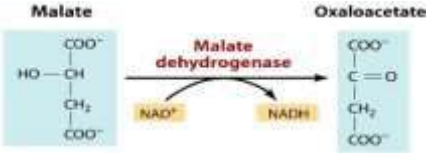
تتم عملية نزع الهيدروجين من مركب Succinate ليتحول إلى مركب Fumarate في وجود إنزيم Succinate dehydrogenase.



يتحول مركب Fumarate إلى Malate بعد أن تتم عملية إضافة للماء Hydration في وجود إنزيم Fumerase.



يتحول مركب Malate إلى Oxaloacetate بعد أن يفقد ذرتي هيدروجين نتيجة لعملية نزع الهيدروجين في وجود إنزيم Malate dehydrogenase.



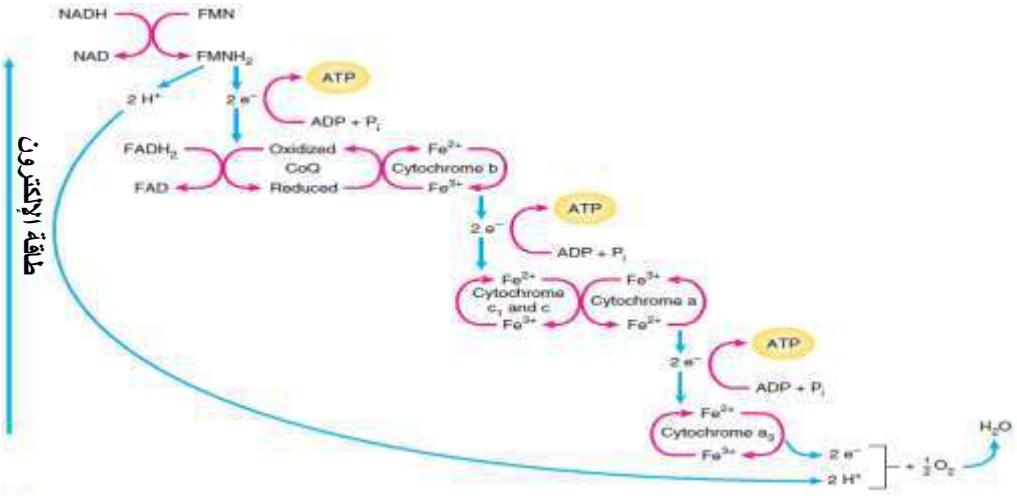
وبذلك (بعد إكمال هذه الدورة) يتحول المركب سداسي الكربون Citrate إلى Oxaloacetate رباعي الكربون مرة أُخرى ليكون مستقبلاً لمركب Acetyl CoA من جديد.

تتكرر دورة الحامض ثلاثي الكربوكسيل مرتين لكل جزئ من الجلوكوز حيث يعطي جزئ الجلوكوز جزئيين من مركب Acetyl CoA وبالتالي تتضاعف المواد المتحررة عن الدورة وتصبح: $4\ CO_2$، $2\ ATP$، $6\ NADH+H^+$، $2\ FADH_2$.

- **سلسلة نقل الإلكترونات Electron transport chain:**

إن المرافقات الإنزيمية المُختزلة $NADH+H^+$ و $FADH_2$ الناتجة من مسار السكر السداسي ثنائي الفوسفات HDP ودورة الحامض ثلاثي الكربوكسيل TCA تدخل في سلسلة نقل الإلكترونات Electron transport chain، حيث تتأكسد لتنطلق منها ايونات الهيدروجين والالكترونات عالية الطاقة التي تتناقلها سلسلة من المركبات حاملات الإلكترونات.

إن كل جزيء $NADH+H^+$ يدخل سلسلة نقل الإلكترونات ينتج عنه ثلاثة جزيئات من مركب الطاقة ATP، ما عدا أنواع معينه من الخلايا (مثل خلايا العضلات الهيكلية والمخ) فان أكسدة جزيء $NADH+H^+$ الناتج من مسار HDP ينتج عنه جزيئين من ATP بدلا عن ثلاثة جزيئات (وهذا ما سيتم تعليله لاحقاً)، كما يتكون جزيئان من مركب ATP نتيجة أكسدة جزيء $FADH_2$. خطوات الفسفرة التأكسدية Oxidative phosphorylation (الفسفرة المرافقة لنقل الالكترونات) يمكن توضيحها من خلال الشكل التالي:



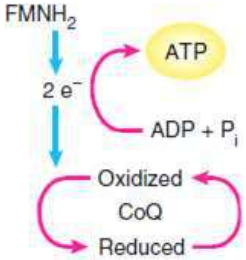
الشكل رقم (46) يوضح خطوات الفسفرة المرافقة لنقل الالكترونات (Oxidative phosphorylation).

إن عمليات نقل الاليكترونات والفسفرة التأكسدية Oxidative phosphorylation ترتبط ارتباطاً وثيقاً ببنية الميتوكوندريا، التي تعتبر مركز إنتاج الطاقة في الخلية. والميتوكوندريا محاطة بغشائين داخلي وخارجي، فالغشاء الخارجي للميتوكوندريا مشابه للأغشية الخلوية الأخرى، أما الغشاء الداخلي فينثني عدة ثنيات يعرف كل واحدة منها بالثنية Cristae تعمل على زيادة السطح الداخلي للميتوكوندريا، ويقسم الميتوكوندريا إلى غرفتين غرفة خارجية وغرفة داخلية، تمتلئ الغرفة الداخلية بسائل هلامي يعرف بالمادة الأساس (الحشوة Matrix) مكون من بروتينات ذائبة وإنزيمات ذائبة (إنزيمات سلسلة النقل الاليكترونية) كما يوجد به أيضاً RNA & DNA وريبوسومات ومركبات أخرى لتخليق البروتينات الخاصة بالميتوكوندريا.

وفي الميتوكوندريا تنتقل الإلكترونات من جزيئات $NADH+H^+$ و $FADH_2$ إلى الأكسجين الجزيئي خلال سلسلة من المركبات حاملات الإلكترونات Electron carriers التي تشمل الفلافينات (الفلافين احادي النوكليوتيد FMN، والفلافين ثنائي النيوكليوتيد FAD)، ومعقدات الحديد والكبريت Iron-Sulfur (Fe.S) Complexes، والكوينون Quinones وكذلك بروتينات حاوية على الحديد تعرف بالسيتوكرومات Cytochrome.

أن التفاعل الأول في سلسلة نقل الإلكترون يتم فيه أكسدة $NADH+H^+$ بواسطة إنزيم NADH Q reductase – وفي هذا التفاعل ينتقل إلكترونان من $NADH+H^+$ إلى الفلافين احادي النوكليوتيد FMN الذي يوجد مرتبط بالإنزيم حيث يتحول إلى الصورة المختزلة $FMNH_2$.

ثم ينتقل الإلكترونان من $FMNH_2$ إلى سلسلة من معقدات الحديد والكبريت (Fe.S) وهي النوع الثاني من حاملات الإلكترونات في المتراكب الإنزيمي NADH – Q reductase، ويتم نقل الإلكترونات بين مراكز الحديد والكبريت عن طريق ذرة الحديد التي تتحول من الصورة المؤكسدة Fe^{3+} إلى الصورة المُختزلة Fe^{2+} باستقبالها لأحد الإلكترونات، بعدها تنتقل الإلكترونات إلى المرافق الإنزيمي Q (أحد مشتقات الكوينون Quinones).

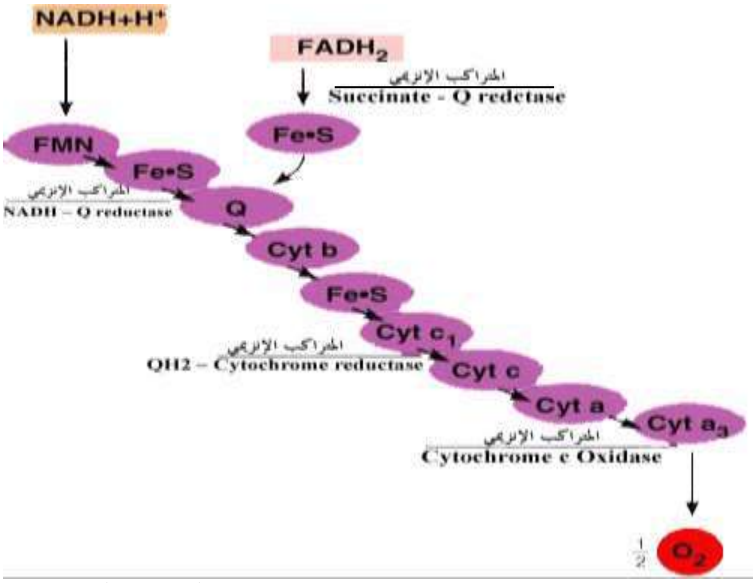


إن وظيفة المرافق الإنزيمي Q ليس فقط استقبال الإلكترونات من المتراكب الإنزيمي NADH – Q reductase، ولكن أيضاً استقبال الإلكترونات من إنزيمات نزع الهيدروجين التي تحتوي على مجموعة فلافين، وذلك عبر المتراكب الإنزيمي Succinate – Q reductase الذي يتكون من إنزيم Succinate dehydrogenase وبروتينات الحديد والكبريت Fe.S.

إن الصورة المُختزلة للمرافق الإنزيمي Q (QH_2) تنقل اثنين من الإلكترونات إلى سيتوكروم b، ويوجد عدد من السيتوكرومات بين المرافق الإنزيمي Q والأكسجين في سلسلة نقل الإلكترونات، وهذه السيتوكرومات تختلف في محتويات السلسلة الجانبية وفي نواتها الحديدة الجانبية، وعلى هذا الأساس قسمت إلى خمسة مجاميع تم الإشارة إليها بالأحرف b، c_1، c، a، a_3. وتقوم هذه البروتينات بعملية أكسدة واختزال بحيث تحول الحديد فيها من ثلاثي التكافؤ Fe^{3+} إلى ثنائي التكافؤ Fe^{2+} والعكس.

إن سيتوكروم b وسيتوكروم c_1 بالإضافة إلى أحد بروتينات الحديد والكبريت تُمثل عناصر المتراكب الإنزيمي QH_2 – Cytochrome reductase الذي يقوم بنقل الإلكترونات من

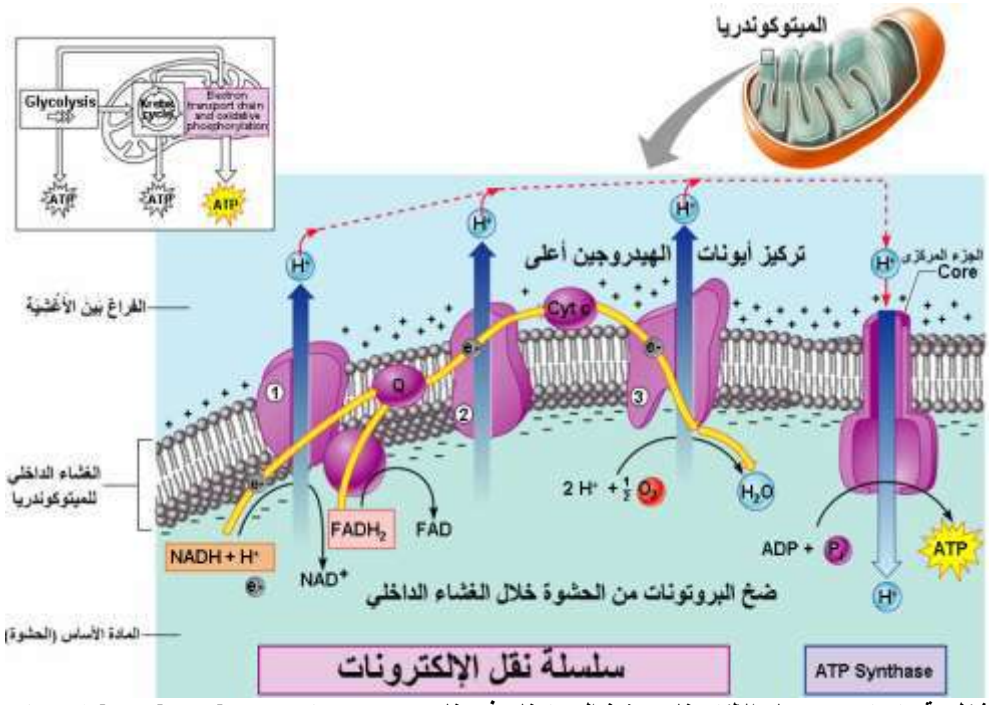
QH_2 إلى سيتوكروم c، ثم تنتقل منه الإلكترونات إلى المتراكب الإنزيمي Cytochrome c Oxidase، وفي هذا المتراكب الإنزيمي تنتقل الإلكترونات إلى سيتوكروم a ثم إلى سيتوكروم a_3 الذي يحتوي أيضاً على ذرة نحاس تتناوب بين الصورة المؤكسدة Cu^{+2} والصورة المُختزلة Cu^{+1} من خلال نقلها للإلكترونات من سيتوكروم a_3 إلى الأكسجين الجزيئي.



الشكل رقم (47) يوضح المركبات حاملات الإلكترونات والمتراكبات الإنزيمية في سلسلة نقل الإلكترونات، عن (Marieb and Hoehn, 2006).

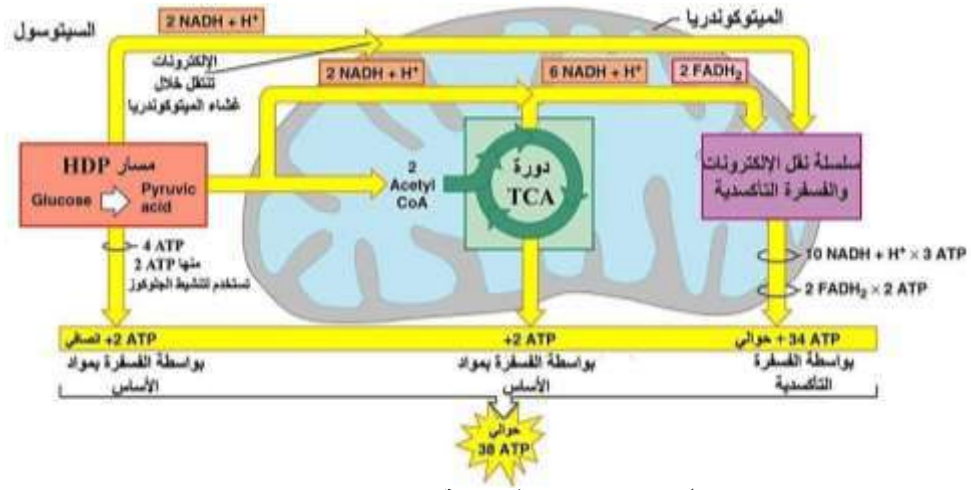
إن نتيجة أكسدة $NADH+H^+$ و $FADH_2$ في سلسلة نقل الإلكترونات وانطلاق الالكترونات عالية الطاقة في سلسلة من المركبات حاملات الإلكترونات كذلك انطلاق ايونات الهيدروجين إلى الفراغ بين الغشاءين الداخلي والخارجي للميتوكوندريا لينتج عنه تدرج في تركيز ايونات الهيدروجين والذي يعرف بالتدرج الكهروكيميائي Electrochemical gradient الذي يؤدي دوراً مباشراً في بناء مركب الطاقة (ATP).

أن سريان الإلكترونات خلال سلسلة المركبات الحاملات للإلكترونات يؤدي إلى ضخ (Pumping) البروتونات من المادة الأساس Matrix للميتوكوندريا خلال الغشاء الداخلي إلى الجانب المقابل للسيتوبلازم وبذلك يصبح تركيز أيونات الهيدروجين أكبر في جانب السيتوبلازم مع نشوء جهد كهروكيميائي Electrochemical potential للغشاء الذي يكون موجب على جانب السيتوبلازم. وبالتالي فإن هذه القوة الدافعة البروتونية تدفع بناء الأدينوزين ثلاثي الفوسفات ATP بواسطة المتراكب الإنزيمي ATP Synthase، حيث أن تدفق البروتونات يؤثر مباشرة في مركز بناء ATP وذلك بتنشيط مجموعة الفوسفات التي تُهاجم في نفس الوقت بواسطة ADP مما يؤدي إلى تكون الأدينوزين ثلاثي الفوسفات ATP.



الشكل رقم (48) دور سريان الإلكترونات وضخ البروتونات في بناء ATP، عن (Marieb and Hoehn, 2006).

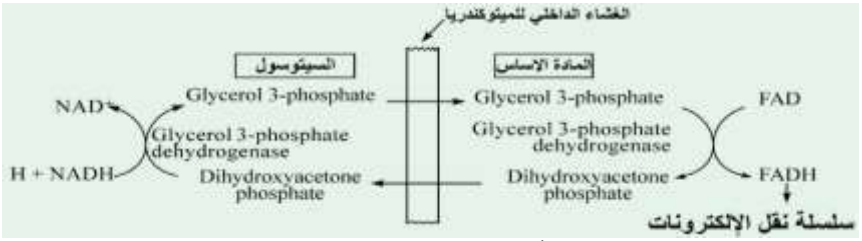
إن العملية الإجمالية لأيض الكربوهيدرات يمكن توضيحها من الشكل التالي:



الشكل رقم (49) يوضح أيض الكربوهيدرات في الخلية، عن (Marieb and Hoehn, 2006).

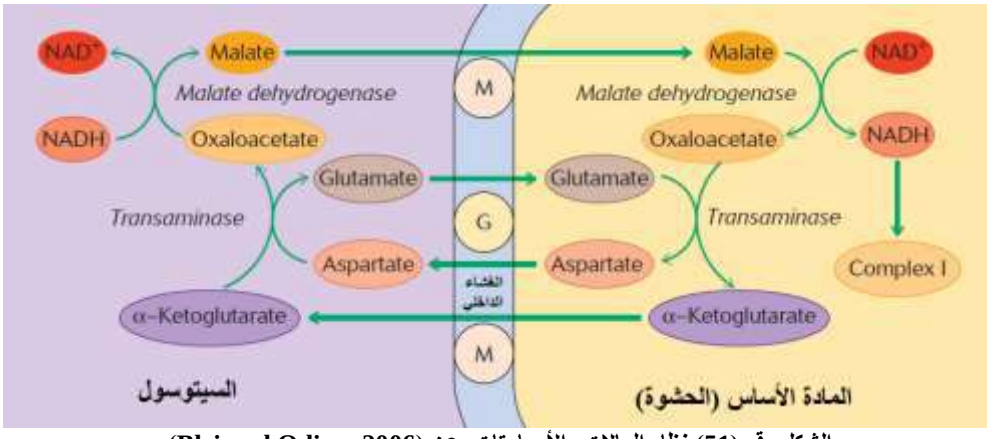
إن الميتوكوندريا السليمة غير منفذة لجزيئات $NADH+H^+$ و NAD و، ولكي يتم أكسدة جزيئي $NADH+H^+$ الناتجين عن مسار السكر السداسي ثنائي الفوسفات HDP يتم نقل الإلكترونات من جزيء $NADH+H^+$ (وليس $NADH+H^+$ بذاته) عبر الغشاء الداخلي للميتوكوندريا، ويمكن أن يتم ذلك بنظامين مختلفين هما:

1- <u>نظام فوسفات الجليسرول</u>: في هذا النظام تنتقل الإلكترونات من $NADH+H^+$ في السيتوسول إلى مركب ثنائي هيدروكسي أسيتون فوسفات الذي يتحول إلى مركب جليسرول 3-فوسفات ويدخل الميتوكوندريا خلال الغشاء الداخلي ثم يعاد أكسدته في المادة الأساس للميتوكوندريا إلى ثنائي هيدروكسي أسيتون فوسفات بواسطة الفلافين ثنائي النيوكليوتيد FAD، ومن ثم ينتقل ثنائي هيدروكسي أسيتون فوسفات إلى السيتوسول ليقوم بعمليات نقل جديدة، أما الفلافين ثنائي النيوكليوتيد FAD فينقل الإلكترونات خلال سلسلة نقل الإلكترونات، وبالتالي يكون إجمالي الطاقة المتولدة من أكسدة جزيء الـ $NADH+H^+$ هي جزيئين من ATP (كما سبق توضيح ذلك)، وعليه فإن الأكسدة الكاملة لمول واحد من الجلوكوز ينتج عنها كمية إجمالية من الطاقة تساوي 36 مول من الأدينوزين ثلاثي الفوسفات ATP، وهذا ما يمكن التعبير عنه من خلال المعادلة التالية: $C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \rightarrow 6H_2O + 6CO_2 + 36\ ATP + heat$.



الشكل رقم (50) نظام فوسفات الجليسرول، عن (Jian *et al.*, 2005).

2- <u>نظام المالات والأسبارتات</u>: حيث تنتقل الإلكترونات من $NADH+H^+$ في السيتوسول إلى الأكسالوأسيتات التي تتحول إلى المالات، ثم تعبر المالات الغشاء الداخلي للميتوكوندريا حيث يعاد أكسدتها في المادة الأساس Matrix مع توليد $NADH+H^+$ والأكسالوأسيتات التي لا تستطيع الرجوع خلال غشاء الميتوكوندريا الداخلي لذلك تتحول الأكسالوأسيتات إلى الأسبارتات التي يمكن أن تعبر الغشاء الداخلي وذلك كما يتضح من الشكل التالي:



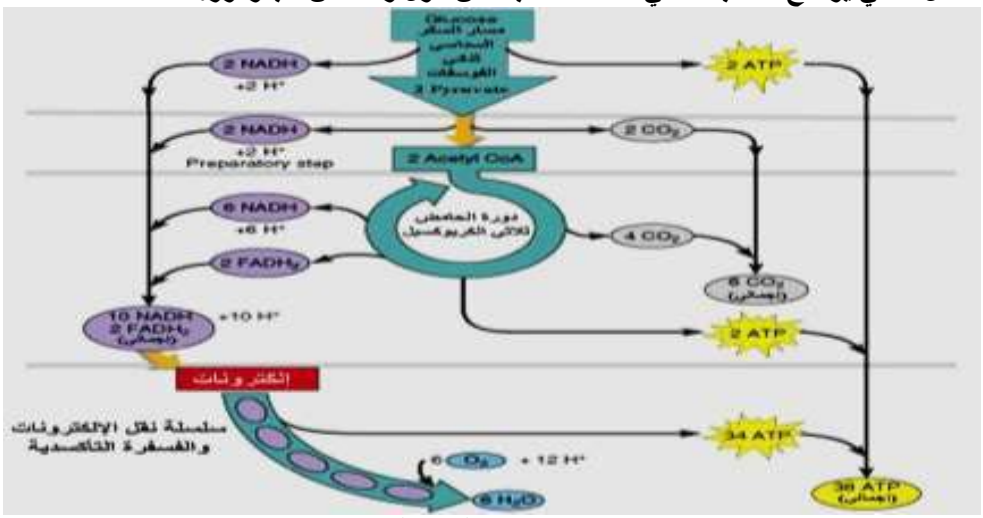
الشكل رقم (51) نظام المالات والأسبارتات، عن (Blei and Odian, 2006).

ومن ثم تنتقل الإلكترونات من $NADH+H^+$ المتكون داخل الميتوكوندريا إلى الأكسجين الجزيئي خلال سلسلة المركبات حاملات الإلكترونات ويكون إجمالي الطاقة المتولدة من أكسدة جزيء الـ $NADH+H^+$ هي ثلاث جزيئات من ATP (كما سبق توضيح ذلك)، وبالتالي فإن الأكسدة الكاملة لمول واحد من الجلوكوز ينتج عنها كمية إجمالية من الطاقة تساوي 38 مول من الأدينوزين ثلاثي الفوسفات ATP، وهذا ما يمكن التعبير عنه من خلال المعادلة التالية:

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \rightarrow 6H_2O + 6CO_2 + 38\ ATP + heat$$

ويتم نقل الإلكترونات بهذا النظام عندما تكون نسبة $(NADH+H^+ / NAD^+)$ في السيتوسول أعلى من نسبته في المادة الأساس للميتوكوندريا، وهذا النظام موجود في خلايا القلب والكبد.

الشكل التالي يوضح حساب صافي الطاقة الناتجة عن مول واحد من الجلوكوز:

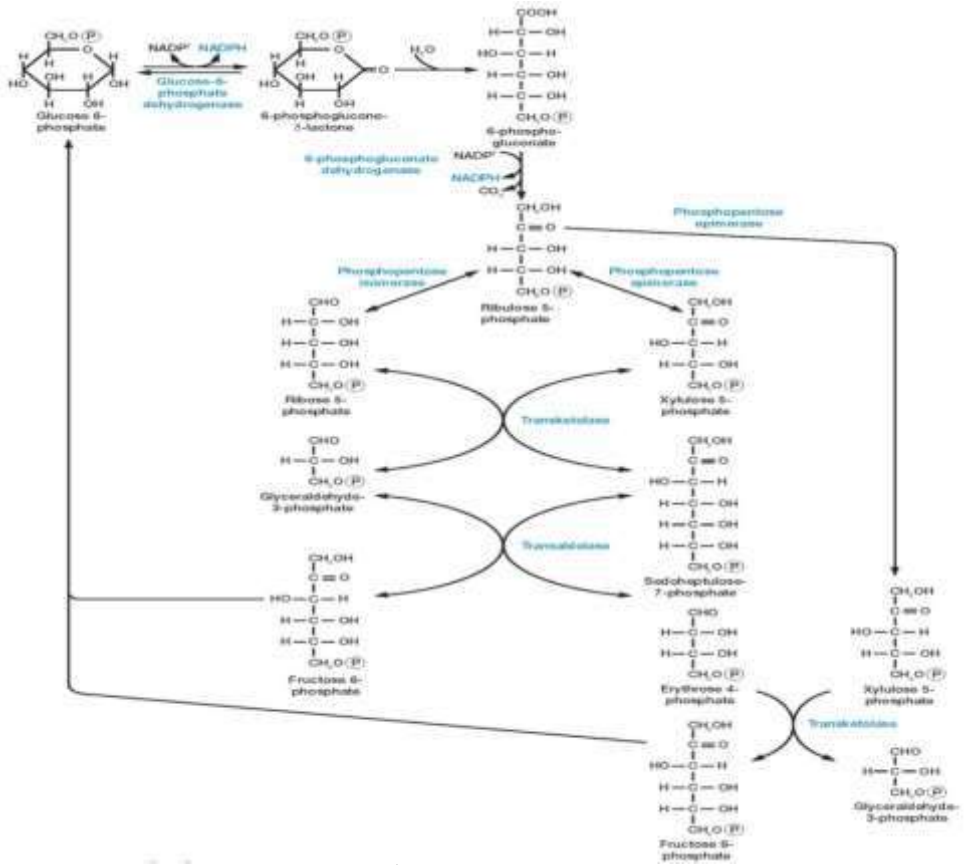


الشكل رقم (52) يوضح حساب صافي الطاقة الناتجة عن مول واحد من الجلوكوز.

ومما سبق يتضح لنا إن الأكسدة الكاملة للجلوكوز إلى ثاني أكسيد الكربون CO_2 والماء H_2O تحدث من خلال مسار السكر السداسي ثنائي الفوسفات HDP وما يتبعه من دورة الحامض الثلاثي الكربوكسيل والفسفرة المرافقة لنقل الالكترونات وذلك للحصول على الطاقة الحرة المخزنة في مركب الأدينوزين ثلاثي الفوسفات (ATP) الذي يعمل كحامل عام للطاقة الحرة في الأنظمة الحيوية. لكن الخلايا تحتاج إلى توليد نوع أخر من طاقة الأيض وهي القوة المُختزلة، حيث أن بعض الإلكترونات وذرات الهيدروجين يجب أن تُحفظ لأغراض البناء الحيوي بدلاً من نقلها إلى الأكسجين لتكوين مركب ATP. وهذه القوة المُختزلة المتاحة للخلايا تتمثل في مركب $NADPH+H^+$ الذي يختلف عن مركب $NADH+H^+$ في احتوائه على مجموعة فوسفات على ذرة الكربون الثانية في سكر الرايبوز المرتبط بالأدنين، وتحصل الخلايا على مركب $NADPH+H^+$ من خلال مسار السكر السداسي أحادي الفوسفات HMP.

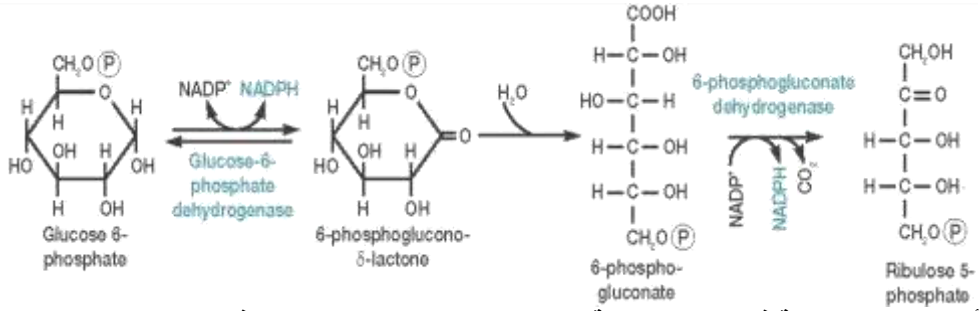
- **مسار السكر السداسي أحادي الفوسفات Hexose monophosphate pathway:**

يحمل هذا المسار عدداً من الأسماء الأُخرى مثل Oxidative pentose pathway أو Pentose-phosphate pathway أو Pentose Shunt. وفي هذا المسار تحدث العديد من التفاعلات المعقدة، والخطوات المعقدة لهذا المسار المهم يمكن توضيحها في الشكل التالي:

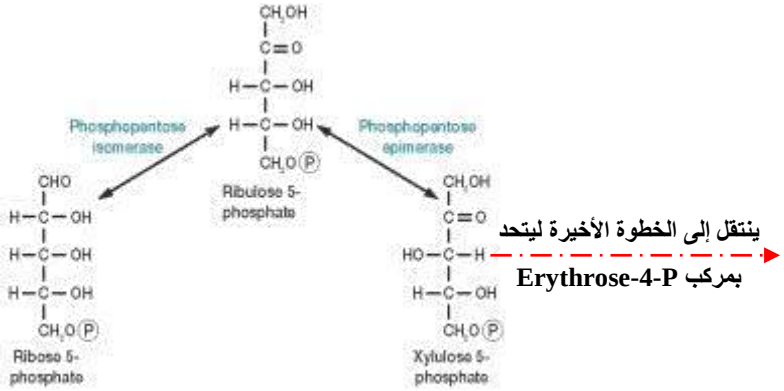


الشكل رقم (53) يوضح مسار السكر السداسي أحادي الفوسفات HMP.

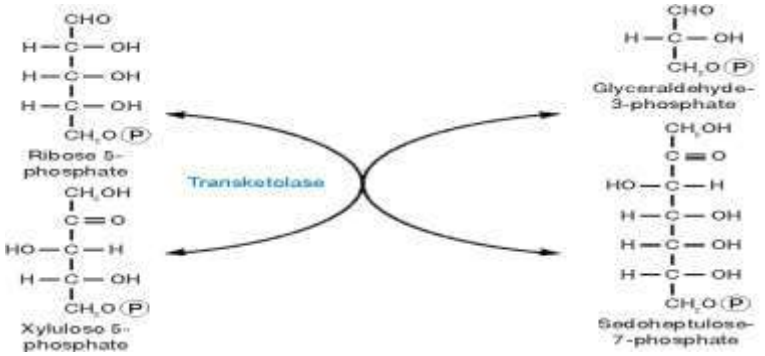
إن التفاعل الأول في هذا المسار مشابه للتفاعل الحاصل في مسار السكر السداسي ثنائي الفوسفات (HDP)، ثم يبدأ الاختلاف حيث يتأكسد الجلوكوز-6- فوسفات بواسطة النيكوتين أميد ثنائي النيوكليوتيد فوسفات (NADP) لينتج المركب D-glucono-lactone-6 phosphate في وجود إنزيم Glucose-6-P-dehydrogenase، وفي الخطوة الثالثة يحدث تحلل مائي للمركب الناتج في وجود إنزيم gluconolactonase ليكون مركب 6- Phosphogluconate، بعدها يتكون مركب الرايبولوز-5-فوسفات Ribulose-5-P من النوع D في وجود إنزيم Phosphogluconate dehydrogenase وخلال التفاعل تزال جزيئة ثاني أكسيد الكربون CO_2.



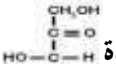
أما الخطوة الخامسة فهي خطوة مركبة حيث يرتبط مركب الرايبولوز-5-فوسفات Ribulose-5-P جزئياً بإنزيمين مختلفين الأول Ribulose phosphate epimarase محولاً هذا المركب إلى مركب Xylulose-5-P، أما الإنزيم الثاني Ribulose phosphate isomerase مسئول عن تكون مركب Ribose-5-P، الذي يدخل في تكوين الأحماض النووية DNA و RNA.

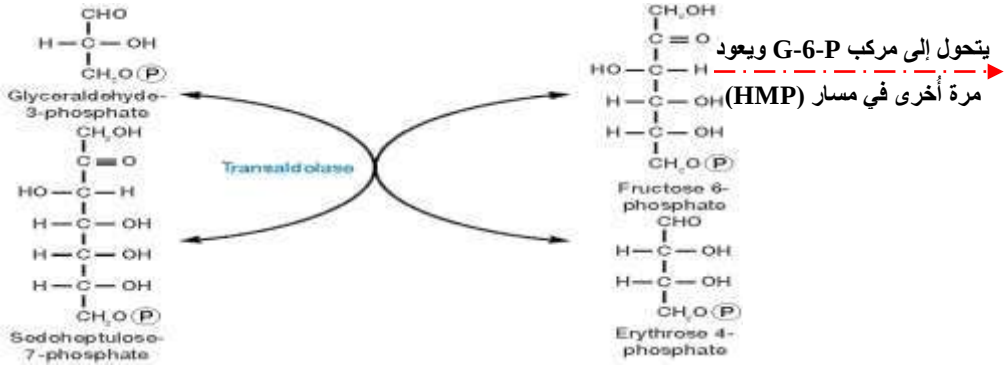


إن كلٍ من المركبين الناتجين Xylulose-5-P و Ribose-5-P، يدخلان في تفاعل انشقاقي Cleavage reaction لتكوين مركب Glyceraldehyde-3-P الثلاثي الكربون و Sedoheptulose-7-P السباعي الكربون في وجود إنزيم Transketolase.

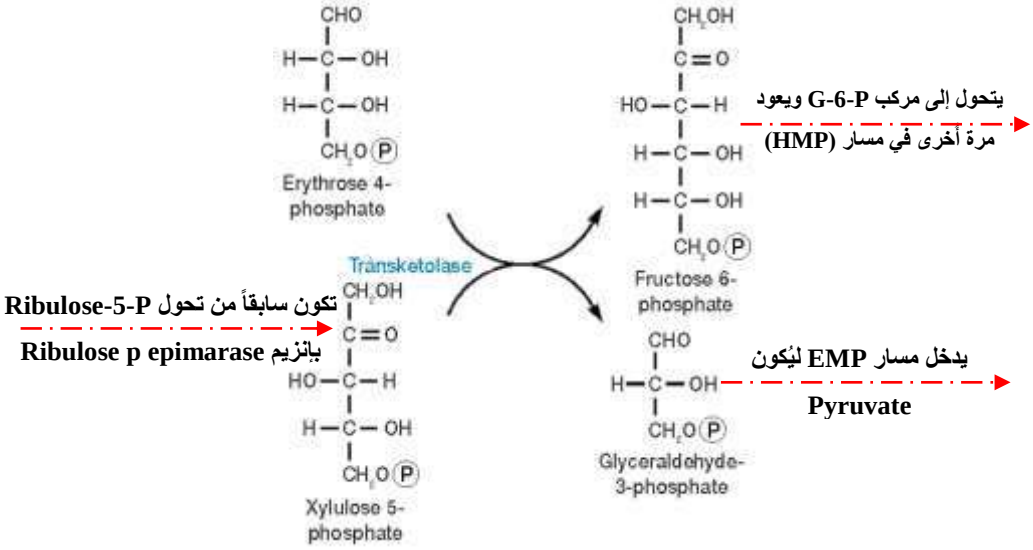


حيث يقوم إنزيم Transketolase بنقل وحدة $\overset{CH_2OH}{\underset{}{C=O}}$ من سكر Xylulose-5-P الكيتوني إلى سكر Ribose-5-P الألدهيدي.

والمركبان الناتجان يتحدان ثم ينشقان لتكوين Fructose-6-P (الذي يعود ليُكوّن Glucose-6-P) و Erythrose-4-P في وجود إنزيم Transaldolase، حيث يقوم إنزيم Transaldolase بنقل وحدة  من سكر Sedoheptulose-7-P الكيتوني إلى سكر Glyceraldehyde-3-P الألدهيدي.



أما في الخطوة التي تليها فيحدث تفاعل انشقاقي Cleavage reaction ينتج عن إتحاد المركبين Erythrose-4-P و Xylulose-5-P (من الخطوة الخامسة) ثم انشقاقهما لتكوين المركبين Glyceraldehyde-3-p و Fructose-6- p في وجود إنزيم Transketolase.



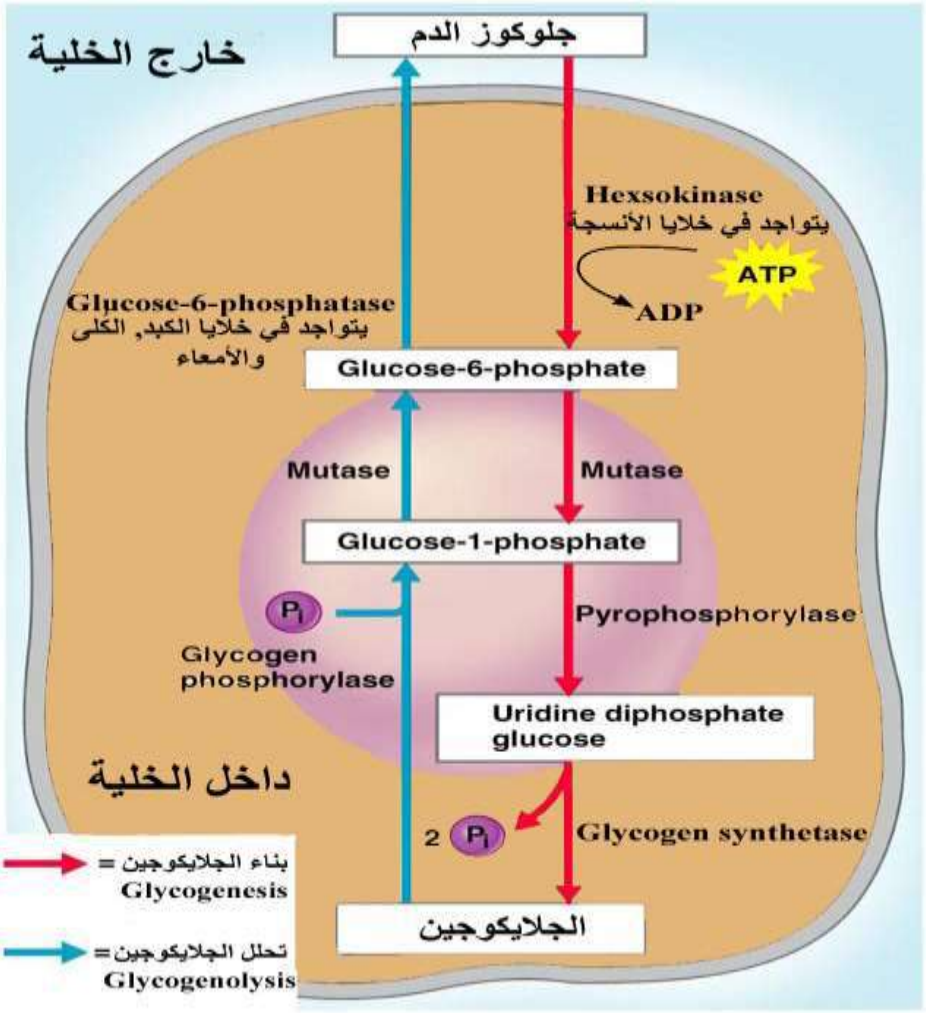
وكما يتضح لنا إن مركب Glyceraldehyde-3-phosphate يدخل في مسار (HDP) ليكون في نهاية المطاف مركب البيروفات Pyruvate، أما مركب Fructose-6-phosphate فيتحول إلى مركب Glucose-6- phosphate بعملية Isomerization، حيث يعود مرة أخرى في مسار (HMP) أو يدخل مسار EMP.

عند مقارنة مسار السكر السداسي ثنائي الفوسفات HDP بمسار السكر السداسي أحادي الفوسفات HMP، يمكننا القول بأن مسار HDP يوفر كميات من الطاقة اكبر من تلك التي يوفرها مسار HMP ولكنه لا يوفر إلا القليل من المواد السابقة أو الطلائع المستخدمة في عمليات البناء الخلوي، وبالتالي فإن الخلايا تستعمله عندما ما تنو في أوساط غذائية غنية. أما المسار HMP فهو على النقيض من ذلك حيث أنه يزود الخلايا بالقوة المُختزلة الضرورية ($NADPH+H^+$) لأغراض البناء الحيوي وكذلك العديد من المواد السابقة الضرورية لعمليات تخليق القواعد النيتروجينية وغيرها، لكنه لا يزود الخلايا بالمركب الوسطي المهم البيروفات مباشرة لذا فالخلايا تحتاج إلى جزء من إنزيمات المسار HDP لتوفير البيروفات من مركب Glyceraldehyde-3-phosphate.

- **بناء وتحلل الجلايكوجين Glycogenesis and Glycogenolysis:**

إن مصطلح Glycogenesis (بناء الجلايكوجين) يقصد به الخطوات التي يتم من خلالها تحول الجلوكوز الزائد عن حاجة الجسم إلى جلايكوجين يخزن في الكبد والعضلات.

أما مصطلح Glycogenolysis (التحلل المائي للجلايكوجين) فيقصد به الخطوات التي يتم من خلالها تحلل الجلايكوجين إلى جلوكوز (عملية عكسية لبناء الجلايكوجين). ويستخدم الجلايكوجين كمصدر سريع للطاقة عند انخفاض نسبة السكر في الدم (في حالات الجوع أو الصيام أو المجهود العضلي الشاق). وتقدر كمية الجلايكوجين التي تخزن في الجسم بحوالي 350 جرام للشخص البالغ، منها 120 جرام في الكبد (بما يشكل 5 % من وزنه) و 230 جرام في العضلات (بما يشكل 1 % من وزنها). والشكل التالي مخطط مبسط لعمليتي بناء وتحلل الجلايكوجين.



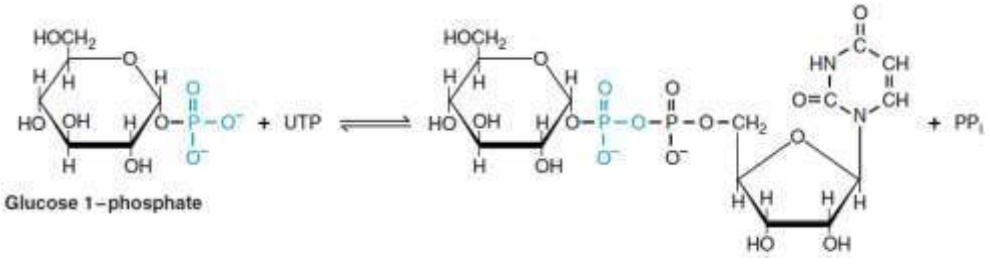
الشكل رقم (54) يوضح مخطط مبسط لعمليتي بناء وتحلل الجلايكوجين، عن (Marieb and Hoehn, 2006).

يتضح من الشكل السابق أن مُركب يوريدين الجلوكوز ثنائي الفوسفات (UDPGlu) Uridine diphosphate glucose هو الشكل النشيط الذي يهب الجلوكوز أثناء عملية بناء الجلايكوجين، وللوصول إلى هذا المركب ينتقل الجلوكوز الزائد في الدم إلى داخل الخلايا التي تقوم بتخزين الجلايكوجين، حيث يخضع لعملية تنشيط Activation فيتفسفر الجلوكوز بواسطة الأدينوزين ثلاثي الفوسفات ATP حيث تضاف مجموعة فوسفات على ذرة الكربون رقم 6 في جزيئة الجلوكوز حيث يتحول هذا الأخير إلى جلوكوز-6-فوسفات في وجود إنزيم Hexokinase، ثم يتحول الجلوكوز-6-فوسفات بواسطة إنزيم Phosphoglucomutase إلى جلوكوز-1-فوسفات، ثم يتفاعل مع مركب اليوريدين ثلاثي الفوسفات Uridine triphosphate وهذا التفاعل يحفز بإنزيم UDPGlu Pyrophosphorylase.

خطوات بناء الجلايكوجين Glycogenesis:

1- قبل أن تبدأ عملية بناء الجلايكوجين يتم تكوين مُركب يوريدين الجلوكوز ثنائي الفوسفات (UDPGlu) بالتفاعل بين الجلوكوز -1- فوسفات واليوريدين ثلاثى الفوسفات (UTP) في وجود انزيم يوريدين داى فوسفوجلوكوز بيروفوسفوريليز وفقاً للمعادلة التالية:

Glucose-1-phosphate + UTP → UDPGlu + PPi

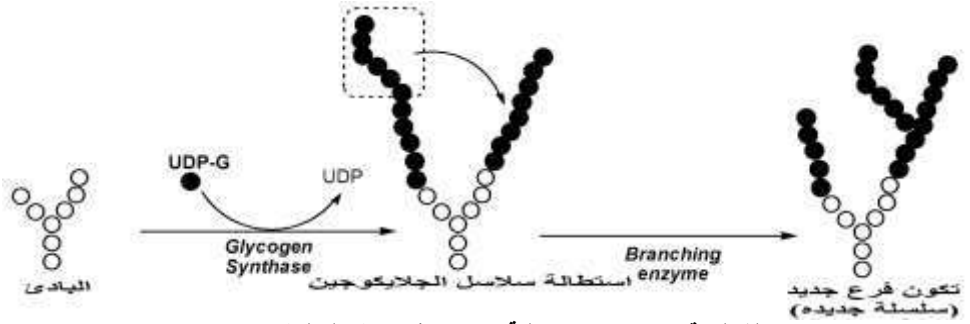


2- بعد تكون مُركب يوريدين الجلوكوز ثنائي الفوسفات UDPGlu (الشكل النشط الناقل للجلوكوز) يتم بناء الجلايكوجين في وجود إنزيم Glycogen synthetase، ويتحرر UDP وفقاً للمعادلة التالية: $(Glycogen)_n + UDPGlu \rightarrow (Glycogen)_{n+1} + UDP$.

*** وفي كل مرة يتحول فيها الجلوكوز -1- فوسفات الى جلايكوجين يحدث تحلل لـ UTP الى UDP وPi لذلك لابد من وجود UTP بصفة مستمرة لحدوث عملية البناء، ويمكن الحصول على UTP من جزئ ATP وفقاً للمعادلة التالية: $UDP + ATP \rightarrow UTP + ADP$.**

إذاً عملية بناء الجلايكوجين لا تحدث إلا حين توفر كمية فائضة من الطاقة على هيئة ATP، فيُستهلك (2 ATP) لإضافة جزيء من جلوكوز إلى الجلايكوجين، الأول لفسفرة الجلوكوز وتحويله إلى جلوكوز -1- فوسفات، والثاني للحصول على الـ UTP لتكوين UDPGlu.

ولبداية تكوين سلسلة من الجلايكوجين ينبغي وجود بادئ لهذه العملية، ولا يمكن أن يكون الجلوكوز هو البادئ لهذه العملية، لذا تعتمد الخلية على وجود إنزيم يسمى جلايكوجينين كبادئ، وهنا يرتبط الجلايكوجينين بـ UDPGle، وهكذا يكون إنزيم الجلايكوجينين المرتبط بالجلوكوز glycosylated glycogen هو نواة لبداية تكوين الجلايكوجين. ثم يتم اضافة جزيئات جلوكوز برابطة (α-1→4) حتى يصل العدد إلى 11 جزيء تقريباً، ثم تتفرع السلسلة برابطة (α-1→6) بإنزيم التشعيب Branching enzyme الذي يسمى Amylo 4:6 Transferase الذي يقطع 6 جزيئات على الأقل وينقلها إلى سلسلة طرفية برابطة (α-1→6).



الشكل رقم (55) يوضح عملية تكوين وتفرع سلاسل الجلايكوجين.

التحلل المائي للجلايكوجين Glycogenolysis:

تبدأ عملية التحلل المائي للجلايكوجين Glycogenolysis بتحلل الجلايكوجين إلى جلوكوز-1- فوسفات بواسطة إنزيم Glycogen phosphorylase وفقاً للمعادلة التالية:

$$(Glycogen)_n + Pi \rightarrow Glucose\text{-}1\text{-}phosphate + (Glycogen)_{n-1}$$

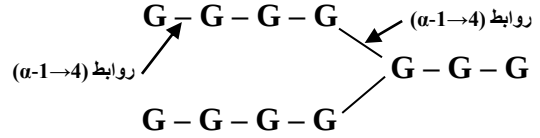
في الخطوة التالية يتحول الجلوكوز-1-فوسفات إلى جلوكوز-6-فوسفات بواسطة إنزيم Phosphoglucomutase وفقاً للمعادلة التالية:

$$Glucose\text{-}1\text{-}phosphate \rightarrow Glucose\text{-}6\text{-}phosphate$$

إن الجلوكوز-6- فوسفات لا يستطيع الخروج من خلايا الكبد إلا بعد أن يتحول إلى جلوكوز بواسطة إنزيم Glucose-6-phosphatase. ويقوم الكبد بإمداد الدم بالجلوكوز أثناء الصيام أو حالات الجوع أو في حالة بذل مجهود عضلي شاق.

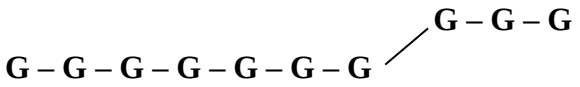
إن التحلل المائي للجلايكوجين Glycogenolysis يتطلب ثلاثة انزيمات رئيسية هي:

1 - Glycogen phosphorylase الذي يحلل الجلايكوجين نتيجة تكسير الراوبط (α-1→4) في سلاسل الجليكوجين.



2 - Transferase الذي يقوم بالمساعدة في ازالة التفرع الموجود في الجلايكوجين (نقل ثلاثة وحدات جلوكوز من احد التفرعات الى الأخر) وهذا يعنى انه يحدث فسفرة كاملة للجلايكوجين ويتحول حوالى 90 % الى جلوكوز - 1 - فوسفات ويبقى 10 % من الجلايكوجين وهى نقطة التفرع التي تتحول الى جلوكوز.

3 - α-1,4 Glucosidase الذي يقوم بتكسير الرابطة (α-1→6) التي قاومت الانزيمات السابقة ويؤدى ذلك الى تكوين جزئ جلوكوز واحد وسلسلة مستقيمة من وحدات الجلوكوز.

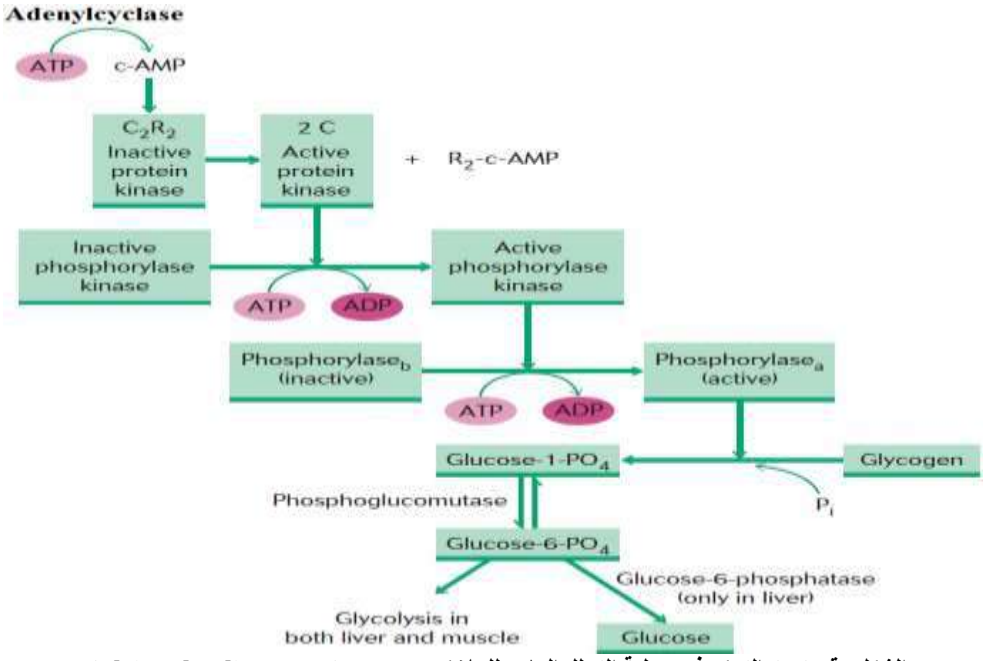


* وهنا يقوم الإنزيمين Transferase و α-1,4 Glucosidas بتحويل سلسلة الجلايكوجين المتفرعة إلى سلسلة مستقيمة مما يمكن إنزيم Glycogen phosphorylase من تكسير الراوبط (α-1→4) وإنتاج الجلوكوز.

<u>التحكم في عملية بناء الجلايكوجين Glycogenesis وتحلله Glycogenolysis:</u>

تحدث عملية التحلل المائي للجلايكوجين عند انخفاض نسبة السكر في الدم نتيجة الجوع أو النشاط البدني الشاق، بواسطة إنزيم Glycogen phosphorylase، وتوجد صورتان لإنزيم الـ Phosphorylase هما Phosphorylase (a) وهي الصورة النشطة للإنزيم و Phosphorylase (b) الصورة غير النشطة للإنزيم، ويتم التحكم في عمليات تحلل الجلايكوجين بواسطة مركب الأدينوزين أحادي الفوسفات الحلقي cyclic adenosine mono phosphate (cAMP) حيث يقوم هرمون الجلوكاجون Glucagon في الكبد وهرمون الأدرينالين Adrenaline (الإبينفيرين Epinephrine) في الكبد والعضلات باستحثاث إنزيم أدينيل سيكليز Adenylcyclase المسؤل عن تكون cAMP من ATP.

إن cAMP يقوم بتحويل إنزيم Protein kinase من صورته غير النشطة إلى صورة نشطة Active Protein kinase وهذا الأخير يقوم بتحويل إنزيم Phosphorylase kinase من صورته غير النشطة إلى صورة نشطة Active Phosphorylase kinase وبالتالي تحويل إنزيم Phosphorylase (b) إلى Phosphorylase (a)، كما يؤدى ذلك الى تحول إنزيم Glycogen synthetase (a) النشط الى الوضع الخامل Glycogen synthetase (b) وتكون النتيجة النهائية وقف عملية بناء الجلايكوجين وتنشيط عملية التحلل المائي للجلايكوجين وفقاً للشكل التالي:



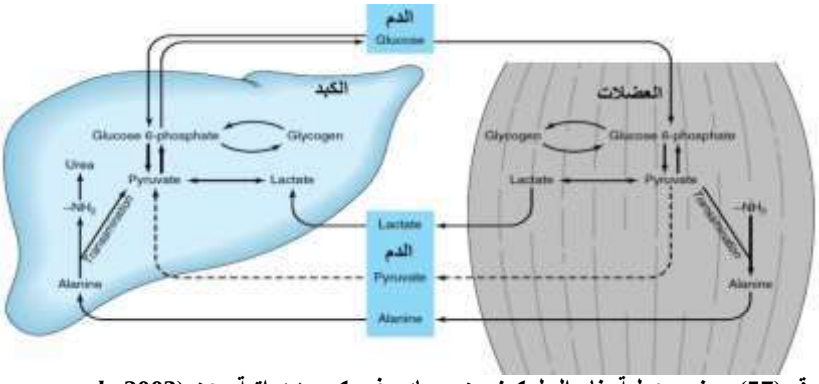
الشكل رقم (56) التحكم في عملية التحلل المائي للجلايكوجين، عن (Blei and Odian, 2006).

أما في حالة الشبع وعدم الحاجة الى طاقة تحدث عملية بناء الجلايكوجين وهناك أيضاً نوعان من إنزيم Glycogen synthetase هما إنزيم (a) Synthetase النشط والذي يسمى أيضاً (l) Synthetase وإنزيم (b) Synthetase غير النشط ويسمى أيضاً (d) Synthetase، ولبناء الجلايكوجين يجب تحويل إنزيم (a) Synthetase النشط إلى (b) Synthetase غير النشط، ويزيد هرمون الإنسولين من نشاط إنزيم (a) Synthetase، كما يعمل هرمون الإنسولين أيضاً على تنشيط هرمون Phosphodiesterase الذي يحول مركب cyclic-AMP إلى AMP غير الحلقي (مما يوقف عملية تحلل الجلايكوجين ويسرع من عملية تكوينه). لكن تحويل الشكل غير النشط للإنزيم إلى الشكل النشط يُثبط بزيادة تركيز الجلايكوجين، كما أن هرمونات الجلوكاجون Glucagon (في الكبد) والأدرينالين Adrenaline (في الكبد والعضلات) يقومان بتحويل الشكل النشط إلى الشكل غير النشط للإنزيم ويحفزان عملية تحلل الجلايكوجين.

وتكمن أهم الفروقات بين جلايكوجين الكبد والعضلات في كون جلايكوجين الكبد يشتق من كربوهيدرات الوجبة و 10% من دهون الوجبة و 58% من بروتين الوجبة الغذائية في حين أن جلايكوجين العضلات يشتق من جلوكوز الدم، كما أن جلايكوجين الكبد يعطي جلوكوز مباشرة بسبب وجود إنزيم الفوسفاتيز الذي يحول الجلوكوز-6-فوسفات إلى جلوكوز وتستخدم الطاقة الناتجة منه بواسطة كل أنسجة الجسم في حين أن جلايكوجين العضلات يعطي حامض اللاكتيك في البداية والذي يمر إلى الكبد ثم يتحول إلى جلوكوز في الكبد.

- **بناء الجلوكوز أو الجلايكوجين من مصادر غير كربوهيدراتية Gluconeogenesis:**

إن بناء الجلوكوز أو الجلايكوجين من مصادر غير كربوهيدراتية يتم بشكل أساسي في الكبد وبشكل منخفض جداً في الكُلى، وتحدث هذه العملية في حالة الجوع الشديد أو في حالة النشاطات الرياضية العنيفة أو في حالة عدم حصول الجسم على الكمية الكافية من الأنسولين في حالة الداء السكري، وقد وجِد أن المصادر الرئيسة غير الكربوهيدراتية التي يتم بناء الجلوكوز أو الجلايكوجين منها تتمثل في حامض اللاكتيك وبعض الأحماض الأمينية والجليسرول الذي يدخل مسار HDP ويستخدم في إنتاج الطاقة.



الشكل رقم (57) يوضح عملية بناء الجلوكوز من مصادر غير كربوهيدراتية، عن (Murray *et al.*, 2003).

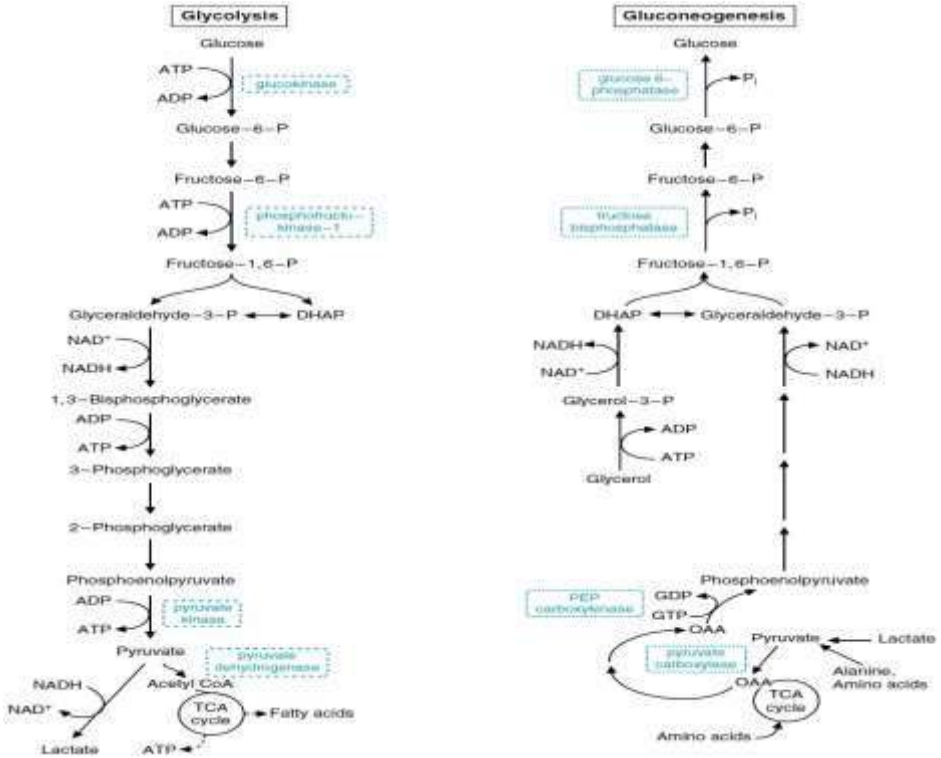
إن استهلاك الجلوكوز لإنتاج الطاقة في العضلات سبق توضيحه، فالجلوكوز يدخل مسار HDP ليُكوّن البيروفات، وكما تم التوضيح سابقاً أن إلكترونات مركب $NADH+H^+$ الناتج عن مسار HDP تنتقل عبر نظام فوسفات الجليسرول إلى الميتوكوندريا وبالتالي فإن البيروفات تتحول إلى Acetyl-CoA الذي يدخل دورة كربس ثم الفسفرة التأكسدية في سلسة نقل الإلكترونات وبالتالي يكون حاصل الطاقة 36 جزيئة من ATP، وفقاً للتسلسل التالي:

Glucose → Pyruvate → Acetyl-CoA → TCA cycle → Oxidative phosphorylation

لكن ذلك لا يكون إلا عندما تكون العضلة في حالة راحة، أما في حالة الجهد العضلي الشديد فإن العضلات تستهلك الجلوكوز بشدة مما يؤدي إلى تكون البيروفات Pyruvate في السيتوسول بمعدل أكبر مما تستطيع الميتوكوندريا أن تستوعبه وتؤكسده وبالتالي فلا يسير الأمر وفقاً لما سبق، حيث أن الـ $NADH+H^+$ الناتج عن مسار HDP لا يمكن أن يتراكم في السيتوسول وذلك لمحدودية محتوى الخلية منه ولأهميته في مختلف العمليات الحيوية، فإنه لابد وأن يؤكسد مرة أُخرى لكي يتم استخدامه من جديد. ولا يكون مستلم الالكترونات خارجياً (الأكسجين)، بل إحدى المواد الناتجة من التفاعلات الحيوية داخل الخلية وهو البيروفات بواسطة إنزيم Lactate Dehydrogenase، لِتتكوّن اللاكتات Lactate.

لكن حامض اللاكتيك لا يمكن أن يتراكم في العضلات حيث يؤدي ذلك إلى عرقلة عملها مسبباً الشد العضلي، ويؤدي تكدس حامض اللاكتيك إلى حدوث حالة إحمضاض يسبب الغثيان والصداع وقلة الشهية وتباطؤ نقل الأكسجين مسبباً الصعوبة والألم في استنشاق الهواء الذي يعانيه الرياضيون بعد المجهود العضلي الشاق. ويجب أن يزال حامض اللاكتيك أما بالتحول إلى بيروفات Pyruvate في خلايا العضلات أو بالانتقال إلى خلايا الكبد وهناك يتأكسد 25 % منه خلال دورة الحامض الثلاثي الكربوكسيل TCA (بعد تحوله إلى بيروفات Pyruvate)، والبقية (75 %) تتحول إلى جلايكوجين. أما فيما يخص عملية استخدام الأحماض الأمينية كمصدر للطاقة فتتم بواسطة عملية نقل الأمين Transamination، وسيتم بإذن الله تعالى توضيحها لاحقاً.

ويعتبر الجلوكوز من أهم الكربوهيدرات في تغذية الخلايا، كما أن السكريات الأحادية الأخرى الممتصة كالفركتوز والجالاكتوز التي تتفسفر، فالفركتوز يتحول إلى فركتوز-6-فوسفات، والجالاكتوز يتحول إلى جلوكوز-6-فوسفات وهذا يدخلان في مسار السكر السداسي ثنائي الفوسفات HDP، ويعتبر الكبد أهم موقع في الجسم للعمليات الأيضية التي تتعلق بالكربوهيدرات، إلا أن هناك أنسجة أخرى تلعب ادوار مهمة في تمثيل الجلوكوز مثل الأنسجة الدهنية Adipose tissue والأنسجة العضلية والأنسجة الكُلوية، كما أن تمثيل الطاقة يحدث داخل خلايا الجسم.



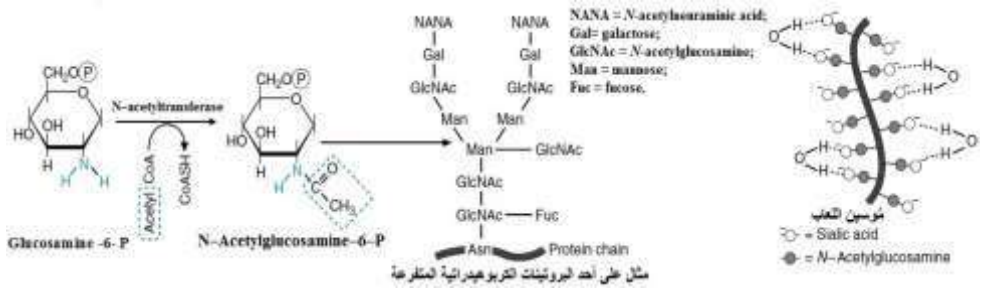
الشكل رقم (58) مقارنة بين مساري بناء الجلوكوز Gluconeogenesis وتحلله في الكبد Glycolysis.

- **تكوين مواد مهمة حيوياً مثل الجلوكوزأمين Glucosamine:**

عرفنا سابقاً أن الجلوكوز يدخل في إنتاج بعض المواد المهمة لكي يقوم الجسم بوظائفه الحيوية مثل الجلوكوزأمين والجلاكتوزأمين الضرورية لتكوين السكريات العديدة في الأنسجة المخاطية وفي البروتينات الكربوهيدراتية. وهنا يتحول الجلوكوز إلى جلوكوز -6- فوسفات ثم إلى فركتوز -6- فوسفات، وتضاف له مجموعة أمين مصدرها الحامض الأميني جلوتامين الذي يتحول بعدها إلى حامض جلوتاميك وهنا يتكون الجلوكوزأمين -6- فوسفات وفقاً للمعادلة التالية:

Fructose -6- P + Glutamine → Glucosamine -6- P + Glutamate

تضاف مجموعة استيل للجلوكوزأمين -6- فوسفات من أسيتيل المرافق الإنزيمي أ في وجود إنزيم ناقِلَ الأسيتيل N–acetyltransferase ليكـــــون مركب أسيتيل جلوكوزأمين -6- فوسفات N–Acetylglucosamine–6–P. ويدخل مركب أسيتيل جلوكوزأمين -6- فوسفات في تكوين السكريات العديدة في الأنسجة المخاطية وفي البروتينات الكربوهيدراتية كما يتضح مما يلي:

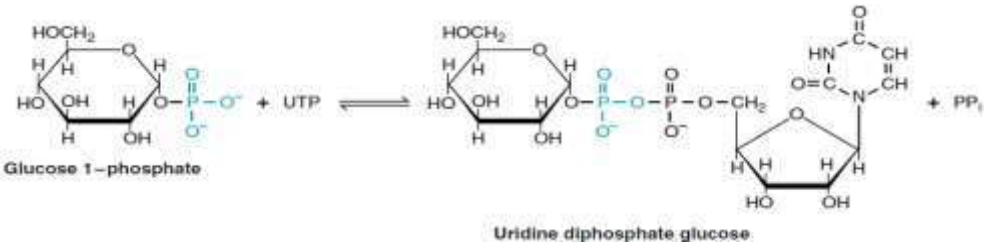


الشكل رقم (59) بناء الجلوكوزأمين وتكوين السكريات العديدة في الأنسجة المخاطية وفي البروتينات الكربوهيدراتية.

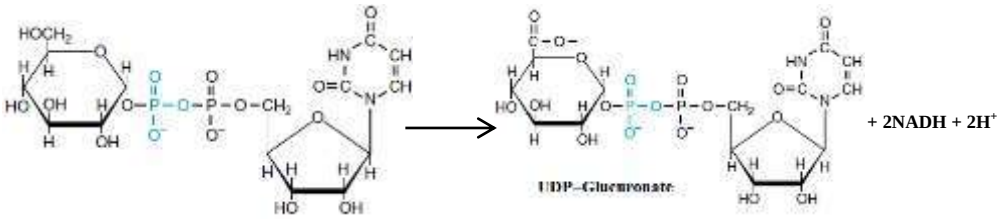
- **أيض حامض الجلوكورونيك Glucuronic acid:**

كما عرفنا سابقاً أن حامض الجلوكورونيك Glucuronic acid له القدرة على الارتباط بالمواد السامة وطردها خارج الجسم وذلك عن طريق تكوين مركب الجلُوكُورونيد Glucuronide الذي يرتبط بالمواد الغريبة مثل البنزوات والفينولات والعقاقير فيزيد من إفرازها عن طريق الكلى، كما يستخدم في بناء السكريات العديدة الحامضية مثل حامض الهيالورونيك والهيبارين، كما يرتبط معه البِيليروبين Bilirubin عند وصوله إلى الكبد ويفرز في الصفراء.

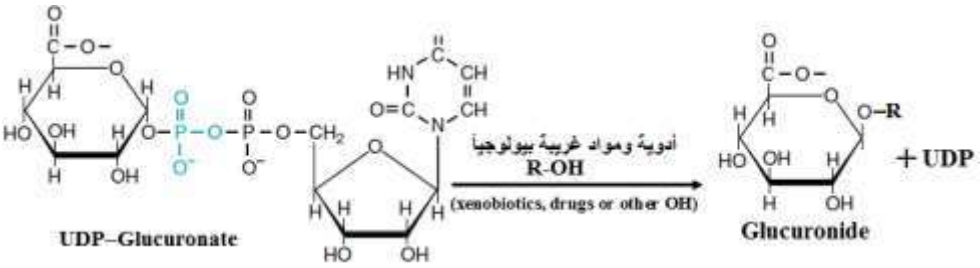
Glucose-1-phosphate + UTP → UDPGlu + PPi



$$UDPGlu + 2NAD^+ + H_2O \rightarrow UDP–Glucuronate + 2NADH + 2H^+$$



$$UDP–Glucuronate + H_2O \rightarrow UDP + Glucuronide$$



Glucuronide ⟶ Bile or Urine

أيض الكربوهيدرات غير السوي:

1- عدم تحمل اللاكتوز Lactose Intolerance:-

هو عبارة عن خلل يؤدي إلى عدم القدرة على هضم سكر اللاكتوز Lactose نتيجة عدم قدرة الجسم على إفراز إنزيم اللاكتيز Lactase الذي يُحوّل اللاكتوز إلى سكري الجلوكوز والجالاكتوز الأحاديين اللذين يستطيع الجسم امتصاصهما، وتقسم حالات عدم تحمل اللاكتوز إلى:

1 - عدم تحمل اللاكتوز الأساسي وتحدث نتيجة عدم تناول الأطفال للحليب بعد الفطام فيؤدي ذلك إلى عدم إفراز إنزيم اللاكتيز لاحقاً، وتظهر هذه الحالة بعد عمر 4 سنوات وتزداد بتقدم العمر.

2 - عدم تحمل اللاكتوز الثانوي وتحدث نتيجة عمليات جراحية في الأمعاء الدقيقة أو إصابة الأمعاء الدقيقة بأمراض الجهاز الهضمي مثل التهاب المعدة والأمعاء ومرض كرون.

3 - عدم تحمل اللاكتوز الخلقي أو الوراثي حيث يولد الطفل مصاباً بعدم تحمل اللاكتوز نتيجة عدم إفراز إنزيم اللاكتيز مطلقاً وهذه حالة نادرة جدا.

وتتمثل أعراض حالة عدم تحمل اللاكتوز على هيئة تقلصات، وإسهال، ومغص وذلك نتيجة للتأثير الإسموزي من اللاكتوز المتجمع في الأمعاء، وكذلك نتيجة لتخمر سكر اللاكتوز المتراكم في الأمعاء بواسطة الأحياء المجهرية والتي تنتج غاز ثاني أكسيد الكربون وأحماض عضوية.

يمكن لمعظم الأشخاص الذين لديهم مستويات منخفضة من إنزيم اللاكتيز شرب كميات صغيرة من الحليب تصل إلى نصف كوب دون أن تظهر عليهم أي أعراض. بينما ينصح الأشخاص الذين يعانون من انعدام إنزيم اللاكتيز باستبدال الحليب بالزبادي أو الجبن لخلوهما من اللاكتوز الذي يتحول إلى حامض اللاكتيك في تلك المنتجات المتخمرة. كما يمكن للأشخاص الذي يعانون من حالة عدم تحمل اللاكتوز تناول منتجات الحليب الخالية من اللاكتوز (وهي منتجات خاصة تحمل علامات تجارية معينة) إلا أن ما يعيبها هو ارتفاع ثمنها، وكذلك يمكنهم إضافة إنزيم اللاكتيز إلى الحليب العادي على هيئة قطرات أو اخذ هذه الإنزيمات في كبسولة أو على شكل أقراص مع تناولهم للحليب العادي. ويجب التأكيد على أن عدم تناول الحليب ومنتجاته يؤدي الى نقصان كمية الكالسيوم في الجسم، لذا فلابد من الحصول على الكالسيوم من مصادر غذائية أخرى وهذا ما سيتم توضيحه في فصل العناصر المعدنية.

الشكل رقم (60) يوضح عبوة تحوى إنزيم اللاكتيز يضاف كقطرات للحليب (يمين)، أحد منتجات الحليب الخالية من اللاكتوز (وسط)، عبوة أقراص تحوى إنزيم اللاكتيز يتم تناولها مع الحليب، عن (Boyle and Long, 2007).

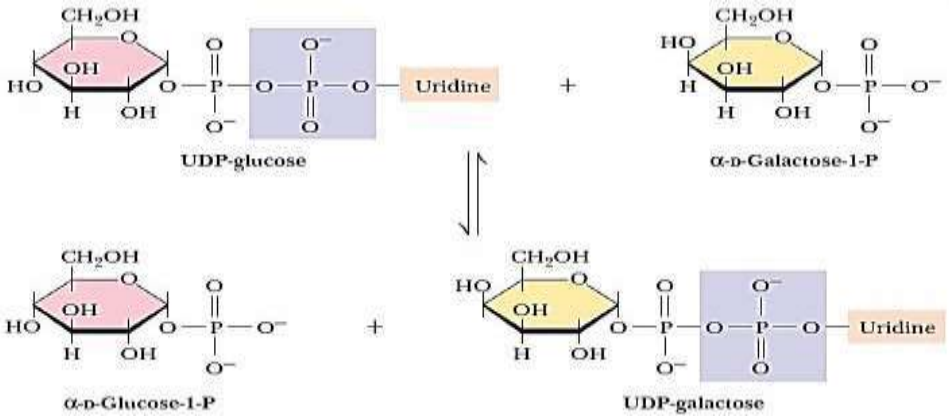
2- <u>الجلاكتوزمية (وُجودُ الجالاكتوز في الدَّم) Galactosemia</u>:-

هو مرض وراثي نادر يصيب الأطفال الرضع ناتج عن تراكم الجالاكتوز في الدَّم بسبب نقص إنزيم Galactose-1-phosphate Uridyltransferase المهم في مسار تحويل الجالاكتوز إلى جلوكوز مما يؤدي إلى تراكم سكر الجالاكتوز في الدم والكبد والكليتين والعيون وقشره المخ، وينتج الجالاكتوز من تحلل سكر اللاكتوز (إلى جالاكتوز وجلوكوز)، ويدخل في أيض الطاقة بتحوله إلى جلوكوز-6- فوسفات في ثلاث خطوات نوضحها بالشكل التالي:

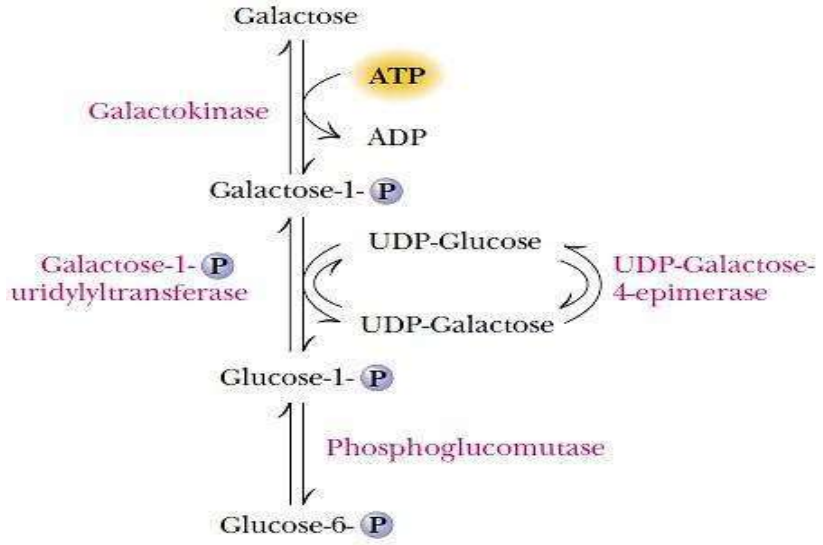
الخطوة الأولى تحول الجالاكتوز إلى جالاكتوز-1- فوسفات بوجود إنزيم Galactokinase:

$$\text{D-Galactose} + \text{ATP} \longrightarrow \text{D-Galactose-1-phosphate} + \text{ATP} + H^+$$

وفي وجود إنزيم Galactose-1-phosphate Uridyltransferase يتم تبادل شق الجالاكتوز فوسفات مع شق الجلوكوز المرتبط اليوريدين ثنائي الفوسفات UDP-Glucose وبذلك يتكون جلوكوز-1- فوسفات وجالاكتوز مرتبط بيوريدين ثنائي الفوسفات UDP-Galactose كالتالي:



وفي الخطوة الأخيرة يقوم إنزيم UDP-Galactose- 4-epimerase بتحويل الجالاكتوز وهو ما يزال مرتبط بيوريدين ثنائي الفوسفات UDP-Galactose إلى جلوكوز بقلب الوضع الفراغي لمجموعة الهيدروكسيل على ذرة الكربون الرابعة وبذلك يكون حاصل الخطوات الثلاث من التفاعلات السابقة تحول الجالاكتوز إلى جلوكوز-1- فوسفات. وهذا ما يوضحه المخطط التالي:



لكن في حالة الإصابة بالجلاكتوزمية فيغيب إنزيم Galactose-1-p Uridyltransferase مما يودي إلى تراكم الجالاكتوز في الدم، وتتمثل أعراض هذا المرض بالتخلف العقلي، تليف وتضخم الكبد والطحال، الفشل الكلوي، مرض المياه الزرقاء في العين، نوبات من الانقباضات اللاإرادية للعضلات، غثيان وقيء، ونقص في وزن الطفل. وتعالج هذه الحالة بإيقاف الرضاعة الطبيعية والاعتماد على خلطات الرضع الخالية من سكر اللاكتوز، والامتناع عن تناول مشتقات الحليب، وعندما يكبر الأطفال المصابين بهذا المرض فإن بإمكانهم تناول الحليب ومنتجاته نتيجة لوجود إنزيم أخر يدعى UDP-Galactose Pyrophorylase (حيث كان إفرازه منخفضاً في سنوات العمر الأولى) وهذا الإنزيم يشترك في مسار تحويل الجالاكتوز إلى جلوكوز وبذلك يمثل مسار بديل لأيض الجالاكتوز.

3- <u>اختلال تخزين الجلايكوجين Glycogen Storage Disease</u>:-

هي مجموعة من الأمراض الوراثية النادرة (تصيب طفل واحد من بين عشرين إلى أربعين ألف طفل) تنتمي إلي الأمراض الخِلْقِيّة لاختلالات الأيض Inborn Errors of Metabolism، ويختلف تأثير هذه المجموعة من الأمراض تبعا لنوع المرض (حيث يوجد حوالي أحدى عشر نوعاً معروفاً من أمراض تخزين الجلايكوجين Glycogen Storage Disease تقسم علي أساس نوع الأنزيم المسبب للخلل وعلي أساس العضو الذي يعاني من نقص الأنزيم أو غيابه هل هو في الكبد أو العضلات أو في الكبد والعضلات معا....الخ)، وهذه المجموعة من الأمراض إما أن تعيق قدرة المصاب علي بناء الجلايكوجين من خلال ظهور اختلال في تكوين وشكل الصورة البنائية للجلايكوجين، أو تؤثر على قدرة المريض على تخزين الجلايكوجين باختلال كمية الجلايكوجين المخزون في النسيج المستهدف زيادة أو نقصان، كما يؤثر على قدرة المريض على هدم واستخدام الجلايكوجين المخزون وتحويله إلي جلوكوز مرة أخرى لاستخدامه في الطاقة، وتحدث تلك المشاكل نتيجة لغياب أنزيم معين.

ومن أشهر أنواع أمراض اختلال تخزين الجلايكوجين مرض تخزين الجلايكوجين النوع الأول Glycogen storage disease type I حيث يمثل 90 % من الحالات المصابة، ويوجد ثلاثة أنواع لهذا المرض هما النوع الأول (أ) glycogen storage disease type Ia وهو ناتج عن غياب أنزيم glucose-6-phosphatase، كذلك النوع الأول (ب) type Ib وهو ناتج عن غياب أنزيم glucose-6-phosphate transporter (T1)، كذلك النوع الأول (ج) type Ic وهو ناتج عن غياب أنزيم Phosphate transporter، ويتميز المصابون بهذا المرض بتخزين كميات كبيره من الجلايكوجين في الكبد في النوعين الأول (ب) و (ج)، وفي الكبد والكلى والأمعاء معاً في النوع الأول (أ) مما يؤدي إلي تضخم هذه الأعضاء بسبب عدم قدرة المرضى علي إعادة

تحويل الجلايكوجين إلي جلوكوز مرة أخري من أماكن تخزينه مما يعرضهم إلي انخفاض شديد في معدل سكر الدم hypoglycemia يصل إلي ما دون 60 ملجم/ديسيلتر بعد 4 - 6 ساعات من التوقف عن الأكل أو الصوم ويشعرون بالجوع الشديد المزمن وعدم القدرة علي النمو الطبيعي نتيجة لهذا الخلل إضافة إلي التهديد المحدق بهم من مضاعفات انخفاض سكر الدم.

وهناك أيضاً من أمراض تخزين الجلايكوجين ما يلي:

1- مرض تخزين الجلايكوجين النوع الثاني type II وهو ناتج عن نقص أنزيم Lysosomal α-1→4- and 1→6-glucosidase مما يؤدي إلى تراكم كميات كبيره من الجلايكوجين في الأجسام الحالة lysosome للخلايا ويؤدي في النهاية إلى السكتة القلبية.

2- مرض تخزين الجلايكوجين النوع الثالث type III فهو ناتج عن غياب أنزيم إزالة التشعب (تفرع) الجلايكوجين Glycogen debranching enzyme مما يؤدي إلى تراكم سكريات متعددة متشعبة Branched polysaccharide، ويوجد من هذا النوع الثالث من المرض نوعين أحدهما (type III a) يوثر على الكبد والعضلات والقلب معاً أما الأخر (type III b) فيوثر على الكبد فقط.

3- مرض تخزين الجلايكوجين النوع الرابع type IV فهو ناتج عن غياب أنزيم تشعب الجلايكوجين Glycogen branching enzyme مما يؤدي إلى تراكم سكريات متعددة لها نقاط تشعب قليلة Polysaccharide having few branch points، يؤدي هذا المرض إلى الوفاة في السنة الأولى من العمر نتيجة السكتة (النوبة) القلبية أو الفشل الكبدي.

4- مرض تخزين الجلايكوجين النوع الخامس type V فهو ناتج عن غياب أنزيم Muscle phosphorylase مما يؤدي إلى عدم تحمل التمارين الرياضية.

5- مرض تخزين الجلايكوجين النوع السادس type VI فهو ناتج عن غياب أنزيم liver phosphorylase مما يؤدي إلى تراكم الجلايكوجين في الكبد وميل نحو الانخفاض في معدل سكر الدم hypoglycemia.

6- مرض تخزين الجلايكوجين النوع السابع type VII فهو ناتج عن غياب أنزيم phosphofructokinase في العضلات وكرات الدم الحمراء erythrocytes مما يؤدي إلى نفس أعراض مرض تخزين الجلايكوجين النوع الخامس type V إضافة إلى إمكانية حدوث فقر الدم الانحلالي hemolytic anemia.

7- مرض تخزين الجلايكوجين النوع الثامن type VIII فهو ناتج عن غياب أنزيم liver phosphorylase kinase ويتشابه هذا المرض مع مرض تخزين الجلايكوجين النوع السادس Glycogen storage disease type VI.

وتعالج هذه الحالات من خلال التغذية العلاجية Nutrition Therapy والتي تهدف إلى المحافظة علي معدل سكر الدم في المستوي الطبيعي وتلافي انخفاض سكر الدم hypoglycemia ومنع المضاعفات الناتجة عن المرض إضافة إلى إمداد الجسم بالعناصر الغذائية المتوازنة لدعم النمو والتطور، وكما سبقت الإشارة أن الدخول في تفاصيل تخصص التغذية العلاجية هو خارج أهداف ومحاور هذا الكتاب، ويمكن للطالب العودة إلى الكتب المتخصصة بهذا الشأن، وكذلك إلى العديد من المقالات والكتابات العلمية الجادة المنشورة على صفحات الشبكة العنكبوتية في عدد من المواقع الموثوق بها، لكن وبشكل عام يتم تغيير كمية الوجبات وأعدادها بحيث يعطي المريض وجبات صغيرة ومتعددة خلال اليوم مع وجبة إضافية قبل النوم لتجنب الصوم لفترات طويلة للمساعدة في ضبط سكر الدم، كما يجب الحرص على تناول الكربوهيدرات المعقدة بواقع 60 – 70 % من مجموع السُعرات الحرارية الكلية، كما يستخدم البروتين عالي الجودة بواقع 10 – 15 % من مجموع السُعرات الحرارية الكلية، كما تستخدم الزيوت النباتية بواقع 20 – 30 % من مجموع السُعرات الحرارية الكلية.

4- الداء السكري Diabetes Mellitus:-

مرض أيضي مزمن يتميز بزيادة مستوى السكر في الدم Hyperglycemia نتيجة لنقص نسبي أو كامل في الإنسولين Insulin في الدم أو لخلل في تأثير الإنسولين على الأنسجة، مما ينتج عنه مضاعفات مزمنة في أعضاء مختلفة من الجسم. وهو على نوعين:

النوع الأول: Type 1 Insulin-dependent diabetes mellitus، (سكري الأطفال) ويتميز بوجود تحطيم لخلايا بيتا في البنكرياس التي تفرز الإنسولين (فقدان الإنسولين تماماً في الدم) بواسطة أضداد ذاتية في دم المصاب، ويحتاج الشخص منذ البداية لحقن الإنسولين.

النوع الثاني: Type 2 diabetes mellitus Noninsulin-dependent، (سكري البالغين) وعلى عكس النوع الأول فهناك ضعف في إفراز الإنسولين أو قد يتميز بوجود مقاومة للأنسولين من قبل الأنسجة حيث لا تستجيب له، وقد يحدث لوجود مشاكل وراثية نتيجة خلل يؤدي إلى نقص في تكوين و إفراز الإنسولين، أو أي أمرض تؤثر على البنكرياس أو بعض أمراض الغدد الصماء، ومن العوامل المساعدة على ظهور هذا النوع السمنة Obesity، ووجود تاريخ عائلي للإصابة بمرض السكري في أقارب من الدرجة الأولى، وقد يظهر الداء السكري عند النساء أثناء الحمل Gestational Diabetes Mellitus.

وهناك حالة الداء السكري الكلوي Renal Diabetes الذي يعتبر مرض خلقي يتصف بانخفاض العتبة الكُلوية إلى 140 ملجم/ديسيليتر، فالحدود الكُلوية أو العتبة الكُلوية الطبيعية للجلوكوز حوالى 180 ملجم/ديسيليتر وأي زيادة في مستوى السكر في الدم عن هذه الحدود يصاحبها ظهور السكر في البول فالكُلية تعمل كعضو حامِ ضد ارتفاع مستوى السكر في الدم.

أعراض الداء السكري: تتمثل أعراض الداء السكري بما يلي:

1 - نقص ملحوظ في الوزن Weight Loss رغم ازدياد الشهية لتناول الطعام دون مبرر.

2 - عطش شديد وكثرة شرب الماء Polydypsia.

3 - زيادة كمية البول عن المعتاد Polyuria والاستيقاظ أثناء النوم للتبول.

4 - تشويش الرؤية (النظر) Blurred Vision.

5 - الشعور بالضعف العام والإجهاد والارهاق والوهن وعدم الحيوية والضعف الجنسي.

6 - نقص و تخلف النمو عند الأطفال Stunted Growth.

تشخيص الداء السكري:

لا يكفي وجود الأعراض السابقة فقط لتأكيد الإصابة بالداء السكري، لكن يمكن تشخيص الداء السكري (عموماً) بوجود أحدى المؤشرات التالية في يومين مختلفين:

1 - وجود الأعراض السابقة مثل كثرة شرب الماء وكثرة التبول مع وصول نتيجة تحليل السكر العشوائي Random Blood Sugar إلى 200 ملجم/ديسيليتر أو أكثر.

2 - وصول مستوى السكر في الدم صائماً Fasting Blood Sugar (8 ساعات على الأقل بدون طعام) إلى 126 ملجم/ديسيليتر أو أكثر.

3 - مستوى السكر بعد ساعتين من فحص تحمل الجلوكوز Glucose Tolerance Test إلى 200 ملجم/ديسيليتر أو أكثر.

4 - إذا كانت نتيجة فحص HbA1c (الهيموجلوبين السكري Glycosylated hemoglobin) تفوق معدله الطبيعي الذي يتراوح بين 6,4% - 6,5%. والهيموجلوبين السكري (هيموجلوبين مرتبط بسكر الجلوكوز)، وهناك أنواع عديدة من الهيموجلوبين ولكن المهم هنا هو A1c لأنه يتميز بارتباطه مع الجلوكوز، حيث ترتبط نسبة قليلة من الهيموجلوبين لا تتعدى 5 - 10% من الهيموجلوبين بجلوكوز الدم ويطلق على هذ الجزء المرتبط HbA1c. وتعتمد نسبة ارتباط الجلوكوز بالهيموجلوبين على مستواه في الدم فكلما زادت نسبة الجلوكوز ازدادت نسبة HbA1c. وهذا الفحص يعطينا مؤشر عن نسبة السكر في الدم في خلال فترة حياة كريات الدم الحمراء (120 يوم).

ومن الفحوصات الأخرى التي ينبغي ذكرها هنا فحص الفركتوزامين Fructosamine الذي يعتبر من أحدث وأدق الطرق للكشف عن مستوى السكر بالدم في فترة تتراوح بين 15 - 20 يوم قُبيل التحليل للمريض بالسكر. وتستخدم هذه الطريقة في قياس نسبة البروتينات السكرية Glycosylated Proteins وذلك عن طريق قياس نسبة الفركتوزامين المرتبط بالبروتين، ولا يتأثر هذا التحليل بالوجبات الغذائية.

أن نقص إفراز الإنسولين يؤدي إلى قلة تكون الجلايكوجين في الكبد ونقص كمية الجلوكوز التي تدخل إلى خلايا العضلات والخلايا الدهنية. ونتيجة لاستهلاك جلايكوجين العضلات (في غياب الإنسولين)، فإن الأحماض الدهنية تُصبح مصدر رئيس للطاقة، وعند ذلك (وكما سيرد في الفصل التالي) ترتفع نسبة الأجسام الكيتونية بالدَّم وتحدث حالة تُعرف بالكيتوزية Ketosis، كما ترتفع نسبة الجلوكوز بالدم فتقوم الكُلى بإفرازه في البول، فيزداد حجم البول (لإذابة الجلوكوز فيه) وبالتالي يفقد الجسم كمية كبيرة من سوائل الجسم ومعها كمية من العناصر المعدنية (كالصوديوم) كما تزداد نسبة النيتروجين في البول نتيجة لهدم بروتينات الجسم لإنتاج أحماض أمينية تستخدم كمصدر للطاقة، وهنا ترتفع نسبة البوتاسيوم في الدم مما يتطلب كميات أكبر من ماء الجسم لتتمكن الكُلى من إفرازه عن طريق البول. ونتيجة لمحاولات الكُلى المستمرة لإفراز تلك الكميات الزائدة من نواتج عمليات الأيض غير الطبيعية تحدث حالة جفاف الخلايا وفقدان كميات كبيرة من سوائل الجسم وأملاحه. كما يرتفع تركيز أيون الهيدروجين (الأس الهيدروجيني pH) في الدم مما يؤدي إلى عدد من المضاعفات الناجمة عنه تتمثل في اعتلال الدورة الدموية الدماغية والطرفية، اعتلال الكُلى السكري، اعتلال شبكية العين السكري، ارتفاع ضغط الدم، اعتلال الجهاز العصبي المُستقل واعتلال الأعصاب الطرفية، ارتفاع نسب الدهون والكولسترول في الدم والإصابة بأمراض القلب وتصلب الشرايين، الضعف الجنسي لدى الذكور، وكذلك التأثيرات النفسية والاجتماعية السلبية للداء السكري على الشخص المُصاب به.

ويهدف علاج الداء السكري في الأساس إلى تحسين الخلل الموجود ألا وهو عدم القدرة على استغلال الكربوهيدرات استغلالاً طبيعياً، وإلى منع تراكم الجلوكوز وارتفاع مستواه في الدم Hyperglycemia أو ظهوره في البول Glucosuria وإلى منع تراكم المواد الكيتونية، وذلك من خلال تنظيم غذاء المريض وتناول بعض الأدوية حسب نوع الداء السكري ففي حالة النوع الأول المعتمد على الإنسولين فمن الضروري إعطاء المريض جرعات محددة بدقة من الإنسولين، أما في النوع الثاني غير المعتمد على الإنسولين فمن الممكن إعطاء الأدوية الخافضة للسكر المسماة خافضات السكر الفموية Oral Hypoglycemics (والتي أما أن تقلل من تصنيع الكبد للجلوكوز أو تزيد من إفراز البنكرياس للأنسولين، أو تقلل من امتصاص الجلوكوز في الأمعاء، أو تزيد من استعمال الأنسجة للجلوكوز) أو إعطائهم جرعات من الإنسولين حسب حالة المريض.

التغذية في حالة الداء السكري:

إن تنظيم الغذاء ضروري لجميع مرضى الداء السكري حيث أن المعالجة الدوائية أو الحقن بالإنسولين لوحدها دون تنظيم الغذاء أمر غير مرغوب فيه بسبب احتمال حصول صدمة نتيجة للهبوط المفاجئ في مستوى الجلوكوز في الدم Hypoglycemic Shock بعد حقن الإنسولين أو تناول جرعة غير مضبوطة من خافضات السكر الفموية Oral Hypoglycemics.

ولابد من الإشارة إلى إن تخطيط وجبات مرضى الداء السكري يكون من خلال تخصص يعرف بالتغذية العلاجية Nutrition therapy، وهو فرع من فروع علم التغذية يهدف إلى تطبيق القواعد الأساسية والنظريات العلمية المكتشفة في علم التغذية والتي تفيد الإنسان في حالتي الصحة والمرض من خلال تنظيم، وتخطيط، وتحضير الحميات التغذوية المتوازنة Adequate Dietetics عن طريق تحوير الغذاء كماً ونوعاً وكذلك تغيير محتوى الطاقة أو واحد أو أكثر من العناصر الغذائية بما يتلاءم مع حالة المريض ويساعده على الشفاء ويحول دون تردى وضعه التغذوي نتيجة للمرض. والدخول في تفاصيل هذا التخصص هو خارج أهداف ومحاور هذا الكتاب، ويمكن للطالب العودة إلى الكتب المتخصصة بهذا الشأن، وكذلك إلى العديد من المقالات والكتابات العلمية الجادة المنشورة على الإنترنت في عدد من المواقع الموثوق بها.

وبشكل عام لعمل حمية غذائية مناسبة لمريض الداء السكري ينبغي أولاً تحديد كمية الاحتياجات الاساسية من السعرات الحرارية وكذلك تحديد كمية الاحتياجات الاضافية من السعرات الحرارية حسب النشاط البدني اليومي للشخص المريض (وهذا ما سيتم توضيحه مستقبلاً في الفصل التاسع) حيث أن المتطلبات الغذائية لمرضى الداء السكري تتباين وتختلف باختلاف الأفراد، وبتباين حدة المرض ونوع ومدى العلاج بالإنسولين والأنشطة التي يمارسها المريض، لذلك لا توجد وصفة واحدة مناسبة يمكن استعمالها في تغذية مرضى السكر، ثم أن القيمة السُعرية لغذاء المريض تعتمد على وزن جسمه ونسبة هذا الوزن إلى الوزن المفضل، فالمريض البدين يتطلب أن يؤدي غذاءهُ إلى خفض الوزن إلى أن يصل إلى حد الوزن الأمثل وهذا يقل بنسبة 15 % عن الوزن الاعتيادي المفضل، حيث أن الاستجابة للإنسولين تقل كلما كبر حجم الخلية الدهنية.

بعد أن يتم تحديد كمية الاحتياجات الاساسية والاحتياجات الاضافية من السعرات الحرارية للشخص المريض يتم توزيع كميات السعرات الحرارية المطلوبة على المكونات الغذائية والتي يجب أن تتكيف مع الظروف الصحية والمعيشة للشخص المريض وفقاً لما يلي:

أولاً - الأغذية التي ينُصح بتناولها وهنا يجب زيادة نسبة الأغذية الغنية بالألياف كالدقيق الكامل والخبز المصنوع من الدقيق الكامل (الأسمر) والحبوب الكاملة (وهذا ما سبق الإشارة إليه في هذا الفصل). كذلك التنوع في تناول البروتينات النباتية المؤلفة من خليط من الحبوب والبقوليات وإدخال البذور (كالسمسم وبذور الكتان...الخ) والمكسرات كجزء من النظام الغذائي (الفصل الخامس). كما ينبغي أن تتم زيادة كميات الأغذية الطبيعية الطازجة الغنية مضادات الاكسدة الطبيعية فيجب الاكثار والتنوع في تناول الخضار سواء الطازجة أو المطهية، وتناول كميات محسوبة من أنواع معينة من الفاكهة كالتفاح والبرتقال والكيوي (لكن ليس عصيرها) في غذائهم. واختيار منتجات الألبان والأجبان قليلة أو خالية الدسم وخصوصاً المنتجات المتخمرة كالحقين والزبادي، والحرص على تناول الأغذية الغنية بالعناصر المعدنية كالبوتاسيوم، المغنسيوم، الزنك، المنجنيز، الكروم، السلينيوم...الخ (الفصل السابع).

ثانياً - الأغذية التي ينبغي تجنبها والمتمثلة في جميع الأغذية التي تحتوي على نسبة عالية من السكر والمشروبات المحلاة بالسكر كالمشروبات الغازية ومرطبات الفاكهة وغيرها، والأغذية التي تحتوي على نسبة عالية من السكر والدهن معا كالحلويات، وتجنب الأغذية الدهنية والدهون الصلبة والمشبعة واستبدالها بالزيوت النباتية كزيت الزيتون أو الذرة أو السمسم أو دوار الشمس...الخ (الفصل الرابع). كما يجب الإقلال من اكل اللحوم الحمراء (ونزع الشحوم منها قبل أكلها) واستبدالها باللحوم البيضاء والأسماك والبروتينات النباتية. ويجب تجنب القلي لطهي الطعام واستخدام طريقة السلق بالبخار أو الماء فالأكل المسلوق هو الأكثر صحية.

كما يجب على مرضى الداء السكري توزيع الوجبات الغذائية على مدار اليوم (فبدلاً من تناول 3 وجبات من الممكن أن تصبح 5 وجبات لنفس المقدار اليومي من الطعام) اذ أن نتناول كمية كبيرة من الطعام في وقت واحد يرفع مقدار السكر في الدم. كما يجب عليه شرب الكميات المناسبة من الماء (الفصل الثامن) مع زيادة النشاط البدني اليومي وممارسة الرياضة كجزء مكمل للدواء والحمية الغذائية.

اما الأغذية الخاصة بمرض السكري فلا يُنصح بها لأنها غالية الثمن ولأنها ترسخ قناعات ليست دقيقة وذلك كون تلك الأغذية تكون غنية بالمحليات الصناعية Artificial Sweeteners وفي نفس الوقت غنية بالدهون وبالتالي فهي تتسبب في بعض المشاكل الصحية إن تم تناولها بكميات كبيرة (وهذا ما يحصل مع غالبية الأشخاص الذين يتناولون تلك المنتجات).

كما يجب على مرضى الداء السكري أن يحرصوا على المحافظة على نسبة الجلوكوز في الدم في حدودها الطبيعية (70 - 120 ملجم/ديسيليتر) أو أقرب ما يمكن إلى هذا المعدل، وبإجراء فحص الجلوكوز بصورة دورية لمراقبة نجاح النظام الغذائي المتبع ولضبط جرعة خافضات السكر الفموية أو جرعة الإنسولين لأنه عند تناول جرعة أقل من اللازم فإنها تكون غير فعالة بالقدر الكافي، أما عند تناول جرعة أعلى من اللازم فسوف تتدنى نسبة جلوكوز الدم إلى أقل من المعدل الطبيعية (أقل من 60 ملجم/ديسيليتر) وينتج عن ذلك حالة مرضية تعرف بنقص سكر الدم Hypoglycemia، من أعراضها تعرق وارتعاش تسارع نبض القلب وشحوب اللون، وعندها يجب تناول بعض السكر لرفع نسبة جلوكوز الدم حيث يجب معالجة نقص السكر بسرعة وإلا قد يؤدي ذلك إلى الإصابة بغيبوبة تسبقها أعراض مثل الفتور، التشوش الذهني والكلام بطريقة غير مفهومة، تصحبها تغيرات بالتصرف، كالعدوانية وحدة الطبع والبكاء والترنح كالمخمور.

وفي حالة الغالبية العظمى من مرضى الداء السكري (حيث أن أكثر من المصابين بالمرض بعد البلوغ أي من النوع الثاني) يمكن تجنب وتحاشي استعمال وتناول الإنسولين أو الأدوية الأخرى أو على الأقل التقليل من كمية الجرعة المُتناولة إذا تم الالتزام بنظام غذائي مدروس، فضلاً عن أن عدداً كبيراً من الناس الذين لديهم الاستعداد الوراثي لهذا المرض يستطيعون المحافظة على حالتهم الصحية دون أن تظهر عليهم أعراض المرض في حياتهم المتقدمة من خلال الالتزام بنظام غذائي خاص والمحافظة على أوزنهم دون الوزن الطبيعي المفضل، حيث أن مثل هؤلاء (ذوي الاستعداد الكامن للداء السكري) إذا ما سمحوا لأوزانهم بالزيادة مع تقدم العمر، فإن أعراض المرض سوف تظهر عليهم بالتأكيد في المراحل المتقدمة من العمر، ومع ذلك فان هؤلاء الأشخاص يستجيبون للعلاج عن طريق تنظيم الغذاء ويستمرون لسنوات عديدة دون الحاجة إلى الإنسولين أو أي دواء أخر.

الفصل الرابع

الدهون: مشكلة صحية أم غذاء متعدد الوظائف

Fats: Health Problem or multifunction Food

هناك قناعة عند كثير من الناس بأن الدهون تشكل مشكلة صحية وينبغي تجنب الزيوت والدهون والأغذية الحاوية عليهما. لكن هل هذه القناعة صحيحة من وجهة النظر العلمية، وهل تشكل كل الزيوت والدهون مشكلة صحية كونها في مجملها أغذية غير صحية Junk Food، أم أن لها دور مهم في تغذية الإنسان والحفاظ على حالته الصحية، وإذا ما كان لها هذا الدور فكيف نستفيد من كل فوائدها ونتجنب أضرارها بقدر المستطاع؟

وللإجابة على هذه التساؤلات أقتبس ما قاله باتريك هولفورد Patrick Holford في كتابه The Optimum Nutrition Bible والمترجم إلى العربية باسم التغذية (الدليل الكامل) حيث قال: "الدهون ضرورية للإنسان، وتناول الدهون الصحيحة أمر حيوي للصحة، فالدهون الأساسية Essential تقلل من احتمالات الإصابة بالسرطان، أمراض القلب، الحساسية، التهاب المفاصل، الإكزيما Eczema، الاكتئاب، الوهن، والالتهابات. إن قائمة الأعراض المرضية المتصلة بفقد أو فقر الدهون تتنامى سنوياً، فإن كنت ممن يخافون الدهون فإنك تفوّت على نفسك فرص اكتساب الصحة وتزيد عليك فرص الإصابة بالأمراض. وتحصل على تلك النتيجة السلبية إن كنت تتناول دهون صلبة (مُشبعة) كتلك الموجودة في منتجات الألبان واللّحوم والزبد النباتي (المارجرين margarine). وفي الحقيقة إن لم تغير عادتك الغذائية وترجع إلى الأنواع الصحيحة من الأغذية الغنية بالدهون كالحبوب والمكسرات والأسماك فإنك ستفتقر إلى الدهون المفيدة. هذا ويأكل معظم الناس في العالم الغربي كثير من الدهون المُشبعة (القاتلة) وقليل من الدهون الأساسية المفيدة".

ومن المعروف أن الدهون قد تكون صلبة (كما هو الحال في الشحوم الحيوانية)، أو شبه صلبة (كما هو الحال في الزبد والمارجرين)، أو سائلة (كما هو الحال في الزيوت النباتية)، وقد تكون مرئية (كما هو الحال في كل ما سبق) أو غير مرئية (كما في حالة الأغذية الغنية بالدهون مثل البذور الزيتية والمكسرات والأسماك وفاكهه الأفوكادو). أن ما يجعل قوام هذه الدهون صلبة أو شبه صلبة أو سائلة هو محتواها من الأحماض الدهنية المُشبعة وغير المُشبعة الأحادية (أحادية عدم التشبع) وغير المُشبعة المتعددة (عديدة عدم التشبع)، وهنا يبرز سؤال حول ما هي الأحماض الدهنية المُشبعة وغير المُشبعة سواء كانت أحادية عدم التشبع أم عديدة عدم التشبع؟ وقبل الإجابة على هذا السؤال لابد من معرفة طبيعة وأنواع وتركيب الدهون وخواصها التغذوية وظائف هذه الدهون في جسم الإنسان، وهذا ما ستحمله السطور القادمة.

فالدهون (في التحليل التقريبي للأغذية) هي عبارة عن المواد الغذائية الذائبة في الأثير (مستخلص الأثير)، وغالباً ما يكون مستخلص الأثير في الأغذية النباتية والحيوانية عبارة عن دهون متعادلة Natural ذائبة في الإثير وفي المذيبات العضوية الأخرى، وقد يفضل البعض إطلاق مصطلح الليبيدات Lipids (وهي كلمة مشتقة من اللفظ Lipos ومعناها الدهن) على المواد الموجودة في مستخلص الإثير، والليبيدات تشمل الليبيدات البسيطة Simple lipids والليبيدات المركبة Compound Lipids والليبيدات المشتقة Derived Lipids. والدهون في الغذاء تستخدم لإنتاج الطاقة وبعض المركبات الوسطية الأخرى الضرورية لبناء الجسم ولأنشطه الحيوية. وسوف نهتم هنا بدراسة دور الدهون المتعادلة التي لها دور كبير في تغذية الإنسان وتسمى الدهون الغذائية Dietary Fats، بالإضافة إلى بعض المواد الدهنية الأخرى مثل الدهون الفوسفورية Phospholipids والبروتينات الدهنية Lipoproteins والستيرولات مثل الكولسترول.

وظائف الدهون:- تتلخص وظائف الدهون في جسم الإنسان بما يلي:

1 - تعطى الغذاء طعماً مستساغاً، كما أن لها قيمة إشباعية عالية، حيث تعوق تصريف الغذاء من المعدة مما يعطي شعوراً بالشبع لفترة أطول.

2 - مصدر مركز للطاقة: حيث أن الطاقة الناتجة من 1 جرام من الدهون تكافئ 2¼ مرة من الطاقة الناتجة من البروتينات والكربوهيدرات، وذلك لأنها أكثر اختزالاً من البروتينات والكربوهيدرات، كما أنها مواد غير قطبية لا تحمل أي شحنات كهربية ولذلك تخزن في صورة لا مائية وتشغل أقل مساحة ممكنة، في حين أن البروتينات والكربوهيدرات ذات خواص قطبية عالية ولذلك توجد في صورة مائية مما يقلل من طاقتها.

3 - مواد حاملة للفيتامينات الذائبة في الدهون وضرورية لامتصاصها ونقلها في الجسم.

4 - مصدر للأحماض الدهنية الأساسية Essential Fatty Acids.

5 - ترتبط مع البروتينات لتعطي البروتينات الدهنية Lipoproteins التي تعد مكون مهم من المكونات الخلوية، كما أنها (أي البروتينات الدهنية) وسيلة لنقل الدهون في الدم.

6 - تلحق بالدهون مواد مهمة كالكاروتينات المولدة لفيتامين A والستيرولات المولدة لفيتامين D والهرمونات، كما أنها تعتبر مواد بنائية تدخل في تركيب أغشية الخلايا وبعض الأعضاء المهمة في الجسم كالنخاع الشوكي والمخ.

7 - للدهون خاصية العزل والحماية، حيث أن الدهون تحت الجلد تمنع فقدان حرارة الجسم، كما تحمي الدهون بعض أعضاء الجسم مثل الكُلى وتعمل على امتصاص الصدمات.

تقسيم الدهون (الليبيدات):-

هناك أكثر من طريقة لتقسيم الدهون نذكر منها:

أولاً: تقسيم الدهون تبعاً لمصدرها الغذائي وهي كالتالي:

- **الدهون النباتية (الزيوت النباتية Vegetable Oils): مثل الزيوت المستخرجة من البذور الزيتية مثل زيت السمسم وزيت دوار الشمس وزيت الفول السوداني وغيرها، أو المستخرجة من الثمار الزيتية مثل زيت الزيتون وزيت النخيل.**
- **الدهون الحيوانية Animal Fats: مثل دهن الحليب والمنتجات المصنعة منه مثل الزبد والسمن، والدهن المرافق للّحوم، وكذلك زيوت الأسماك وغيرها.**

ويختلف محتوى الأغذية النباتية والحيوانية من الدهن، وتُقسم حسب نسبة الدهون فيها إلى:

1- أغذية منخفضة المحتوى من الدهون: وهي الأغذية التي لا تزيد نسبة الدهون فيها عن 2 % مثل الفواكه والخضروات والحبوب.

2- أغذية متوسطة المحتوى من الدهون: وهي الأغذية التي تحتوي نسبة من الدهون تتراوح بين 2 – 10 %، مثل الحليب وبعض اللّحوم البيضاء والحمراء.

3- أغذية عالية المحتوى من الدهون: وهي الأغذية التي تزيد نسبة الدهون فيها عن 10 %، مثل الزيوت السمن والزبد والجبن وصفار البيض وبعض اللّحوم البيضاء والحمراء والأسماك.

جدول رقم (8): يوضح محتوى بعض الأغذية من الدهون*

الغذاء	الدهون %	الغذاء	الدهون %	الغذاء	الدهون %
الأرز	1.4	الزبد	80	جوز الهند	34
البرجر	30	الشعير	1.9	دَوَّار الشمس	28
الحليب	3.5	الشَّوفان	4.4	فول الصويا	17
الدجاج	7	اللحوم الحمراء	30-10	فول سوداني	49

* **المصدر (deMan, 1999).**

ثانياً: تقسيم الدهون تبعاً لوظيفتها التي تقوم بها في الجسم وهي كالتالي:

- **دهن خَزني Stored Fats: وهو الدهن المخزن في الأنسجة الدهنية في الجسم، وهو خزين احتياطي للاستعمال.**
- **دهن بنائي Structural Fats: وهي الدهون التي تدخل في بناء الخلايا والأنسجة والأعضاء.**
- **دهن هرموني Hormonal Fats: وهي الدهون التي تدخل في تركيب وإنتاج الهرمونات مثل الهرمونات الستيرويدية.**

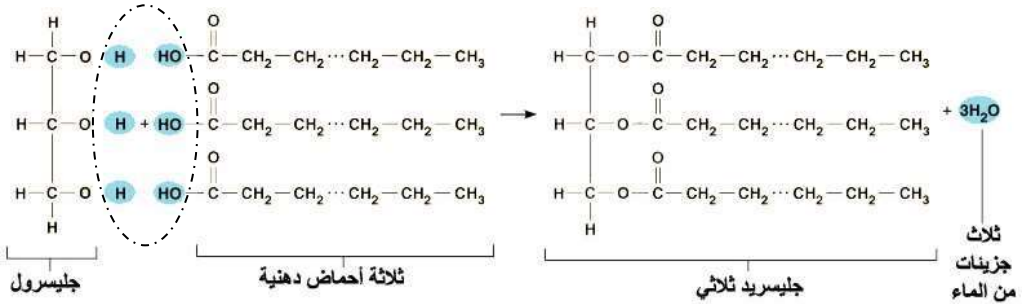
ثالثاً: تقسيم الدهون (الليبيدات) تبعاً لصفاتها الفيزيائية والكيميائية وهي كالتالي:

1 - الليبيدات البسيطة Simple lipids: وتسمى في بعض المراجع العلمية Natural lipids أي الدهنيات التي لا تحتوي على شحنات، وتتكون من اتحاد الأحماض الدهنية مع الكحولات ومن أمثلتها:

أ- إسترات الجليسريدات Glycerides: وهي إسترات تتكون من اتحاد الأحماض الدهنية مع الجليسيرول، وهي تكون أما أحادية أو ثنائية أو ثلاثية (وهو ما سيوضح لاحقاً).

والرابطة الإسترية تتكون بين كحول وحامض (حامض دهني) وفقاً للمعادلة التالية:

$$R'OH + HO\text{-}\overset{\overset{O}{\|}}{C}\text{-}R'' \longrightarrow R'\text{-}O\text{-}\overset{\overset{O}{\|}}{C}\text{-}R'' + H_2O$$



ب- إسترات الأحماض الدهنية مع كحولات ذات وزن جزيئي عالي (الشموع Waxes): وهي عبارة عن إسترات الأحماض الدهنية مع كحولات أحادية الهيدروكسيل ذات وزن جزيئي عالي مثل Myricin alcohol ($C_{30}H_{61}OH$) الذي يتحد مع الحامض الدهني بالميتك Palmitic $CH_3\text{-}(CH_2)_{14}\text{-}COOH$، ليُكوّن شمع عسل النحل ومن أمثلة الشموع الأخرى شموع زيت الذرة وزيت دوار الشمس وإسترات الكولسترول التي لها أهمية فسيولوجية كبيرة، إذا أن هذه الإسترات في مصاحبة الكولسترول الحر توجد بكميات ملحوظة أساساً في الدم والغدد.

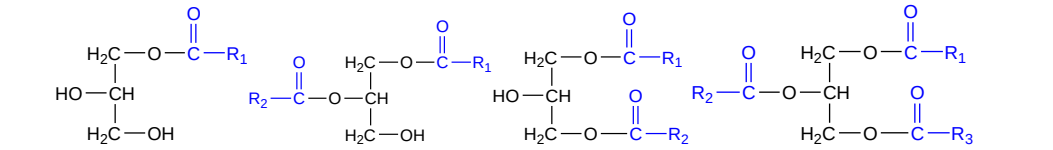
شمع عسل النحل (ميريسين بالميتات)	$C_{30}H_{61}\text{-}O\text{-}\overset{\overset{O}{\|}}{C}\text{-}C_{15}H_{31}$

2 - الليبيدات المركبة Compound Lipids: وهي عبارة عن ليبيدات بسيطة مرتبطة بمواد أخرى غير دهنية، وتشمل الدهون الفوسفورية Phospholipids والدهون السكرية Glycolipids والدهون الأمينية Aminolipids والدهون الكبريتية Sulfolipids.

3 - الليبيدات المشتقة Derived Lipids: وتضم الليبيدات المشتقة كل من الأحماض الدهنية والستيرولات والمواد الملونة والهيدروكربونات.

الليبيدات البسيطة Simple lipids:

هي الدهون المستخدمة في غذاء الإنسان وتشمل مجموعة من المركبات الكيميائية المختلفة السائدة منها إسترات الجليسريدات Glycerides التي تتكون من اتحاد الأحماض الدهنية مع الجليسيرول، وهي أما أحادية أو ثنائية أو ثلاثية، والجلسريدات الثنائية والثلاثية تحتوي على نفس الأحماض الدهنية تسمى بالجليسريدات البسيطة Simple glycerides، أما التي تحتوي على أحماض مختلفة تسمي بالجليسريدات المختلفة Mixed glycerides، وتعتبر المكون الرئيس للدهون الغذائية، وتتحلل هذه الجليسريدات بالإنزيمات لتعطي الجليسيرول الأحماض الدهنية الحرة Free Fatty Acids.



جليسريد أحادي (استر للحامض الدهني R_1 مع الجليسرول) | جليسريد ثنائي (من نوع α و β) | جليسريد ثنائي (من نوع α و ά) | جليسريد ثلاثي (R_1 و R_2 و R_3 أحماض دهنية مختلفة أو متشابهة)

الأحماض الدهنية Fatty Acids:

هي عبارة عن مركبات عضوية تحتوي على مجموعة كربوكسيلية، يبلغ طول السلسلة الكربونية فيها ما بين (4 - 30) ذرة كربون، إلا أن الأحماض الدهنية التي تحتوي على أكثر من 20 ذرة كربون تكون نادرة نسبياً. وللأحماض الدهنية صفات مشتركة منها:

1- تحتوي على مجموعة كربوكسيل واحد ولها سلسلة كربونية مستقيمة Straight أو حلقية Cyclic (لبعض الأحماض الدهنية).

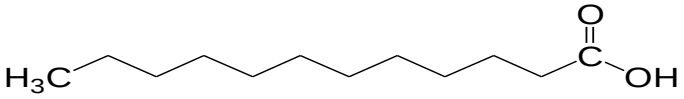
مثال للأحماض الدهنية مستقيمة السلسلة: حامض اللوريك Laurie ($C_{12:0}$)

$$CH_3\text{-}CH_2\text{-}CH_2\text{-}CH_2\text{-}CH_2\text{-}CH_2\text{-}CH_2\text{-}CH_2\text{-}CH_2\text{-}CH_2\text{-}COOH$$

سلسلة كربونية مستقيمة — مجموعة كربوكسيل

ويمكن أن تُكتب صيغته التركيبية بالشكل التالي: $CH_3 - (CH_2)_{10} - COOH$.

أو ترسم بالشكل التالي:



مثال للأحماض الدهنية حلقية السلسلة: حامض لاكتوباسيليك Lactobacillic ($C_{19:0}$)

$$CH_3 - (CH_2)_5 - \underset{\diagdown\ \diagup}{\overset{CH_2}{CH}} - CH - (CH_2)_7 - COOH$$

2- تحتوي في معظم الأحيان على عدد زوجي من ذرات الكربون Even number.

3- قد تكون الأحماض الدهنية مشبعة Saturated أو غير مشبعة Unsaturated، وغير المشبعة قد تكون أحادية عدم التشبع أو عديدة عدم التشبع.

مثال: حامض دهني مشبع (حامض الاستياريك Stearic) $CH_3-(CH_2)_{16}-COOH$

وأحادية عدم التشبع (حامض الأوليك Oleic) $CH_3-(CH_2)_7-CH=CH-(CH_2)_7-COOH$

وعديد عدم التشبع (اللينوليك) $CH_3-(CH_2)_4-CH=CH-CH_2-CH=CH-(CH_2)_7-COOH$

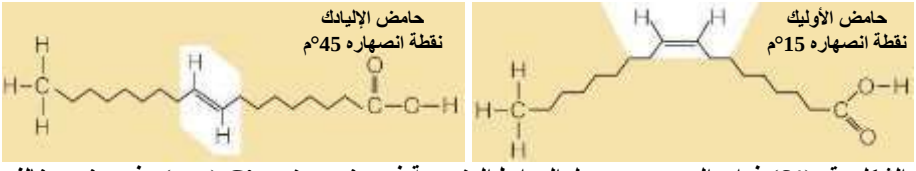
وهنا يختلف قوام هذه الأحماض الدهنية ونقطة انصهارها حسب طول السلسلة الكربونية فيها وحسب درجة عدم تشبعها. فالأحماض الدهنية المشبعة التي يبلغ طول سلسلتها الكربونية بين (4 - 10) ذرات كربون تكون سائلة على درجة حرارة الغرفة، في حين أن تلك التي يزيد طول سلسلتها الكربونية عن 10 ذرات كربون تكون بحالة صلبة. أما الأحماض الدهنية غير المشبعة فتكون بحالة سائلة على درجة حرارة الغرفة وتقل نقطة انصهارها بزيادة عدد الروابط غير المشبعة، وفي الأمثلة السابقة تكون نقطة انصهار حامض الاستياريك Stearic حوالي 70°م أما حامض الأوليك Oleic فنقطة انصهاره حوالي 15°م في حين أن حامض اللينوليك Linolenic تكون نقطة انصهاره -5°م تحت الصفر، وهكذا بزيادة عدد الروابط غير المشبعة تقل نقطة انصهار تلك الأحماض الدهنية. وتكون هذه الصفات مهمة في تحديد خواص الدهون التي تحتوي تلك الأحماض الدهنية، بحسب نسبة تلك الأحماض الدهنية في الدهون المكونة لها، مما يجعل قوام تلك الدهون صلبة كما في حالة الدهون الحيوانية أو سائلة كما في حالة الزيوت النباتية أو زيوت الأسماك.

4- الأحماض الدهنية غير المشبعة قد تكون روابطها المزدوجة متبادلة Conjugated مع روابط فردية أو تكون غير متبادلة (معزولة) Non-conjugated، منفصلة عن بعضها بواسطة مجموعة ميثيلية ($-CH_2-$) أو أكثر.

مثال: حامض دهني ذو روابط غير مشبعة متبادلة Conjugated $(-CH=CH-CH=CH-)$

وأخر ذو روابط غير مشبعة غير متبادلة $(-CH=CH-CH_2-CH=CH-)$

كما أن ذرات الهيدروجين حول الروابط المزدوجة قد تكون في وضع موزي Cis أو في وضع مخالف Trans.



الشكل رقم (61) ذرات الهيدروجين حول الروابط المزدوجة في وضع موزي Cis (يمين) وفي وضع مخالف Trans (يسار).

إن معظم الأحماض الدهنية غير المشبعة الطبيعية توجد ذرات الهيدروجين حول الروابط المزدوجة فيها في وضع موزي Cis، لكن هناك بعض الأحماض الدهنية غير المشبعة توجد ذرات الهيدروجين حول الروابط المزدوجة فيها في وضع مخالف Trans، وتتواجد هذه الأحماض الدهنية في الدهون الحيوانية والزيوت النباتية المهدرجة (حيث أن عملية الهدرجة تزيل قسماً من الروابط المزدوجة (غير المشبعة) في حين أن قسماً أخر من هذه الروابط تتحول إلى مركبات نظائريه من خلال التحول من النظائر ذات الوضع المجاور Cis إلى النظائر ذات الوضع المخالف Trans)، ومن أمثلة هذه الأحماض الدهنية حامض الإلياديك Elaidic والفاكسينيك Vaccenic اللذان يتواجدان في الزيوت النباتية المهدرجة والدهون الحيوانية. وتدعى الدهون التي تحتوي على تلك الأحماض الدهنية بالدهون التقابلية أو الدهون المتحولة Trans Fat.

ترتفع نقطة انصهار الدهون المتحولة Trans Fat حيث أن نقطة انصهار حامض الأوليك (وهو من الأحماض الدهنية من نوع Cis) تبلغ كما عرفنا حوالي 15°م، أما نقطة انصهار حامض الإلياديك (وهو نظير حامض الأوليك لكن ذرات الهيدروجين حول الروابط المزدوجة فيه تكون في وضع مخالف Trans) تبلغ حوالي 45°م، مما يؤدي إلى أن يكون قوام تلك الدهون المتحولة بحالة شبه صلبة وأكثر لدانه مما يجعلها مفضلة لصانعي الحلوى، والمعجنات والمخبوزات، والوجبات الجاهزة، والاطعمة المقلية. الشكل التالي يوضح المصادر الرئيسة للدهون المتحولة.

الشكل رقم (62) المصادر الرئيسة للدهون المتحولة Trans Fat.

إن الدهون المتحولة Trans Fat من الدهون الضارة بالجسم (وهذا ما سيتم توضيحه لاحقاً) ولذا ينبغي تجنب الأغذية التي تحتوي مثل هذه الدهون (بقدر الإمكان).

<u>وتقسم الأحماض الدهنية حسب وجود الروابط غير المشبعة فيها إلى:</u>

1- الأحماض الدهنية المشبعة Saturated fatty acid، وتمتاز بأن السلسلة الكربونية فيها مشبعة تماماً ولا تحتوي على روابط (أواصر) مزدوجة، ومن أكثر الأحماض الدهنية المشبعة انتشاراً في الأغذية أحماض ميريستك ($C_{14:0}$)، بالميتيك ($C_{16:0}$)، ستياريك ($C_{18:0}$).

جدول رقم (9): بعض الأحماض الدهنية المُشبعة الموجودة في دهون الأغذية*

الاسم الشائع	الاسم النظامي	الصيغة التركيبية	المصدر الشائع
بيوتيريك	Butanoic	$CH_3(CH_2)_2COOH$	دهن الحليب
كابرويك	Hexanoic	$CH_3(CH_2)_4COOH$	الحليب، جوز الهند، جوز النخيل
كبريليك	Octanoic	$CH_3(CH_2)_6COOH$	الحليب، جوز الهند، جوز النخيل
كابريك	Decanoic	$CH_3(CH_2)_8COOH$	الحليب، جوز الهند، جوز النخيل
لوريك	Dodecanoic	$CH_3(CH_2)_{10}COOH$	الحليب، جوز الهند، جوز النخيل
ميرستيك	Tetradecanoic	$CH_3(CH_2)_{12}COOH$	معظم الدهون الحيوانية والنباتية
بالميتيك	Hexadecanoic	$CH_3(CH_2)_{14}COOH$	معظم الدهون الحيوانية والنباتية
ستياريك	Octadecanoic	$CH_3(CH_2)_{16}COOH$	الدهون الحيوانية ومكون ثانوي في النباتية
أراشيديك	Eicosanoic	$CH_3(CH_2)_{18}COOH$	الفول السوداني
بيهينيك	Docosanoic	$CH_3(CH_2)_{20}COOH$	الفول السوداني، الخردل، بذرة اللفت
ليجنوسيريك	Tetracosanoic	$CH_3(CH_2)_{22}COOH$	كميات صغيرة في الفول السوداني وغيره

* المصدر (ساجدي وعلي، 1983).

2- الأحماض الدهنية أحادية عدم التشبع Mono-Unsaturated fatty acid، وتمتاز بأن سلسلتها الكربونية تحتوي على رابطة مزدوجة واحدة، ومن أشهر الأحماض الدهنية أحادية عدم التشبع الحامض الدهني أوليك Oleic ($C_{18:1}$) CH_3-$(CH_2)_7$-CH=CH-$(CH_2)_7$-COOH.

جدول رقم (10): بعض الأحماض الدهنية أحادية عدم التشبع الموجودة في دهون الأغذية*

الاسم الشائع	الاسم النظامي	الصيغة التركيبية	المصدر الشائع
كابروليك	*cis*-9-decenoic	$C_9H_{17}COOH$	الحليب
لوروليك	*cis*-5-dodecenoic	$C_{11}H_{21}COOH$	الحليب
ميرستوليك	*cis*-9-tetradecenoic	$C_{13}H_{25}COOH$	الحليب، الدهون الحيوانية
ميزيتيريك	*cis*-5-tetradecenoic	$C_{13}H_{25}COOH$	زيت السردين، زيوت الدلافين
بالميتوليك	*cis*-9-hexadecenoic	$C_{15}H_{29}COOH$	زيوت الأسماك ومكون ثانوي لبقية الزيوت
أوليك	*cis*-9-octadecenoic	$C_{17}H_{33}COOH$	الدهون النباتية والحيوانية
إلياديك	*trans*-9-octadecenoic	$C_{17}H_{33}COOH$	الدهون الحيوانية
فاكسينيك	*trans*-11-octadecenoic	$C_{17}H_{33}COOH$	الزيوت النباتية المهدرجة والدهون الحيوانية
إروسيك	*cis*-13-docosenoic	$C_{21}H_{37}COOH$	زيت بذرة اللفت

* المصدر (ساجدي وعلي، 1983).

3 - الأحماض الدهنية عديدة عدم التشبع Poly-Unsaturated fatty acid، وتمتاز بأن السلسلة الكربونية فيها تحتوي على أكثر رابطة مزدوجة، ومن أكثر الأحماض الدهنية المشبعة انتشاراً في المصادر الطبيعية ما يلي:

لينوليك Linoleic ($C_{18:2}$) $CH_3–(CH_2)_4–CH=CH–CH_2–CH=CH–(CH_2)_7\text{-}COOH$

لينولينيك Linolenic ($C_{18:3}$) $CH_3–CH_2–CH=CH–CH_2–CH=CH–CH_2–CH=CH–(CH_2)_7\text{-}COOH$

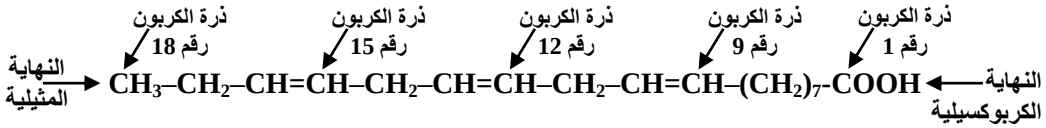
جدول رقم (11): بعض الأحماض الدهنية عديدة عدم التشبع الموجودة في دهون الأغذية*

الاسم الشائع	الاسم النظامي	الصيغة التركيبية	المصدر الشائع
لينوليك	9,12-octadecadienoic	$C_{17}H_{31}COOH$	الفول السوداني، الكتان، بذرة القطن
لينولينك	9,12,15-octadecatrienoic	$C_{17}H_{29}COOH$	زيت السردين، زيوت الدلافين
أراشيدونيك	5,8,11,14-eicosatetraenoic	$C_{19}H_{31}COOH$	كميات ضئيلة في الدهون الحيوانية
EPA	5,8,11,14,17-eicosapentaenoic	$C_{19}H_{29}COOH$	زيوت الأسماك
DPA	7,10,13,16,19-docosapentaenoic	$C_{21}H_{33}COOH$	زيوت الأسماك
DHA	4,7,10,13,16,19-docosahexaenoic	$C_{21}H_{31}COOH$	زيوت الأسماك

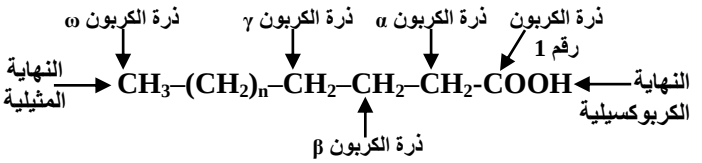
* **المصدر (ساجدي وعلي، 1983).**

الأحماض الدهنية الأساسية Essential Fatty Acids:

تتميز الأحماض الدهنية الأساسية بأنها مجموعة من الأحماض الدهنية تحتوي على روابط زوجية (أي أنها عديدة عدم التشبع Poly-Unsaturated)، أما في المواقع (12 – 13) أو أما في المواقع (12 – 13) و (15 – 16) عند ترقيم ذرات الكربون الحامض الدهني من النهاية الكربوكسيلية، وهنا توضح موضع الروابط المزدوجة بأرقام تدل على موضع ذرة الكربون التي تبدأ فيها الرابطة المزدوجة باعتبار أن مجموعة الكربوكسيل تحتوي ذرة الكربون رقم (1).



ويمكن تسمية ذرات الكربون الحامض الدهني بأحرف (كما هو موضح في الأسفل)، حيث تأخذ ذرة الكربون رقم 2 الحرف α، وتأخذ ذرة الكربون رقم 3 الحرف β، وتأخذ ذرة الكربون رقم 4 الحرف γ، في حين تأخذ ذرة الكربون الأخيرة من النهاية الكربوكسيلية والأولى من النهاية المثيلية الحرف ω، وهنا تكون الروابط المزدوجة للأحماض الدهنية الأساسية في الموقعين أوميجا 3 (ω 3) وأوميجا 6 (ω 6)، فالرابطة المزدوجة في المواقع (3 - 4) أوميجا 3 و(6 - 7) أوميجا 6 عند ترقيم ذرات الكربون الحامض الدهني من ذرة الكربون التي أخذت الحرف ω.



إن جسم الإنسان يستطيع تكوين روابط مزدوجة في الموقع (9 – 10) ولذلك فإن الأحماض الدهنية أحادية عدم التشبع الحامض الدهني من نوع أوميجا 9 (ω 9) مثل حامض الأوليك Oleic ($C_{18:1}$) CH_3-$(CH_2)_7$-CH=CH-$(CH_2)_7$-COOH لا يعتبر من الأحماض الدهنية الأساسية، في حين إن جسم الإنسان لا يستطيع تكوين روابط مزدوجة المواقع (12 – 13) و (15 – 16)، لذلك فإن والأحماض الدهنية المسماة أوميجا 6 وأوميجا 3 تعتبر ضرورية لنمو الجسم حيث أن نقصها في الغذاء يسبب أمراض تختفي بعد إضافتها إلى الغذاء، وعليه يجب أن تتوفر في غذاء الإنسان وبحدود حوالي ما نسبته 10 % من مجموع الطاقة اليومية المتاحة للشخص البالغ، ويحتاجها الإنسان في مرحلة النمو بمقدار أعلى مما يحتاجه الشخص البالغ.

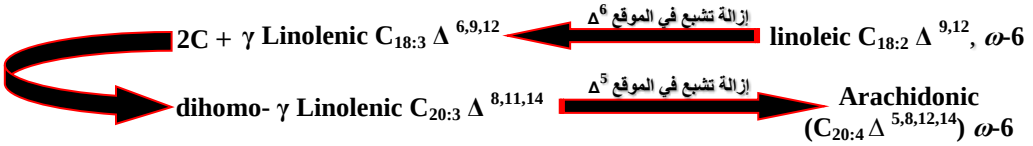
<u>والأحماض الدهنية الأساسية تشمل:</u>

1 - حامض اللينوليك Linoleic ($C_{18:2}$): رمزه العام (C_{18} H_{32} O_2) يحتوي على رابطتين مزوجتين (9 – 10 و 12 – 13) واسمه النظامي 9,12-Octadecadienoic acid يرمز له بالرمز $C_{18:2}$ $\Delta^{9,12}$ أو $C_{18:2}$ ω6، وزن الجزيئي 280,44، درجة انصهاره 5°م يوجد بكثرة في الزيوت النباتية، وهو المُولد الحيوي لحامض جاما لينولينيك γ-Linolenic acid ($C_{18:3}$) والذي يتكون منه حامض Dihomo-γ-Linolenic acid (DGLA) ($C_{20:3}$) الذي يتحول لمجموعة من البروستجلاندينات Prostaglandins (أحماض دهنية طويلة السلسلة تحتوي على حلقة خماسية) من النوعين PG 1 و PG 2.

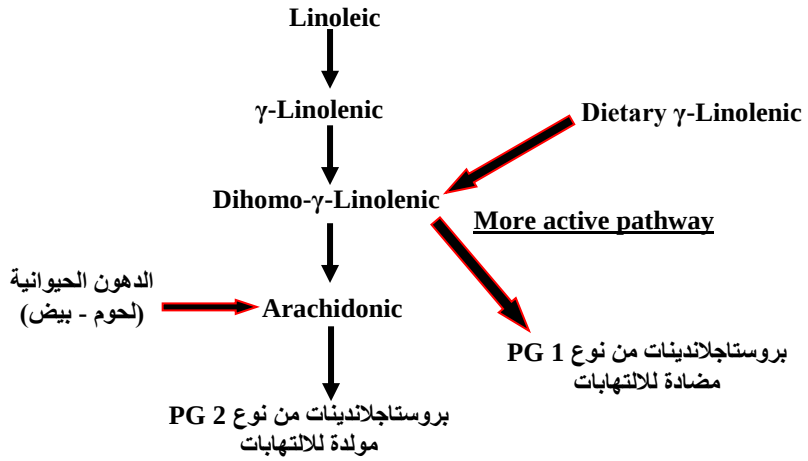
و البروستجلاندينات مواد لها نطاق واسع من النشاط الحيوي ذو الطبيعة التنظيمية للأيض، فهي تعمل كمؤثرات وسيطة في الفعل الهرموني. وتعود تسمية البروستجلاندينات بهذا الاسم للسويدي فون بولار الذي اكتشف هذه المركبات في السائل المنوي وتبين له أن له تأثيراً مقلصاً لعضلة الرحم، وظناً منه أن هذا المركب مصدره غدة البروستاتا Prostate Gland، لذلك أسمى هذه المركبات الكيميائية البروستجلاندينات Prostaglandins، لكن البحوث التي تلت ذلك بينت أن البروستجلاندينات متواجدة في جميع أنسجة الجسم.

وهناك ثلاثة أنواع من البروستجلاندينات هي PG 1 و PG 2 و PG 3، ويعد البروستجلاندينات من النوعين PG 1 و PG 3 من أنواع من البروستجلاندينات الجيدة أما البروستجلاندينات PG 2 فهي البروستجلاندينات السيئة فهذا النوع من البروستجلاندينات مسئول تنظيم سريان الدم إلى الأعضاء والتحكم في نقل الأيونات خلال بعض الأغشية والعمل كمؤثرات وسيطة في النقل العصبي في مواضع الاتصالات العصبية، كما أن هذا النوع من البروستجلاندينات مسئول عن استحثاث الالتهاب، وبالتالي فإن البروستجلاندينات PG 2 مسئولة عن أغلب آثار الأمراض المزمنة وتشمل تأثيراتها: زيادة تخثر الدم، زيادة ضغط الدم، زيادة الكولسترول كما تسبب مزيدا من عوامل خطر الإصابة بنوبات قلبية مما يضاعف الخطر. كما إن البروستجلاندينات PG 2 قد تتسبب بزيادة النشاط الالتهابي الذي قد يؤدي إلى تدمير الأنسجة والإصابة بأمراض الجهاز المناعي الذاتي، بالإضافة إلى أنها تتسبب في القضاء على الخلايا الطبيعية القاتلة والتي تلعب دورا مهما في حمايتنا من السرطان، ولهذا السبب فإن الأورام السرطانية تنمو بتأثير مساعد من البروستجلاندينات PG 2. أما البروستجلاندينات من النوع PG 1 تقلل من لزوجة الدم وتبقي الدم خفيفاً مما يمنع التخثر وانسداد الأوعية الدموية مما يريح هذه الأوعية الدموية ويقلل الضغط الدموي، كما تساعد هذه البروستجلاندينات في المحافظة على التوازن المائي الجسم، وتقلل من حدة الالتهابات والآلام وتحسن أداء الأعصاب والفعالية المناعية كما تساعد هرمون الإنسولين في أداء عمله. كما أن البروستجلاندينات من النوع PG 3 تشابه البروستجلاندينات من النوع PG 1 فهي تقلل من لزوجة الدم إضافة إلى سيطرتها على مستوى كولسترول الدم، وتحسين الفاعلية الأيضية والمناعية، وتقليل الالتهابات والمحافظة على توازن السوائل في الجسم، كما أنها تؤثر على الرؤية والمزاج وقابلية التعلم. وبالتالي فالبروستجلاندينات من النوعين PG 1 و PG 3 تقاوم الآثار السيئة لتأثيرات من البروستجلاندينات من النوع PG 2.

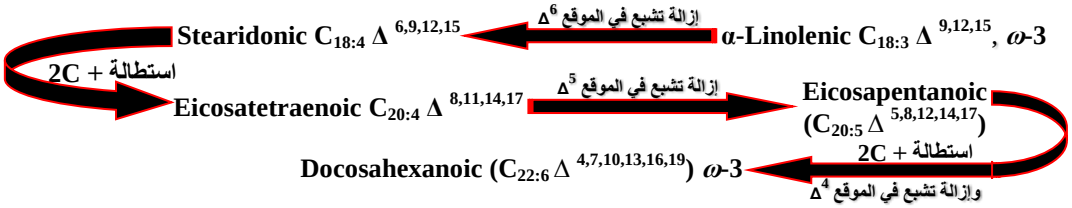
وكما عرفنا أن حامض اللينوليك هو المُولد الحيوي لحامض جاما لينولينيك γ-Linolenic ($C_{18:3}$) والذي يتكون منه حامض Dihomo-γ-Linolenic acid (DGLA) ($C_{20:3}$)، وحامض DGLA هو المُولد الحيوي للبروستجلاندينات من النوع PG 1 وهي من البروستجلاندينات الجيدة، كما أن حامض DGLA أيضاً هو المُولد الحيوي حامض الأراشيدونيك Arachidonic ($C_{20:4}$) الذي كانت تعتبره مراجع علم التغذية في السابق من من الأحماض الدهنية الأساسية لكن المراجع العلمية الحديثة استثنت هذا الحامض الدهني من مجموعة الأحماض الدهنية الأساسية كونه من الممكن أن يتكون داخل الجسم من حامض اللينوليك Linoleic، وفقاً للمعادلة التالية:



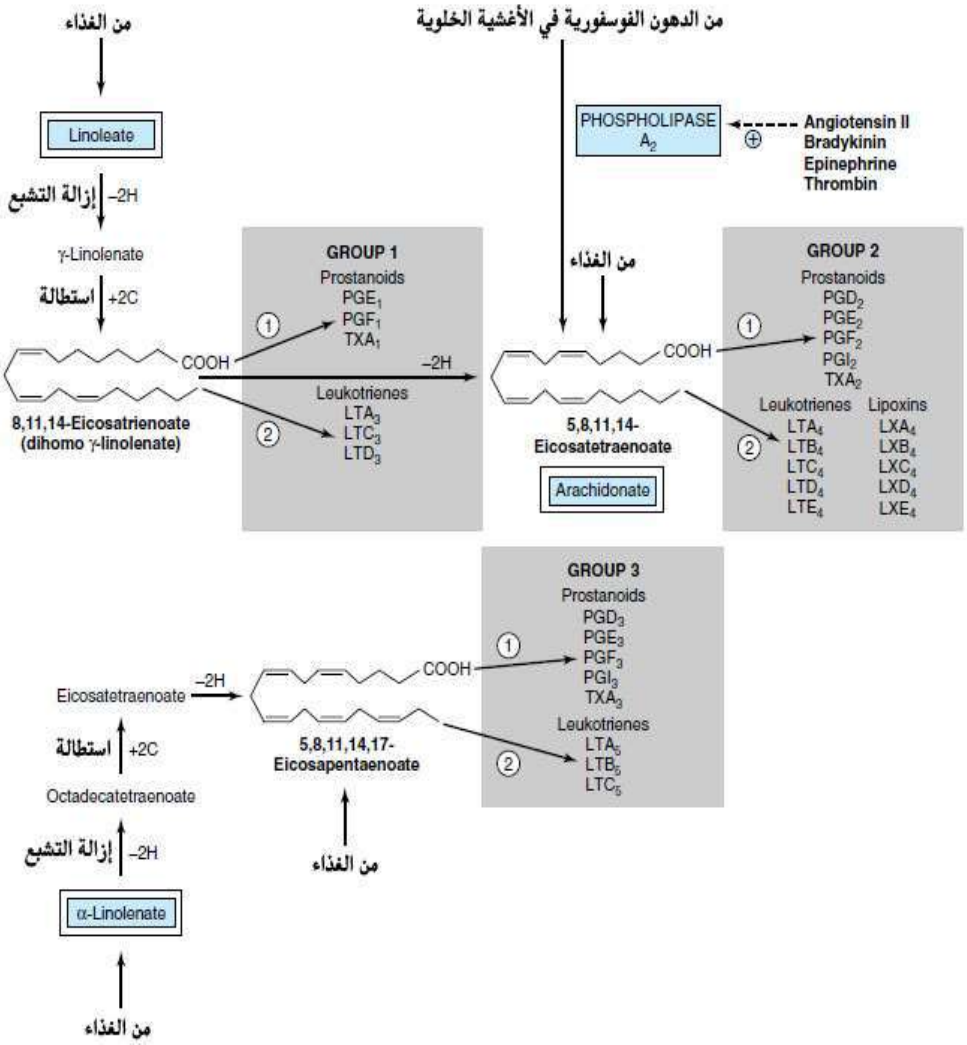
وحامض الأراشيدونيك هو المُولد الحيوي لبعض البروستجلاندينات من النوع PG 2 وهي كما عرفنا من البروستجلاندينات السيئة. وينتشر حامض الأراشيدونيك في الدهون الحيوانية فيوجد على هيئة أثار في بعض الجليسريدات، لكنه يتواجد كمكون رئيس في بعض الدهون الفوسفورية Phospholipids. وبتقليل كمية حامض الأراشيدونيك في الغذاء (بتقليل الدهون الحيوانية) وإضافة حامض جاما لينولينيك γ-Linolenic من مصادر غذائي (كزيت نبات زَهْرَةُ الرَّبيع المسائية، وزيت نبات لسان الثور، وزيت الكشمش الأسود)، إضافة إلى حامض اللينوليك (ω 6)، فإن حامض γ-Linolenic يتحول إلى حامض DGLA، وهنا وبمسار أيضي أكثر فعالية يتحول حامض DGLA إلى البروستاجلاندينات من النوع PG 1 الجيدة.



2 – حامض ألفا لينولينيك α-Linolenic ($C_{18:3}$): رمزه العام ($C_{18}\ H_{30}\ O_2$) يحتوي على ثلاث روابط مزدوجة (9 – 10 و 12 – 13 و 15 – 16) واسمه النظامي 9,12-15 Octadecatrienoic acid يرمز له بالرمز $C_{18:2}\ \Delta^{9,12,15}$ أو $C_{18:2}$ ω3، وزن الجزيئي 278,42، درجة انصهاره بين 10 – 11,3°م يوجد بكثرة في الزيوت النباتية والأسماك، وهو المُولد الحيوي لمجموعة الأحماض الدهنية المعروفة بمجموعة أوميجا 3 (ω 3) مثل EPA (Eicosapentaenoic acid) و DHA (Docosahexaenoic acid) الذي يتواجد بتراكيز عالية في شبكية العين وقشرة الدماغ والخصية والحيوانات المنوية، وذلك وفقاً للمعادلة التالية:

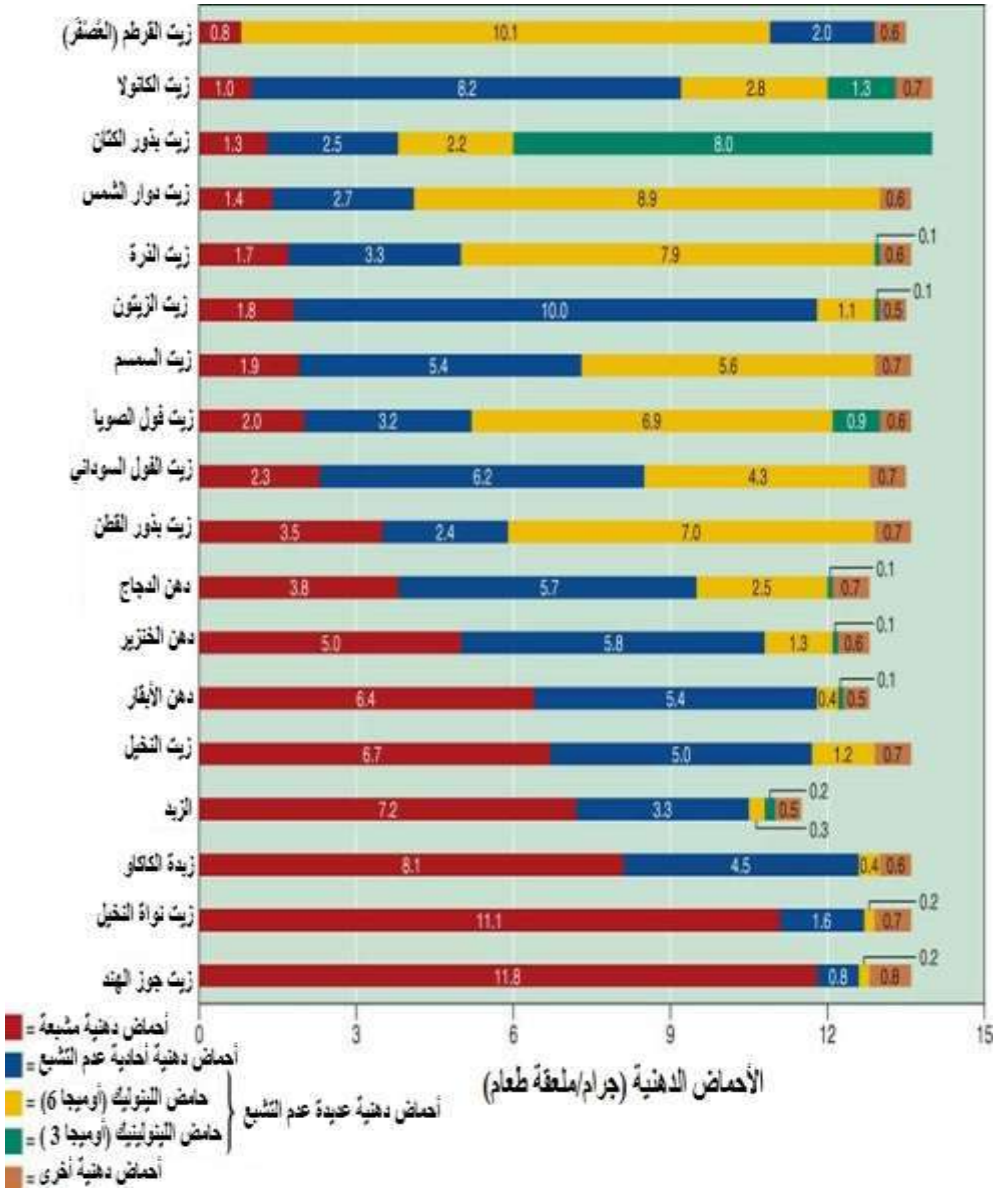


وتعتبر EPA و DHA بدورها المولد الحيوي للبروستجلاندينات من النوع PG 3.



الشكل رقم (63) إنتاج البروستجلاندينات (1، 2، 3) من الأحماض الدهنية، عن (Murray *et al.*, 2003).

والشكل التالي يوضح تركيب الأحماض الدهنية لعدد من الزيوت النباتية والدهون الحيوانية:



الشكل رقم (64) تركيب الأحماض الدهنية لعدد من الزيوت والدهون، عن (Boyle and Long, 2007).

الليبيدات المركبة Compound Lipids:

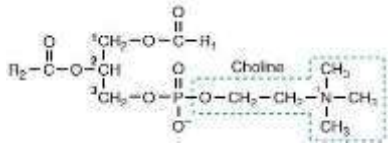
عرفنها سابقاً بأنها عبارة عن ليبيدات بسيطة مرتبطة بمواد أخرى غير دهنية، وتشمل:

1 - الدهون الفوسفورية **Phospholipids**: وهي عبارة عن ليبيدات معقدة يدخل في تركيبها حامض الفسفوريك، أحماض دهنية ذات أوزان جزئية عالية ، كحولات (جليسرين، إينُوسيتُول، سفنجوسين) وقاعدة نيتروجينية (كولين، إيثانول امين، سيرين).

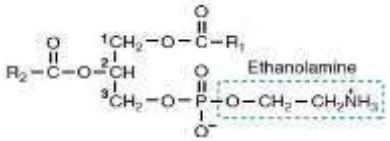
ويمكن تقسيم الدهون الفوسفورية **Phospholipids** تبعاً لتركيبها الكيميائي إلى:

أ. <u>الفوسفوجلسريدات **Phosphoglycerides**</u>: وتتكون من جليسرين + جزيئين من الأحماض الدهنية (R_1 و R_2) + حامض فوسفوريك + قاعدة نيتروجينية وتنقسم إلى:

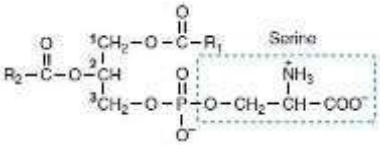
- فُوسْفاتِيدِيل كُولِين **Phosphatidylcholine** (لِيسِثين **Lecithin**): وهو اكثر الفوسفوليبدات انتشارا في الطبيعة حيث يوجد في جميع الكائنات النباتية والحيوانية تقريبا. وهو الاكثر نسبة بين الفوسفوليبدات. ويتركب من: جليسرين + جزيئين من الأحماض الدهنية (R_1 و R_2) + حامض فوسفوريك + كولين. والأحماض الدهنية المكونة له أحدهما مشبع (ستياريك أو بالمتيك) والأخر غير مشبع (لينوليك أو اوليك ونادرا ما يكون لينولينك أو اراشيدونك).



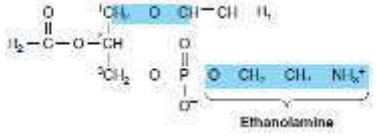
- فُوسْفاتِيدِيل إيثانول أمين **Phosphatidylethanolamine**: يدخل في تركيبه الجليسرين + جزيئين من الأحماض الدهنية (R_1 و R_2) + حامض فسفوريك + إيثانول امين. والأحماض الدهنية المكونة له أحدهما مشبع (بالميتيك، ستياريك)، والآخر غير مشبع (غالباً أوليك). وبكمية احتوائه في الأغذية الحيوانية والنباتية بالنسبة للفسفوليبيدات فنسبته تقع الثانية بعد الفُوسْفاتِيدِيل كُولِين.



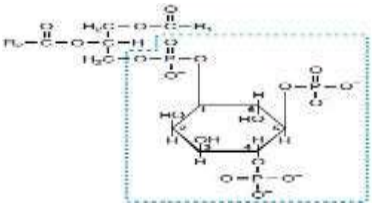
- فُوسْفاتِيدِيل سيرين **Phosphatidylserine**: يدخل في تركيبه الجليسرين + جزيئين من الأحماض الدهنية (R_1 و R_2) + حامض فسفوريك + سرين. والأحماض الدهنية المكونة له أحدهما مشبع (ستياريك أو بالميتيك)، والآخر غير مشبع (أوليك) وبكمية احتوائه في الأغذية النباتية والحيوانية بالنسبة للفسفوليبيدات فنسبة تقع الثالثة بعد الفُوسْفاتِيدِيل كُولِين والفُوسْفاتِيدِيل إيثانول امين.



ب. <u>البلازموجينات **Plasmalogens**</u>: تعتبر البلازموجينات أحد المجاميع الثانوية للفوسفوجلسريدات لكنها تختلف عنها بكون الحامض الدهني في الموقع الأول يستبدل بايثر غير مشبع. وتوجد في أغشية الأنسجة العضلية والدماغ والقلب.

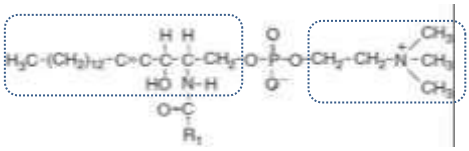


ج. **فُوسْفاتِيدِيل إينُوسيتُول Phosphatidylinositol:**



ويتكون من جليسرين + جزيئي أحماض دهنية + حامض فسفوريك + كحول الإينُوسيتُول (بدلاً عن القاعدة النيتروجينية).

2 - الإسفنجوماليناتSphingomyelins: ويمكن اعتبارها من مجاميع الفسفوليبيدات التي لا تحتوي على جليسرين حيث أنها تتركب من حامض دهني + حامض فسفوريك + نوعين من القواعد النيتروجينية (الكولين والاسفنجوسين)، وعلى ذلك فهو عبارة عن كحول أميني غير مشبع (سفنجوسين Sphingosin) + حامض دهني غالباً ما يكون مشبع (سيتاريك أو بالمتيك) + حامض فسفوريك + كولين. وتوجد الإسفنجوماليناتفي معظم أغشية الخلايا الحيوانية، كما توجد بكميات كبيرة في رقائق الميلين Myelin Sheets (الغشاء متعدد الطبقات الذي يحمي ويعزل الألياف العصبية).



4 - البروتيناتالدهنيةLipoproteins: ترتبط الدهون بمركب بروتيني يدعى Apolipoprotein لتكون البروتينات الدهنية الناقلة التي تقوم بنقل الدهون والكولسترول في سوائل الجسم، ويتم تكوين البروتينات الدهنية في خلايا الأمعاء والكبد، ويوجد عدة أنواع من هذه البروتينات الدهنية تصنف حسب كثافتها وكمية كل من البروتين والجليسريدات الثلاثية والكولسترول إلى: كيلوميكرونات Chylomicrons، بروتينات دهنية عالية الانخفاض في الكثافة (VLDL)، ومنخفضة الكثافة (LDL)، ومتوسطة الكثافة (IDL)، وعالية الكثافة (HDL). والجدول رقم (12) يوضح تركيب البروتينات الدهنية وأهم خصائصها.

الخواص	الكيلوميكرونات	VLDL	LDL	HDL
الحجم (نَانومِتر)	1200 – 750	80 – 30	25 – 18	12 – 5
الكثافة (جم/مل)	0.96	1,0 – 0,96	1,06 – 1,0	1,21 – 1,06
البروتين %	1,7	10	25	50
الجليسريدات الثلاثية %	96	60	10	3
الكولسترول %	1,7	15	45	18
الدهون الفوسفورية %	0,8	18	22	30

وسوف يتم التوسع في الحديث عن البروتينات الدهنية في فقرات قادمة.

4 - الليبيدات المركبة الأخرى Other Compound Lipids: ومنها الدهون السكرية Glycolipids التي تتكون من أحماض دهنية متحدة مع جزيء واحد أو أكثر من السكريات لكنها لا تحتوي على الفوسفور، والدهون الأمينية Aminolipids الحاوية على الأحماض الأمينية، وكذلك الدهون الكبريتية Sulfolipids وهي الدهون التي تحتوي على الكبريت.

الليبيدات المشتقة Derived Lipids:

وتشمل المواد الناتجة عن التحلل المائي للأقسام السابقة من الليبيدات، وتضم كل من الأحماض الدهنية والإستيرولات والمواد الملونة والهيدروكربونات.

الإستيرولات Sterols:

أحد أنواع الليبيدات المشتقة Derived Lipids، وهي عبارة عن كحولات معقدة التركيب وحيدة الهيدروكسيل توجد في الأنسجة النباتية والحيوانية على حالة حرة أو في صورة إسترات. وتوجد منها أنواع مختلفة تشترك في التركيب الحلقي وفي بعض المجموعات الجانبية فهي تحتوي على ثلاث حلقات سداسية وحلقة خماسية.

وتنقسم الإستيرولات تبعاً لمصدرها إلى ما يلي:

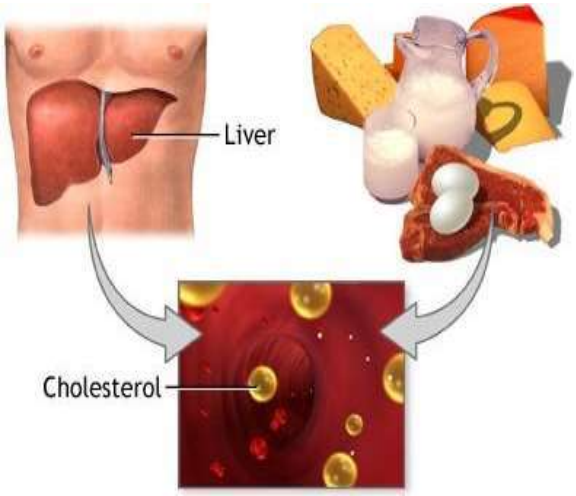
1 - إسترولات من المصادر الحيوانية ومنها الكولسترول Cholesterol ورمزه الكيميائي ($C_{27}H_{46}O$) ونسبته في اللحوم 0,05 % - 0,15 %.

2 - إسترولات من المصادر النباتية ومنها بيتا سيتوستيرول β-sitosterol ورمزه الكيميائي ($C_{29}H_{50}O$) ونسبته في النباتات 0,03 % - 1,0 %.

3 - إسترولات الفطريات ومنها الارجسترول ورمزه الكيميائي ($C_{28}H_{44}O$).

والكولسترول من أهم الإستيرولات في التغذية، وللكولسترول في الجسم مصدران:

- داخلي: حيث يصنع الجسم في الكبد والأمعاء حوالي 60 % من حاجته من الكولسترول.
- خارجي: من الغذاء، حيث يحصل الجسم على ما يقارب 40 % من مجموع الكولسترول اليومي، ومن أغنى الأغذية بالكولسترول المخ والنخاع والزبد والقشدة والسمن الحيواني وصفار البيض وبعض الأغذية البحرية والدهون المرتبطة باللحوم الحمراء.



الشكل رقم (65) يوضح مصادر الكولسترول في الجسم.

البناء الحيوي للكولسترول Cholesterol Biosynthesis:

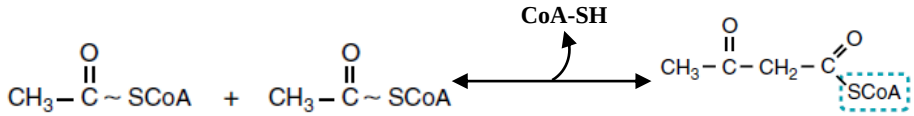
يتم البناء الحيوي للكولسترول في الجسم بعدد كبير من التفاعلات الإنزيمية يمكن تقسيمها إلى ثلاثة مراحل أساسية هي:

1- تكوين جزيئين من حامض الميفالونيك Mevalonic acid.

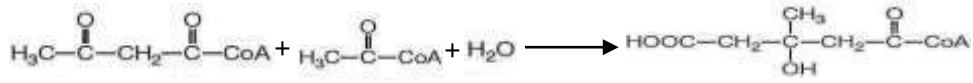
2- تحويل حامض الميفالونيك إلى سكوالين Squalene.

3- تحويل السكوالين Squalene إلى لانوسترول Lanosterol ثم إلى كولسترول.

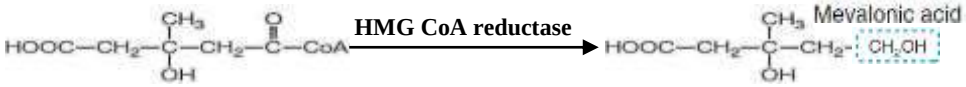
في المرحلة الأولى يتكاثف جزيئين من أستيل مرافق الإنزيم أ ليتكون مركب اسيتوأستيل مرافق الإنزيم أ Acetoacetyl-CoA في وجود إنزيم Thiolase:



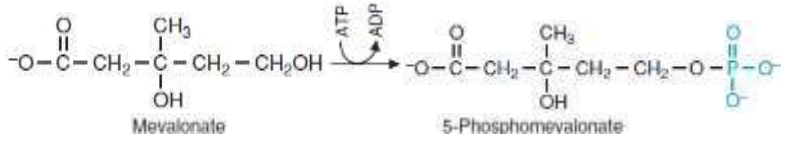
في الخطوة الثانية يتفاعل مركب أسيتوأستيل مرافق الإنزيم أ مع أستيل مرافق الإنزيم أ والماء ليعطي مركب 3- هيدروكسي -3- مثيايل جلوتاريل مرافق الإنزيم أ (HMG CoA) 3–Hydroxy–3–methyl glutaryl CoA في وجود إنزيم HMG CoA synthase:

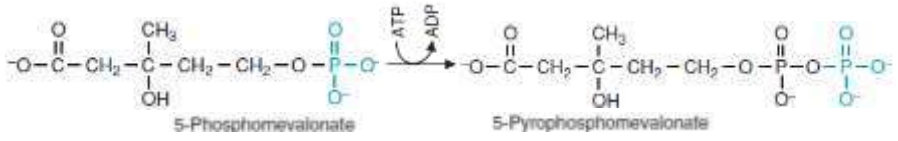


بعدها يُختزل مركب 3- هيدروكسي -3- مثيايل جلوتاريل مرافق الإنزيم أ في وجود إنزيم HMG CoA reductase ليعطي حامض الميفالونيك كالتالي:

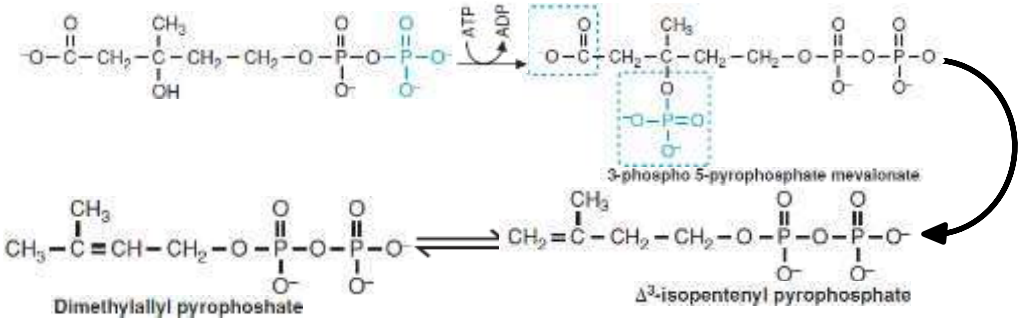


في المرحلة الثانية يتحول حامض الميفالونيك إلى مركب 5- فوسفوميفالونيت ثم إلى مركب 5- بيروفوسفوميفالونيت

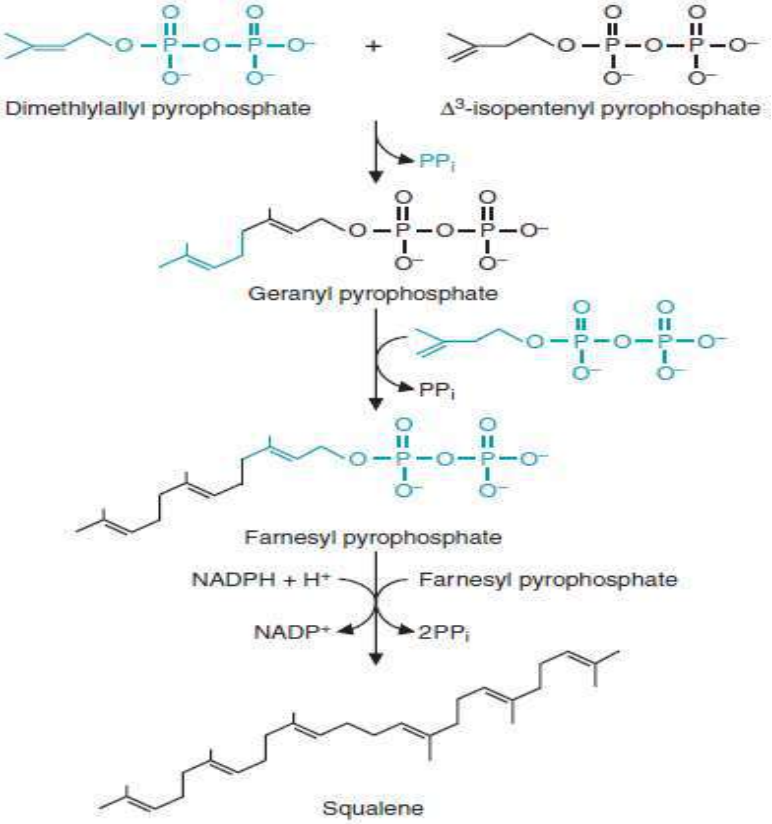




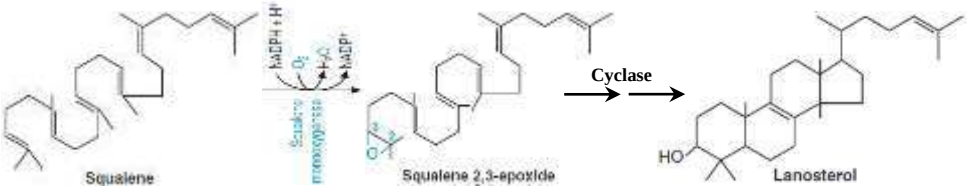
بعدها يتحول مركب 5- بيروفوسفوميفالونيت إلى مركب 3 - فوسفو 5- بيروفوسفوميفالونيت ثم إلى ثنائي فسفات الإيزوبنتينيل والذي بدوره يتحول إلى ثنائي مثيل بيروفوسفات



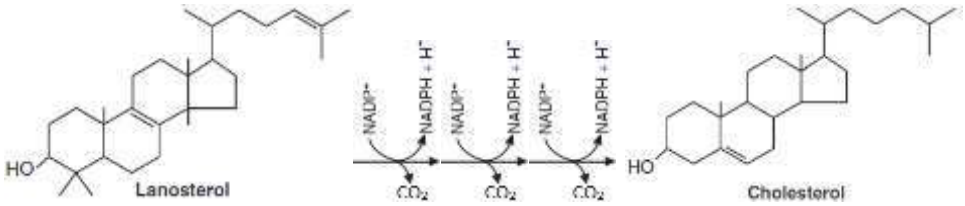
بعدها يتكون السكوالين الحاوي على 30 ذرة كربون (C_{30}) من ارتباط وحدات من مركب ثنائي فسفات الإيزوبنتينيل (C_5) مع ثنائي مثيل بيروفوسفات (C_5)، ليتكون مركب جرانيل ثنائي فسفات Geranyl pyrophosphate (C_{10})، والذي بدوره يتحد مع ثنائي فسفات الإيزوبنتينيل (C_5) ليكون مركب فارنسيل ثنائي فسفات Farnesyl pyrophosphate (C_{15})، وباتحاد وحدتين من مركب فارنسيل ثنائي فسفات (C_{15}) يتكون السكوالين (C_{30}) كالتالي:



في المرحلة الثالثة يدخل السكوالين (C_{30}) في سلسلة تفاعلات إنزيمية معقدة يتحول فيها التركيب المفتوح للسكوالين إلى تركيب حلقي هو لانوسترول Lanosterol (C_{30}):



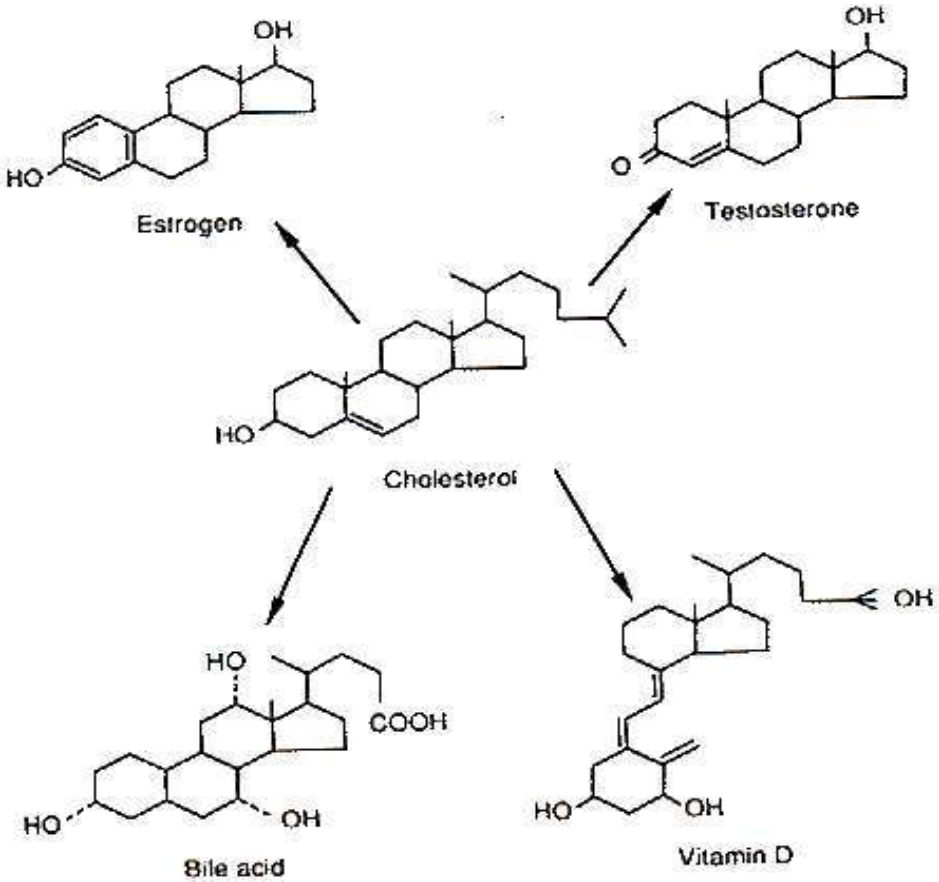
ثم يتحول اللانوسترول (C_{30}) بمجموعة من التفاعلات إلى كولسترول (C_{27}) كالتالي:



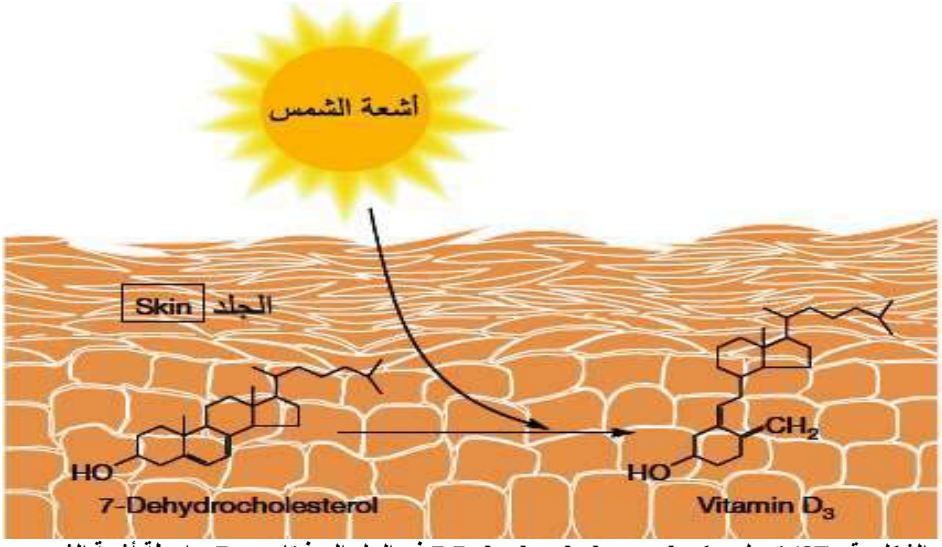
وينظم هذا المسار حيوياً على حسب حاجة الجسم للكولسترول، فالكولسترول المتكون في نهاية هذا المسار الأيضي يثبط إنزيم 3–Hydroxy–3–methyl glutaryl CoA reductase عندما تنتج كميات كافية منه، وبالتالي تتوقف عملية بناؤه حيوياً، كما أن الكولسترول الممتص من المصادر الغذائية أيضاً يثبط هذا الإنزيم.

والكولسترول مادة دهنية معقدة موجودة في كل خلية حية، ولا يمكن أن نعيش بدونه فهو جزيء بيولوجي مهم جدا، وبعبارة أخرى فإن الكولسترول هو أحد أنواع الدهون التي يحتاجها الجسم للبناء والصحة السليمة، ولكن بسبب ارتباط الكولسترول بأمراض القلب والأوعية الدموية فغالباً يربط الناس الكولسترول دائماً بالعوامل السلبية له، حيث أن وصوله إلى مستويات مرتفعة في الدم يعد مشكلة خطيرة، فعد وصول كولسترول الدم إلى المستويات العالية بمكن أن يؤدي إلى تصلب جدران الشرايين Arteriosclerosis وتضيقها ويودي إلى حدوث خطر الجلطات الدموية والأزمة القلبية والسكتة الدماغية.

لكن يجب أن نعرف أن الكولسترول يدخل في تركيب أغشية الخلايا وهو مادة مولدة للهرمونات الستيرويدية (مثل الاستروجين والتستوسيترون والكورتيزون) وأحماض المرارة ولفيتامين D، حيث أن الكولسترول إذا تأكسد وذلك بفقده ذرتين هيدروجين يتحول إلى كولسترول منزوع الهيدروجين على ذرة الكربون رقم 7 (7-Dehydrocholesterol) الذي يتحول بتأثير الأشعة فوق البنفسجية إلى فيتامين D_3. كما يتحول الارجسترول بتأثير الأشعة إلي فيتامين D_2.



الشكل رقم (66) يوضح تحول الكولسترول إلى الهرمونات الستيرويدية وأحماض المرارة ولفيتامين D.



الشكل رقم (67) تحول مركب 7-Dehydrocholesterol في الجلد إلى فيتامين D_3 بواسطة أشعة الشمس.

هضم وامتصاص الدهون Fat digestion and absorption:

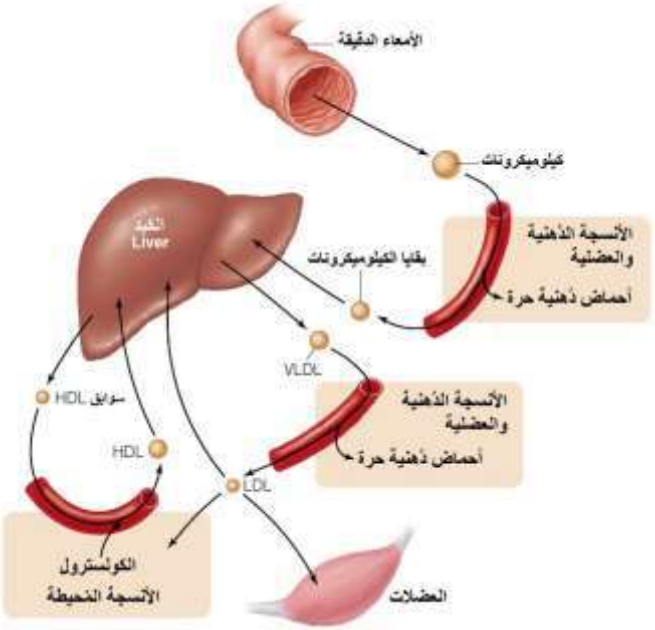
أن كمية الدهون في الوجبة الغذائية تؤثر على سرعة مرور الكتلة الغذائية المهضومة خلال القناة الهضمية، فتناول كميات كبيرة من الدهون يؤدي إلى ارتخاء عضلات المعدة وبطء عملية تفريغها، مما يعطي شعوراً بالشبع لفترة أطول. وتبدأ عملية هضم الدهون بشكل بسيط جداً في المعدة حيث تفرز المعدة أيضاً أنزيم الليبيز المعدي الذي يقوم بهضم الدهون المُستحلبة حيث يحولها إلى أحماض دهنية وجليسيرول، غير أن هضم الدهون في المعدة (وكما ذُكر سابقاً) محدود للغاية بسبب الحموضة العالية للعصارة المعدية مما يجعلها وسطا غير ملائم لعمل هذا الإنزيم، ويكاد أن يكون هضم الدهون بأكمله في الأمعاء الدقيقة.

وبدخول الكيموس للأمعاء تتقلص المرارة بتأثير هرمون Cholecystokinin فتفرز العصارة الصفراوية التي تعمل على استحلاب الدهن الداخل إلى الأمعاء الدقيقة إلى حبيبات صغيرة جداً. ويحفز إنزيم الليبيز البنكرياسي التحلل المائي للروابط الإسترية في جزيئة الجليسريد الثلاثي بصورة متخصصة، حيث يحدث التحلل المائي عند الموضعين α أو ά لينتج جليسريد ثنائي من نـوع α و β ثنائي الجليسريد. ويتحلل الجليسريد الثنائي بعد ذلك إلى جليسريد أحادي، ويكون ناتج التحلل المائي خليطاً غير متجانس يحتوي على الأحماض الدهنية والجليسيرول بصورة رئيسة، وبعض من الجليسريدات أحادية وكميات قليلة من الجليسريدات الثنائية والثلاثية، إضافة إلى المركبات الذائبة في الدهن. ويتم التحلل المائي للفوسفوليبيدات بواسطة إنزيمات الفوسفوليبيزات Phospholipases في البنكرياس لينتج ذلك جليسيرول وأحماض دهنية وفوسفات وقواعد نتروجينية. كما تحفز مجموعة من إستريزات البنكرياس التحلل المائي لإسترات الكولسترول والجليسريدات الثلاثية قصيرة السلسلة، ولا يعد التحلل المائي التام للدهن أساساً للامتصاص.

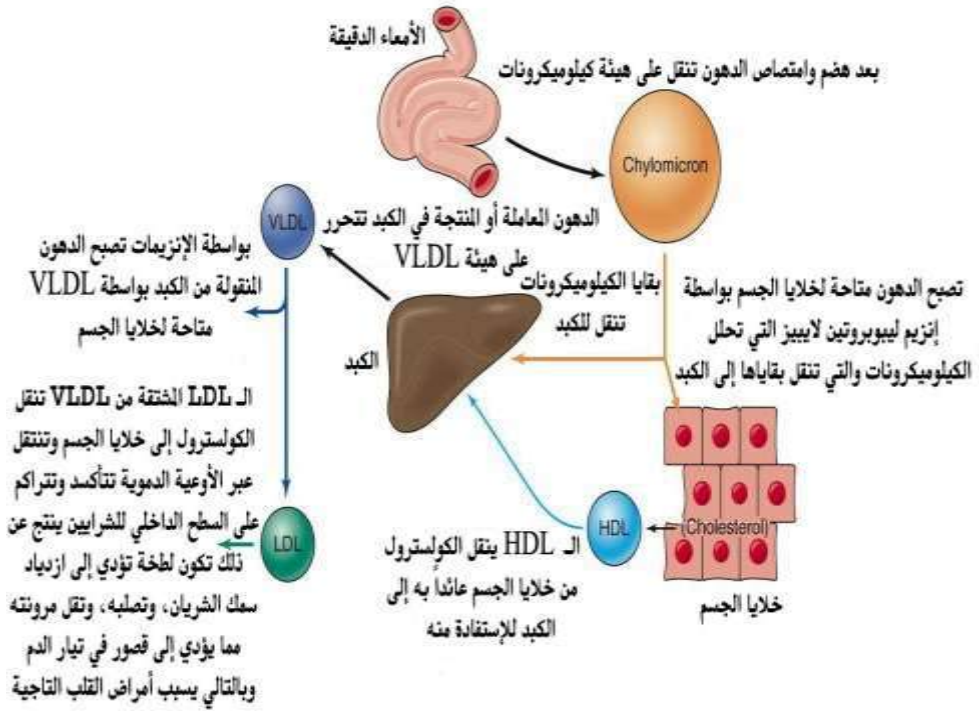
يتم امتصاص نواتج تحلل الليبيدات مائيا خلال جدار الأمعاء، ويعاد بناء الأحماض الدهنية المحتوية على أكثر من 12 ذرة كربون إضافة إلى الجليسيرول والجليسريدات الأحادية والثنائية إلى جليسريدات ثلاثية في الأغشية المعوية المخاطية، إذ تطلق إلى الليمف ومن ثم تدخل الدورة البابية عن طريق القناة الصدرية، أما الأحماض الدهنية المحتوية على أقل من 10 ذرات كربون فإنها تظهر مع الجليسيرول في الدورة البابية وتنتقل إلى الكبد. وفي داخل الخلايا الطلائية المبطّنة لجدار الأمعاء الدقيقة يتم إعادة تصنيع الجليسريدات الثلاثية من كلٍ من الأحماض الدهنية الطويلة السلسلة والجلسريدات الأحادية والجليسيرول في الشبكات الإندوبلازمية الناعمة للخلايا الطلائية (ولا يكون الجليسيرول المستعمل في بناء الجليسريدات الثلاثية نفس الجليسيرول الممتص خلال الجدار المعوي وإنما جليسيرول 3- فوسفات المتكون من مسار HDP)، ثم تتجمع مع كميات بسيطة من البروتينات والفوسفوليبيدات والكولسترول والفيتامينات الذائبة في الدهن في هيئة كيلوميكرونات Chylomicrons ثم تنتقل إلى الأوعية الليمفاوية ثم إلى الدم.

إن وجود مستحلب الكيلوميكرونات (في الدم بعد تناول وجبة غنية بالدهن) يعطي الدم مظهر حليبي يختفي بعد تحلل هذه المستحلبات بواسطة إنزيم ليبوبروتين لايبيز Lipoprotein Lipase (عامل الترويق)، ويقوم الكبد والنسيج الدهني بتقليل مستوى الدهون المستحلبة على هيئة كيلوميكرونات في الدم حيث يعتبران الموقعين الرئيسين لاستغلال الدهون.

وتُنقل الدهون والكولسترول (الممتص في الأمعاء) في الدم بواسطة البروتينات الدهنية Lipoproteins، مما يساعد على نقل الدهون مذابة في الدم والليمف، ويتم تكوين البروتينات الدهنية في خلايا الأمعاء والكبد، فبعد هضم وامتصاص الدهون تنقل على هيئة كيلوميكرونات Chylomicrons (تبنى في خلايا الأمعاء الدقيقة) لتحمل الدهون الممتصة في الأمعاء للكبد وخلايا الجسم التي تحتاجها، وتصبح الدهون متاحة لخلايا الجسم بواسطة إنزيم ليبوبروتين لايبيز التي تحلل الكيلوميكرونات لتستفيد خلايا الجسم منها، وتنقل بقايا الكيلوميكرونات للكبد. كما يقوم الكبد بنقل الدهون وجزء بسيط من الكولسترول إلى خلايا الجسم على هيئة VLDL. وبواسطة الإنزيمات المحللة تصبح الدهون المنقولة من الكبد بواسطة VLDL متاحة لخلايا الجسم، وتتحول VLDL إلى LDL. والـ LDL المشتقة من VLDL تنقل الكولسترول إلى خلايا الجسم وتنتقل عبر الأوعية الدموية. لكن يحدث أن تتأكسد وتتراكم على السطح الداخلي للشرايين ينتج عن ذلك تكون لطخة تؤدي إلى ازدياد سمك الشريان، وتصلبه، وتقل مرونته مما يؤدي إلى قصور في تيار الدم وبالتالي يسبب أمراض القلب التاجية. في حين أن الـ HDL ينقل الكولسترول من خلايا الجسم عائداً به إلى الكبد للاستفادة منه.



الشكل رقم (68) امتصاص الدهون ونقلها داخل أنسجة الجسم المختلفة عن (Thompson *et al.*, 2011).



الشكل رقم (69) وظائف وتداخلات البروتينات الدهنية، عن (Boyle and Long, 2007).

تعرف البروتينات الدهنية منخفضة الكثافة Low-density lipoproteins (LDL) بالكولسترول الضار، وهذا النوع من الكولسترول يعتبر المصدر الأساسي لترسب الكولسترول في الشرايين وضيقها وانسدادها، ولذلك كلما ارتفع تركيز كولسترول البروتينات الدهنية منخفضة الكثافة LDL-cholesterol في الدم كلما ارتفعت مخاطر الإصابة بالأمراض المشار إليها أعلاه، حيث أنه عند تراكم البروتينات الدهنية منخفضة الكثافة LDL (الكولسترول السيئ) على السطح الداخلي للشرايين ينتج عن ذلك تكون لطخة أو بقعة plaque . تكون هذه اللطخة يؤدي إلى ازدياد سمك الشريان، وتصلبه، وتقل مرونته مما يؤدي إلى قصور في تيار الدم وبالتالي يسبب أمراض القلب التاجية.

في حين تعرف البروتينات الدهنية عالية الكثافة High-density lipoproteins (HDL) بالكولسترول الجيد، والبروتينات الدهنية عالية الكثافة تحمل الكولسترول في الدم وتنقله من أجزاء الجسم المختلفة إلى الكبد ليتم الاستفادة منه، وبهذا فإن البروتينات الدهنية عالية الكثافة HDLs تساعد الجسم في التخلص من الكولسترول وتمنع ترسبه في جدران الشرايين.

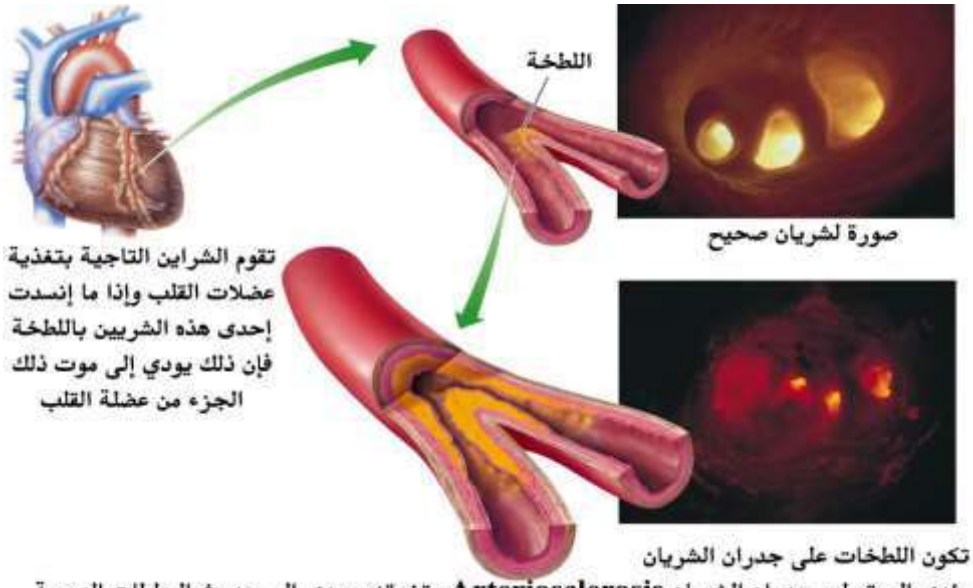
جدول رقم (13): يوضح النسب الطبيعية وغير الطبيعية لكولسترول ودهون الدم لدى البالغين*

النوع	النسبة المفضلة (mg\dl)	النسبة غير الطبيعية (mg\dl)	النسبة الخطرة (mg\dl)
الكولسترول الكلي Total Cholesterol	أقل من 200	200 – 239	أكثر من 240
الكولسترول السيئ LDL Cholesterol	أقل من 130	159 – 130	أكثر من 160
الكولسترول الجيد HDL Cholesterol	أكثر من 60	-	أقل من 35
الجليسريدات الثلاثية Triglycerides	أقل من 200	400 – 200	1000 – 400

* الكولسترول الكلي يجب أن تكون مستوياته أقل من 200 ملجم/ديسيلتر، في حين أن وصول مستوياته إلى ما بين 200 – 239 ملجم/ديسيلتر يعتبر أمر غير مرغوب به مطلقاً، أما وصول مستوياته إلى أعلى من 239 ملجم/ديسيلتر فهو مؤشر خطير جداً.

* البروتينات الدهنية منخفضة الكثافة (LDL) يجب أن تكون مستوياتها أقل من 130 ملجم/ديسيلتر، في حين أن وصول مستوياتها إلى ما بين 130 – 159 ملجم/ديسيلتر يعتبر أمر غير مرغوب به مطلقاً، أما وصول مستوياتها إلى أعلى من 160 ملجم/ديسيلتر فذلك مؤشر خطير جداً.

* البروتينات الدهنية مرتفعة الكثافة (HDL) يجب أن تكون مستوياتها أعلى من 60 ملجم/ديسيلتر، أما تدني مستوياتها إلى ما دون 35 ملجم/ديسيلتر فذلك مؤشر أمر غير مرغوب به مطلقاً.

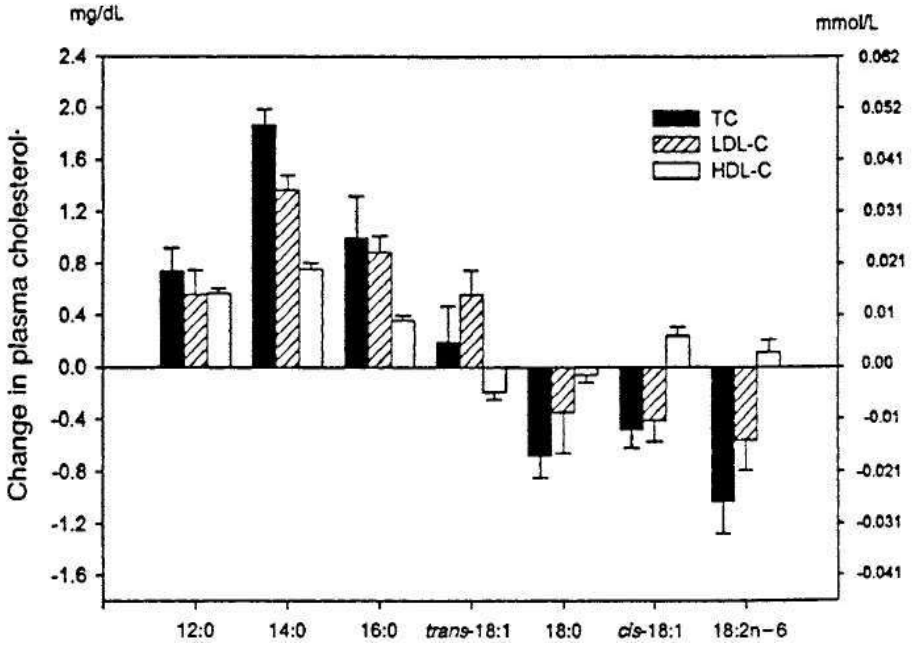


الشكل رقم (70) يوضح تراكم البروتينات الدهنية منخفضة الكثافة LDL (الكولسترول السيئ) على السطح الداخلي للشرايين، عن (Sizer and Whitney, 2008).

وتتراوح كمية الكوليسترول الممتصة من الامعاء الدقيقة بنسبة تتراوح بين 24 - 50% وذلك على حسب الكمية الموجودة في الجسم، ويستخدم (كما سبقت الإشارة) في تكوين عدد من الهرمونات وكمولد لفيتامين D، وفي تكوين املاح الصفراء التي تخزن في المرارة (30 - 50% من الكوليسترول)، ومنها تفرز الى الامعاء الدقيقة لاستحلاب الدهون ثم يعاد امتصاصها مرة أخرى مع الدهون الممتصة من خلال جدار الامعاء الدقيقة ثم تنقل الى الكبد عن طريق الوريد البابي حيث تعاد دورة الصفراء مرة أخرى، ويمكن لأملاح الصفراء (كما أشرت سابقاً) ان ترتبط مع الالياف الغذائية وتطرد خارج الجسم مع البراز مما يؤدى الى خفض مستوى كوليسترول الدم.

وقد ثبت أن هناك علاقة بين أمراض القلب والأوعية الدموية وتناول الدهون في الغذاء من حيث كميتها وأنواعها، فمثلاً يعتبر مستوى الكولسترول ونوع ومستوى البروتينات الدهنية في الدم من مؤشرات تصلب الشرايين عند الإنسان. ويتأثر مستوى الكولسترول في الدم بمستوى الدهون بشكل عام وبمستوى الكولسترول والأحماض الدهنية المشبعة وغير المشبعة وعديدة عدم التشبع بشكل خاص في غذاء الإنسان، كما تلعب الزيوت المهدرجة في المارجرين والسمن دوراً في ذلك، فمن المعروف أن عملية الهدرجة تزيل قسماً من الروابط المزدوجة (غير المشبعة) في حين أن قسماً أخر من هذه الروابط تتحول إلى مركبات نظائريه من خلال التحول من النظائر ذات الوضع المجاور Cis إلى النظائر ذات الوضع المخالف Trans، وهذه النظائر ذات الوضع المخالف تودي إلى رفع مستوى البروتينات الدهنية منخفضة الكثافة LDL، وهنا ينبغي علينا تحاشي الدهون المتحولة والدهون الصلبة. كذلك فإن التأثير الرئيس لارتفاع مستوى الكولسترول في الدم مصدره الأحماض الدهنية المشبعة، بينما تقلل الأحماض عديدة عدم التشبع من مستواه في الدم، ولذا فإن ارتفاع مستوى الكولسترول في الدم لا يرتبط فقط بمستوى الأحماض الدهنية المشبعة في الغذاء بل يتأثر بالنسبة بين الأحماض المشبعة وغير المشبعة، كما أن هناك اختلاف في درجة تأثير الأحماض الدهنية المشبعة المختلفة على ارتفاع مستوى الكولسترول في الدم، فقد ثبت أن بعضها كاللوريك $C_{12:0}$ والميريستك $C_{14:0}$ والبالميتيك $C_{16:0}$ تؤدى إلى زيادة مستوى الكولسترول في الدم أكثر من الاستياريك $C_{18:0}$. ومن الزيوت التي ينبغي تجنبها هنا زيت جوز الهند الذي يحتوي على 75 % من هذه الأحماض الدهنية ($C_{12:0}$ و $C_{14:0}$ و$C_{16:0}$)، وكذلك زيت نوى النخيل الذي يشابهه في محتواه من تلك الأحماض الدهنية.

ولا يقتصر ارتفاع مستوى الكولسترول في الدم على تأثير نوع الدهون ونسبتها في الغذاء فحسب بل أن هناك عوامل أخرى يعتقد بأنها تتعلق بأمراض القلب والدورة الدموية مثل كمية ونوع البروتين (حيواني أو نباتي) ومستوى الكربوهيدرات (وخاصة السكريات) وكمية الألياف.



الشكل رقم (71) يوضح تأثير الأحماض الدهنية المختلفة على ارتفاع مستوى الكولسترول في الدم، عـــــن (Kris-Etherton and Yu, 1997).

ماذا نأكل من الدهون:-

بدأنا هذا الفصل بتساؤل "هل تشكل كل الزيوت والدهون مشكلة صحية؟ أم أن لها دور مهم في تغذية الإنسان والحفاظ على حالته الصحية؟ وإذا ما كان لها هذا الدور فكيف نستفيد من كل فوائدها ونتجنب أضرارها بقدر المستطاع؟" وقد حاولنا خلال الصفحات السابقة أن نُجيب على هذه التساؤلات بأسلوب علمي. وكخلاصة لما سبق يجب علينا خفض كمية الكولسترول المُتناول من مصادره الغذائية إلى ما لا يزيد عن 300 مليجرام في اليوم، (والجدول رقم 15 يوضح محتوى بعض الأغذية من الكولسترول)، كما يجب علينا تقليل الاستهلاك الكلي اليومي للدهون إلى حوالي 20 - 35 % من السعرات الحرارية المُتناولة على حسب الحالة الفسيولوجية والصحية للشخص، (وفي الفصل التاسع سنتعلم كيفية حساب السعرات الحرارية)، على أن يكون ثلث الكمية المُتناولة من الدهون غير المُشبعة المتعددة (عديدة عدم التشبع) وهي الأحماض الدهنية الأساسية Essential Fatty Acids الضرورية للجسم التي عرفنها باسم الأحماض الدهنية المعروفة بمجموعة أوميجا 3 وأوميجا 6 (ω 3 and 6)، والثلث الثاني من الدهون غير المُشبعة الأحادية (أحادية عدم التشبع)، أما الثلث الأخير فيكون من الدهون المُشبعة ويفضل الإقلال منها بقدر المستطاع. والشكل رقم (64) تركيب الأحماض الدهنية لعدد من الزيوت والدهون، كما أن الجدول رقم (14) يوضح محتوى بعض الأغذية من الدهون الكلية والمشبعة وغير المشبعة.

وقد عرفنا سابقاً أيضاً أن الدهون قد تكون صلبة (كما هو الحال في الشحوم الحيوانية)، أو شبه صلبة (كما هو الحال في الزبد والمارجرين)، أو سائلة (كما هو الحال في الزيوت النباتية)، وقد تكون مرئية (كما هو الحال في كل ما سبق) أو غير مرئية (كما في حالة الأغذية الغنية بالدهون مثل البذور الزيتية والمكسرات والأسماك وفاكهه الأفوكادو).

وكنتيجة لمع عرفناه في الصفحات السابقة ينبغي علينا الحرص على الحصول على الكمية اليومية من الدهون من مصادرها المفيدة المتمثلة في البذور الزيتية المختلفة كالسمسم والذرة ودوار الشمس والمكسرات المختلفة والأسماك والثمار الزيتية كالزيتون وفاكهه الأفوكادو (وجميعها مصادر جيدة للأحماض الدهنية الأساسية)، وفي حالة تناولنا للدهون المرئية يفضل تناول تلك التي تكون بحالة سائلة على درجة حرارة الغرفة كالزيوت النباتية باستثناء زيت جوز الهند وزيت نوى النخيل اللذان يحوي تركيبهما على 75 % من أحماض اللوريك $C_{12:0}$ والميريستك $C_{14:0}$ والبالميتيك $C_{16:0}$ التي تؤدى إلى زيادة مستوى الكولسترول في الدم أكثر من الاستياريك $C_{18:0}$ الذي يتواجد في الدهون التي تكون صلبة على درجة حرارة الغرفة. وبشكل عام ينبغي علينا تجنب الدهون المشبعة والصلبة والدهون المتحولة المشار إليها سابقاً التي تتواجد في الحلويات والمعجنات والمخبوزات. كما يجب علينا التقليل من تناول الأغذية المقلية التي تمتص كميات كبيرة من الزيت أثناء عملية القلي من ما يرفع من محتواها من السُعرات الحرارية من ناحية ناهيك عن أن عملية القلي العميق المتكرر تؤثر على تركيب الأحماض الدهنية وتحولها إلى مركبات ضارة بالصحة.

والشكل التالي يوضح صورة نشرتها إحدى الجمعيات المهتمة بالصحة تُشير (في معنى الصورة) إلى أن ما تمتصه الأغذية المقلية من زيوت تغير تركيبها بفعل عملية القلي العميق يدخل إلى داخل الجسم فيحدث تأثرات ضارة بالصحة. فكأننا نتناول تلك الزيوت التي استُخدمت في عملية القلي.

الشكل رقم (72) عملية القلي العميق للأغذية (يمين)، صورة معبرة عن أن ما تمتصه الأغذية المقلية من مركبات ضارة نتيجة تغير تركيب الأحماض الدهنية بفعل عملية القلي العميق يدخل في النهاية إلى داخل الجسم (يسار).

جدول رقم (14): يوضح محتوى بعض الأغذية من الدهون الكلية والمشبعة وغير المشبعة*

الغذاء	حصة التقديم	الكمية بالجرام	الغذاء	حصة التقديم	الكمية بالجرام
الدهون الكلية					
المايونيز	ملعقة طعام	11	الزيوت النباتية	ملعقة شاي	4,7
الزبد	ملعقة شاي	4	المارجرين	ملعقة شاي	4
السجق	4 قطع	18	البرجر	85 جرام	15
شريحة لحم البقر	85 جرام	9,9	دجاج بدون جلد	85 جرام	4
جمبري مسلوق	85 جرام	1	سمك مفلطح	85 جرام	1
الدهون المشبعة					
المارجرين	ملعقة شاي	2,9	الزبد	ملعقة شاي	2,4
تتبيلة السلطات	ملعقة طعام	1,2	زيت الفول السوداني	ملعقة شاي	0,9
زيت الزيتون	ملعقة شاي	0,7	زيت الكانولا	ملعقة شاي	0,3
جبن الشيدر	28 جرام	5,9	جبن الكوتج	نصف كوب	0,3
حليب كامل الدسم	كوب واحد	5,1	حليب خالي الدسم	كوب واحد	0,3
البرجر	85 جرام	6,7	برجر بالجبن	شطيرة	9,0
دجاج مقلي مع الجلد	85 جرام	3,8	السجق	4 قطع	5,6
لحم الأرنب	85 جرام	3,0	سمك الحَدوق مقلي	85 جرام	3,0
دجاج بدون جلد	85 جرام	1,7	ديك رومي مشوي	85 جرام	2,0
سمك التونة	85 جرام	0,4	فول سوداني محمص	28 جرام	1,9
الدهون غير المشبعة					
زيت الكانولا	ملعقة شاي	4,1	الزيوت النباتية	ملعقة شاي	3,6
المارجرين	ملعقة شاي	2,9	الزبد	ملعقة شاي	1,3
جبن الكوتج	نصف كوب	3,0	جبن الشيدر	28 جرام	2,9
حليب كامل الدسم	كوب واحد	2,8	البرجر	85 جرام	10,9
سمك الحَدوق مقلي	85 جرام	5,6	دجاج بدون جلد	85 جرام	6,0
سمك التونة	85 جرام	0,7	بذور دوار الشمس	28 جرام	16,6
بيضة متوسطة الحجم	بيضة	5,6	فول سوداني	28 جرام	11,3

* المصدر (Brown, Judith; 2011).

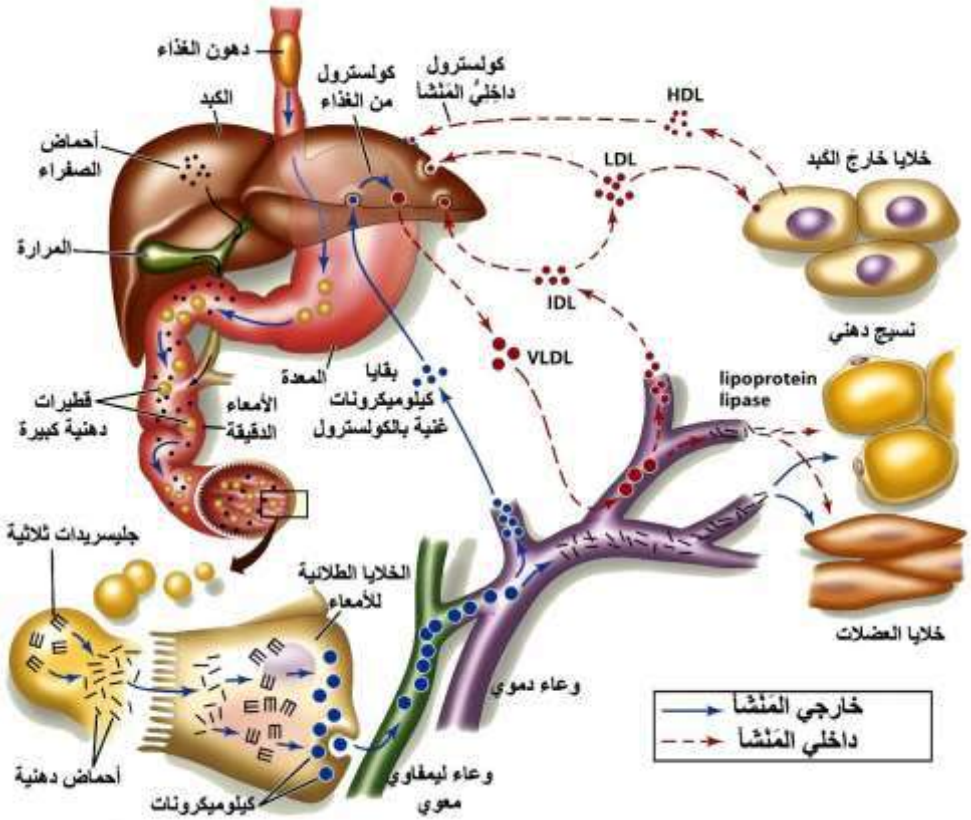
الجدول رقم (15): يوضح محتوى بعض الأغذية من الدهون المتحولة (Trans Fat) والكولسترول والأحماض الدهنية من نوع أوميجا 3*

الغذاء	حصة التقديم	الكمية بالجرام	الغذاء	حصة التقديم	الكمية بالجرام
الدهون المتحولة (الحاوية على روابط مزدوجة في وضع مخالف Trans)					
المارجرين الصلب	ملعقة شاي	1,3	المارجرين الطري	ملعقة شاي	0,1
السَمْن المهدرج	ملعقة شاي	0,3	الزبد	ملعقة شاي	0,1
لحم البقر	85 جرام	0,5	لحم الدجاج	85 جرام	0,1
حليب كامل الدسم	كوب واحد	0,2	الكعك المقليّ بالدهن	قطعة واحدة	3,2
المعجنات الدنماركية	قطعة واحدة	2,9	الكعكة المُحلاّة	قطعتين	1,8
الكيك	شريحة	1,0	البسكويت الناشف	4 قطع	0,5
الكولسترول					
الزبد	ملعقة شاي	10,3	الزيوت النباتية	ملعقة شاي	0,0
المخ	85 جرام	1476	الكبد	85 جرام	470
بيضة متوسطة الحجم	بيضة	212	لحم العِجل	85 جرام	128
الجمبري	85 جرام	107	دجاج بدون جلد	85 جرام	75
سمك السلمون	85 جرام	74	لحم الديك الرومي	85 جرام	65
سمك التونة	85 جرام	25	البرجر	85 جرام	64
لحم الغزال	85 جرام	48	مثلجات (أيس كريم)	كوب واحد	56
حليب كامل الدسم	كوب واحد	34	زبادي منخفض الدهن	كوب واحد	17
الأحماض الدهنية من نوع أوميجا 3					
زيت السمك	ملعقة شاي	2796	سمك الأنشوفة	85 جرام	1747
سمك السلمون (مزارع)	85 جرام	1825	سمك السلمون (بري)	85 جرام	1564
سمك الماكريل	85 جرام	1023	سمك السردين	85 جرام	840
المَحار	85 جرام	375	الجمبري	85 جرام	268
سمك التونة	85 جرام	109	بيضة متوسطة الحجم	بيضة	40

* المصدر (Brown, Judith; 2011).

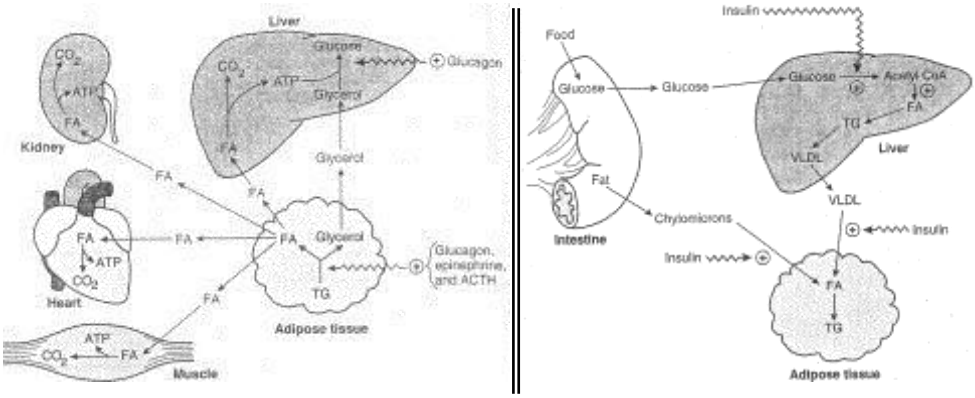
أيض الدهون Fat metabolism:

تخضع الدهون في كلٍ من الكبد والنسيج الدهني لعمليتين متداخلتين ومتكاملتين العملية الأولى هي عملية تصنيع وبناء الدهون في الجسم Lipogenesis حيث يتم تحويل الأغذية المتناولة الغنية بالطاقة التي تزيد عن المتطلبات اليومية الاعتيادية إلى جليسريدات ثلاثية بالدرجة الأولى وتخزن في النسيج الدهني الذي يقع تحت الجلد والبطن وبين العضلات، أما العملية الثانية فهي عملية تحلل وأكسدة الدهون Lipolysis، وهاتان العمليتان مهمتان للمحافظة على مستويات الدهون في الدم من جهة وتزويد الجسم بالطاقة من جهة أخرى، فطالما كانت السُعرات المأخوذة كافية لتلبية متطلبات الطاقة للكائن الحي فسوف لا يكون هناك كسب أو فقد في الدهن المخزن، في حين أنه عند نقص كمية السُعرات المأخوذة يحدث فقد في الدهن المخزن نتيجة عملية تحلل وأكسدة الدهون Lipolysis، أما في حالة الزيادة في كمية السُعرات المُتناولة ينجم عنها زيادة كمية في الدهون المخزنة نتيجة لعملية بناء الدهون في الجسم Lipogenesis.



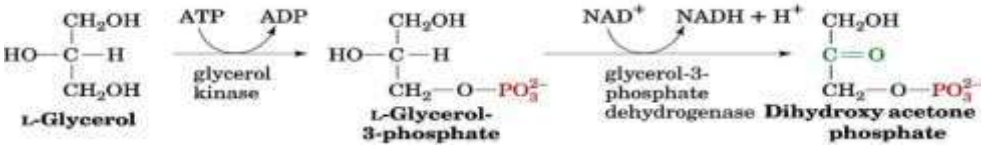
الشكل رقم (73) يوضح العمليات الحيوية التي تجري للدهون في الجسم من هضم وامتصاص ونقل وبناء وخزن وتحلل.

إن الخطوة الأولى في استفادة الجسم من الدهون المخزنة في الأنسجة الدهنية هي تحلل الدهون بإنزيمات الليبيز، فتتحلل الجليسريدات الثلاثية إلى أحماض دهنية حرة FFA وجليسرول، وتؤثر نسبة الجلوكوز في الدم على تركيز الأحماض الدهنية الحرة FFA في مصل الدم، حيث أن الزيادة في نسبة جلوكوز الدم ينتج عنها انخفاض في كميات FFA، والهرمون الذي ينظم هذه العملية هو هرمون الأنسولين الذي يثبط التحلل المائي للدهون، أما عندما يكون جلوكوز الدم أو جلايكوجين الكبد منخفض تزداد كميات FFA في مصل الدم. وهذه العملية تُنظم بواسطة هرمونات الابينيفرين Epinephrine والجلوكاجون Glucagon والأدرينوكورتيكوتروبيك Adrenocorticotropic (ACTH) وجميعها تُنشط عمل إنزيم الليبيز في الخلايا الدهنية.



الشكل رقم (74) تكون وتحلل الدهون في الأنسجة الدهنية، هرمون الأنسولين الذي يثبط التحلل المائي للدهون، ويعمل على تكون الجليسريدات الثلاثية (يمين)، ومجموعة الهرمونات المنشطة لتحلل الجليسريدات الثلاثية (يسار).

تنتقل الأحماض الدهنية المتحررة من الجليسريدات الثلاثية إلى بلازما الدم بواسطة الانتشار السلبي وتحمل بواسطة ألبومين مصل الدم إلى أنسجة الجسم الأخرى، حيث تتأكسد الأحماض الدهنية في ميتوكوندريا خلايا الكبد والقلب والكُلى بواسطـة أكسدة بيتا β-Oxidation، إلى مركب Acetyl CoA الذي يمكن أن يتأكسد من خلال دورة الحامض الثلاثي الكربوكسيل أو ينتقل إلى خارج الميتوكوندريا لبناء مركبات عديدة من ضمنها الأحماض الدهنية. أما الجليسرول المتحرر فينتقل أيضاً إلى بلازما الدم حيث يُسحب بواسطة الكبد، ويتفسفر بواسطة ATP إلى مركب جليسرول 3-فوسفات، ثم يتأكسد ويتحول إلى ثنائي هيدروكسي أسيتون فوسفات الذي يتحول إلى جليسرالديهيد 3-فوسفات ويدخل مسار HDP، أو يتحول في الكبد إلى جلوكوز.

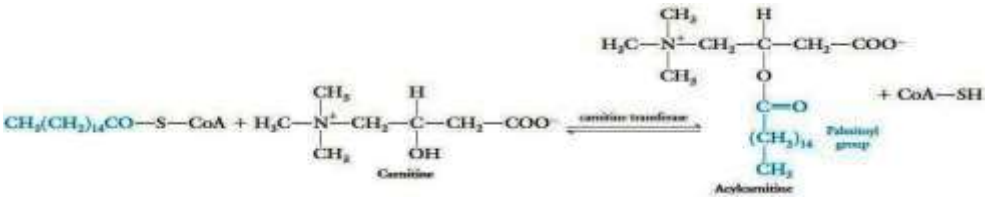


تحدث أكسدة الأحماض الدهنية على ذرة الكربون رقم 3 من الطرف الكربوكسلي وتدعى ذرة الكربون β. ويمكن تلخيص أكسدة بيتا للدهون بما يلي:

1- تحدث اول خطوة في اكسدة الأحماض الدهنية في السيتوبلازم وهى تنشيط الأحماض الدهنية في وجود مرافق الإنزيم أ Coenzyme A (CoA) لتكوين رابطة ثايول أستر Thiol ester بين الحامض الدهني ومجموعة الثايول لمرافق الإنزيم أ (CoA)، بوجود انزيم acyl-CoA Synthetase ويصاحب ذلك استهلاك ATP.

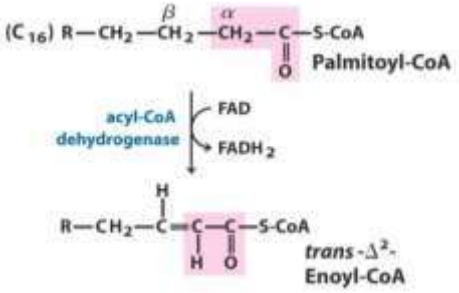
$$CH_3–(CH_2)_{14}–COOH + SH\text{-}CoA \xrightarrow{\text{Acyl-CoA Synthetase}} CH_3–(CH_2)_{14}–CO\text{-}S\text{-}CoA + AMP$$

وفي المثال السابق يُنشط الحامض الدهني بالميتك Palmitate مكوناً Palmitoyl-S-CoA، وتحدث عملية تنشيط الأحماض الدهنية على الغشاء الخارجي للميتوكوندريا في حين يتم أكسدتها في المادة الأساس داخل الميتوكوندريا، لكن لا تستطيع مجاميع الأسايل طويلة السلسلة المرتبطة بالمرافق الإنزيمي أ (مثل Palmitoyl-S-CoA) الانتقال عبر الغشاء الداخلي للميتوكوندريا ولذلك فإن لها نظام نقل خاص حيث تتحد مع حامض أميني يدعى كارْنيتين Carnitine في وجود إنزيم Carnitine Transferase ليكون مركب أسايل كارْنيتين Acylcarnitine ليعبر بدوره الغشاء الداخلي للميتوكوندريا. وفقاً للمعادلة التالية:

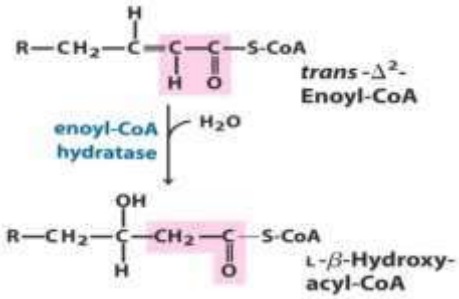


وبعد عبور الأسايل كارْنيتين إلى داخل الميتوكوندريا ينفصل الكارْنيتين عن الحامض الدهني المنشط Acyl-CoA لتتم عملية أكسدة الحامض الدهني المنشط.

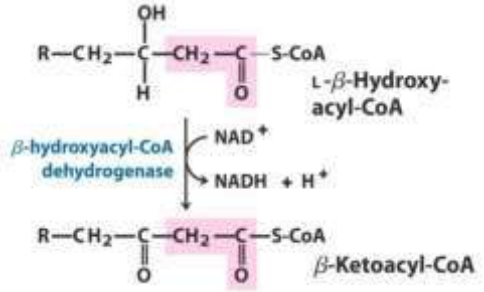
2- ازالة ذرتي هيدروجين من الحامض الدهني المنشط Acyl-CoA (مثال = حامض البالمتيك المنشط Palmitoyl-CoA) بمساعدة انزيم acyl-CoA dehydrogenase (وفي وجود FAD كمستقبل للهيدروجين) لتكوين انويل كو انزيم أ Enoyl CoA.



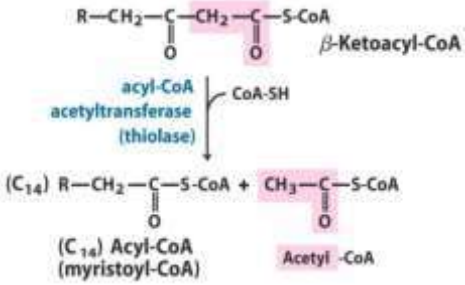
3- اضافة جزئ ماء الى الرابطة المزدوجة غير المشبعة في وجود Enoyl-CoA hydratase في الموقع بيتا لإنتاج β-Hydroxy-acyl-CoA.



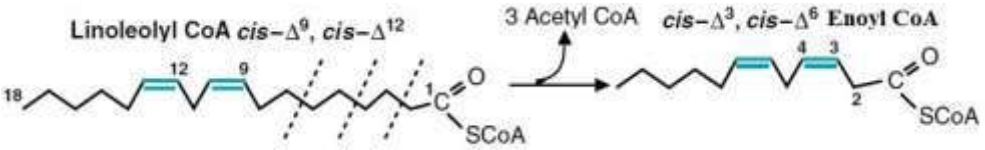
4- نزع ذرتي هيدروجين من مركب β-Hydroxy-acyl-CoA في وجـــــــــــــود إنـــزيم β-Hydroxy-acyl-CoA dehydrogenase و NAD^+ لإنتاج ketoacyl CoA.



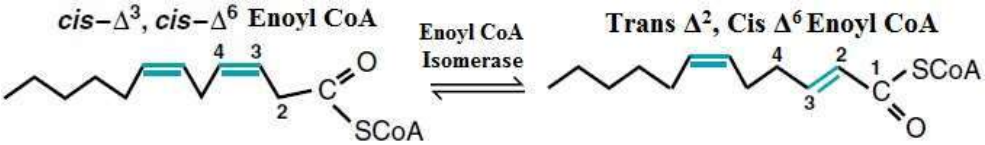
5- يحدث شطر بين ذرة الكربون الفا وبيتا في وجود انزيم acyl-CoA acetyltransferase لتكوين Acetyl CoA الذى يدخل دورة كربس لإنتاج الطاقة، في حين أن الحامض الدهني النشط Myristoyl CoA يتجه الى مسار بيتا ويدخل دورة جديدة، وهكذا دوليك.



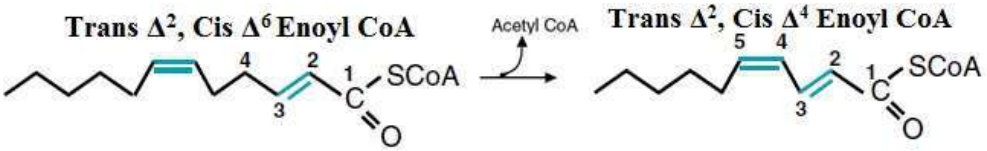
أما أكسدة الأحماض الدهنية غير المشبعة فتحتاج إلى وجود إنزيم الأيزومريز Isomerase. فعند أكسدة حامض اللينوليك $C_{18:2}$ $\Delta^{9,12}$ مثلاً، تتكرر الخطوات المذكورة سلبقاً في ثلاث دورات من أكسدة β وفقاً لما سبق أعلاه حتى يتحول مركب Linoleolyl CoA Cis $\Delta^{9,12}$ إلى مركب Cis $\Delta^{3,6}$ Enoyl CoA.



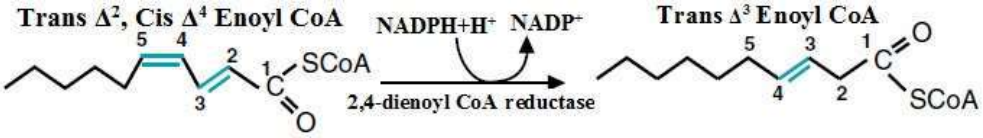
يتحول Cis Δ^{3},Δ^{6} Enoyl CoA إلى Trans Δ^{2}, Cis Δ^{6} Enoyl CoA في وجود إنزيم Enoyl CoA Isomerase كما يلي:



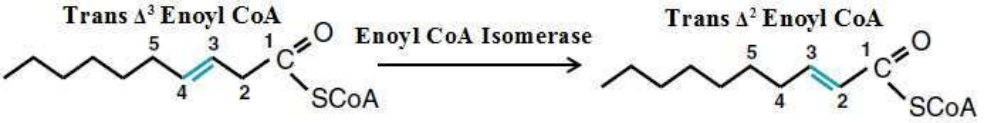
يدخل Trans Δ^{2}, Cis Δ^{6} Enoyl CoA دورة جديدة من أكسدة β ينتج عنها Acetyl-CoA و Trans Δ^{2}, Cis Δ^{4} Enoyl CoA كما يلي:



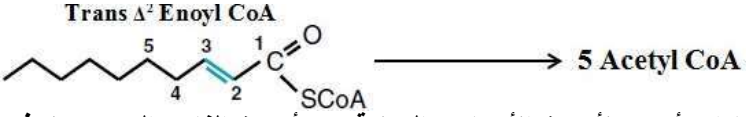
يتحول Trans Δ^{2}, Cis Δ^{4} Enoyl CoA بإنزيم 2,4-dienoyl CoA reductase إلى Trans Δ^{3} Enoyl CoA كما يلي:



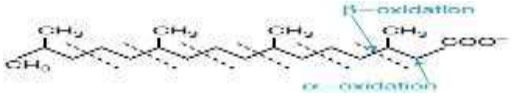
من جديد في جود إنزيم Enoyl CoA Isomerase يتحول Trans Δ^{3} Enoyl CoA إلى Trans Δ^{2} Enoyl CoA كما يلي:



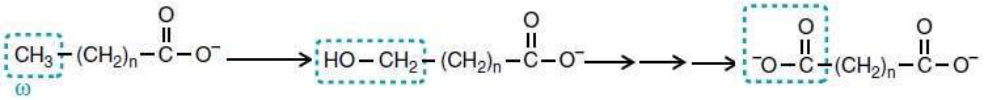
واخيراً يدخل مركب Trans Δ^{2} Enoyl CoA 5 دورات جديدة من أكسدة β.



وهناك مسارات أخرى لأكسدة الأحماض الدهنية هي أكسدة الفا α التي تحدث في خلايا المخ وفي كل دورة منها إلى إزالة مجموعة الكربوكسيل على هيئة CO_2.



وكذلك أكسدة أوميجا ω التي تحدث في خلايا الكبد وفيها تتأكسد مجموعة الميثايل الطرفية إلى مجموعة هيدروكسي ميثايل أو مجموعة ألدهيد أو كربوكسيل. لكن هذه الأنواع من الأكسدة سواء α أو ω قليلة الحدوث مقارنة بأكسدة β.



إن جميع الخلايا الجسم تستطيع اكسدة الاحماض الدهنية وانتاج الطاقة فيما عدا كريات الدم الحمراء والجهاز العصبي المركزي حيث يعتبر الجلوكوز مصدر الطاقة الوحيد بالنسبة للجهاز العصبي المركزي وخلايا المخ.

الطاقة الناتجة من أكسدة بيتا β-Oxidation للأحماض الدهنية:

- ينتج من أكسدة بيتا β-Oxidation للأحماض الدهنية في كل دورة: جزئ واحد Acetyl-CoA وجزئ $FADH_2$ وجزئ NADH ويحتاج حامض البالمتيك (حامض دهني مشبع $C_{16:0}$) لأكسدته اكسدة كاملة الى سبع دورات لتحويله الى ثمانية جزيئات Acetyl- CoA.

$$Palmitoyl\text{-}CoA + 7\ CoA + 7FAD + 7NAD^+ + 7H_2O \rightarrow 8actyl\text{-}COA + 7FADH_2 + 7NADH + 7H^+$$

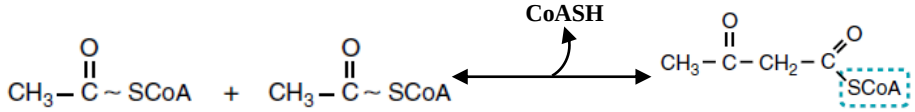
- كل جزئ Actyl-CoA يعطى 12 جزئ من الـ ATP، والناتج لأكسدة حامض البالمتيك أكسدة كاملة تساوي 96 (8 X 12) جزئ من الـ ATP.
- كل جزئ $FADH_2$ يعطى (2 X 7 = 14) جزئ من الـ ATP.
- كل جزئ NADH يعطى (3 X 7 = 21) جزئ من الـ ATP.
- النتيجة الكلية: (96 + 14 + 21 = 131) جزئ من الـ ATP.
- يحتاج حامض البالمتيك لتنشيطه 2 جزئ من الـ ATP فيكون صافى الناتج من الـ ATP هو (131 - 2 = 129) جزئ من الـ ATP.

فَرْطُ كيتون الدَّم Ketosis:-

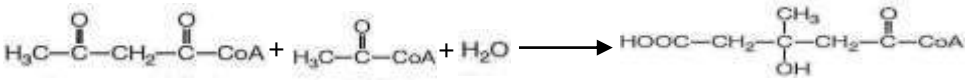
إن أكسدة الأحماض الدهنية لاستخدامها كمصدر للطاقة يحدث بمعدل سريع مما يودي إلى تراكم عدد من المركبات الوسطية التي لا يمكن للجسم أن يتحملها، حيث يودي تراكمها إلى حدوث الجفاف وفقدان الصوديوم من الجسم وكذلك زيادة غير طبيعية في الأجسام الكيتونية أو ما يعرف بالكيتوزية Ketosis (فَرْطُ كيتون الدَّم) مما يرفع حموضة الدم، وتقوم الكربوهيدرات بدور مهم في تنظيم أيض الدهون ومعادلة توازن حموضة الدم، وقد تبين أنه يلزم وجود جزيء من الجلوكوز لأكسدة جزيء من الأحماض الدهنية.

وتنتج الأجسام الكيتونية في الكبد من أكسدة مركب أستيل مرافق الإنزيم أ Acetyl-CoA الناتج بوفرة في عملية أكسدة الأحماض الدهنية في حال ارتفاع أيض الدهون وانخفاض أيض الكربوهيدرات حيث يتجه Acetyl-CoA إلى تكوين هذه الأجسام الكيتونية (بدلاً من اتجاهه إلى دورة الحامض ثلاثي الكربوكسيل TCA في الحالة الطبيعية) بسبب الاختلال بين معدل تكوينه وتواجد مركب الأُوكْسالُوآسيتات Oxaloacetate الذي يتحد معه للدخول دورة الحامض ثلاثي الكربوكسيل TCA، كما يحدث نتيجة الإصابة بالداء السكري أو في حالات المجاعة.

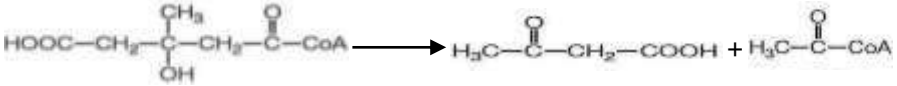
في الخطوة الأولى لتكوين الأجسام الكيتونية يتكاثف جزيئين من أستيل مرافق الإنزيم أ ليتكون مركب اسيتوأستيل مرافق الإنزيم أ Acetoacetyl-CoA في وجود إنزيم Thiolase:



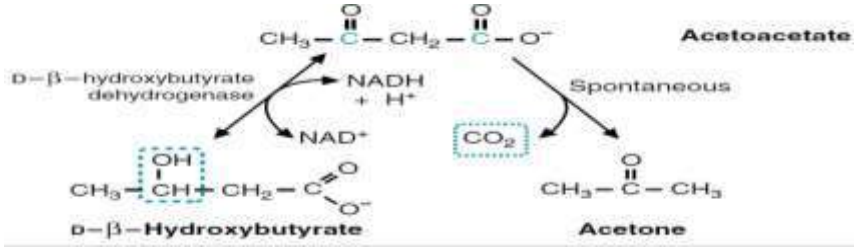
في الخطوة الثانية يتفاعل مركب أسيتوأستيل مرافق الإنزيم أ مع أستيل مرافق الإنزيم أ والماء ليعطي مركب 3- هيدروكسي -3- مثيايل جلوتاريل مرافق الإنزيم أ (HMG CoA) 3–Hydroxy–3–methyl glutaryl CoA في وجود إنزيم HMG CoA synthase:

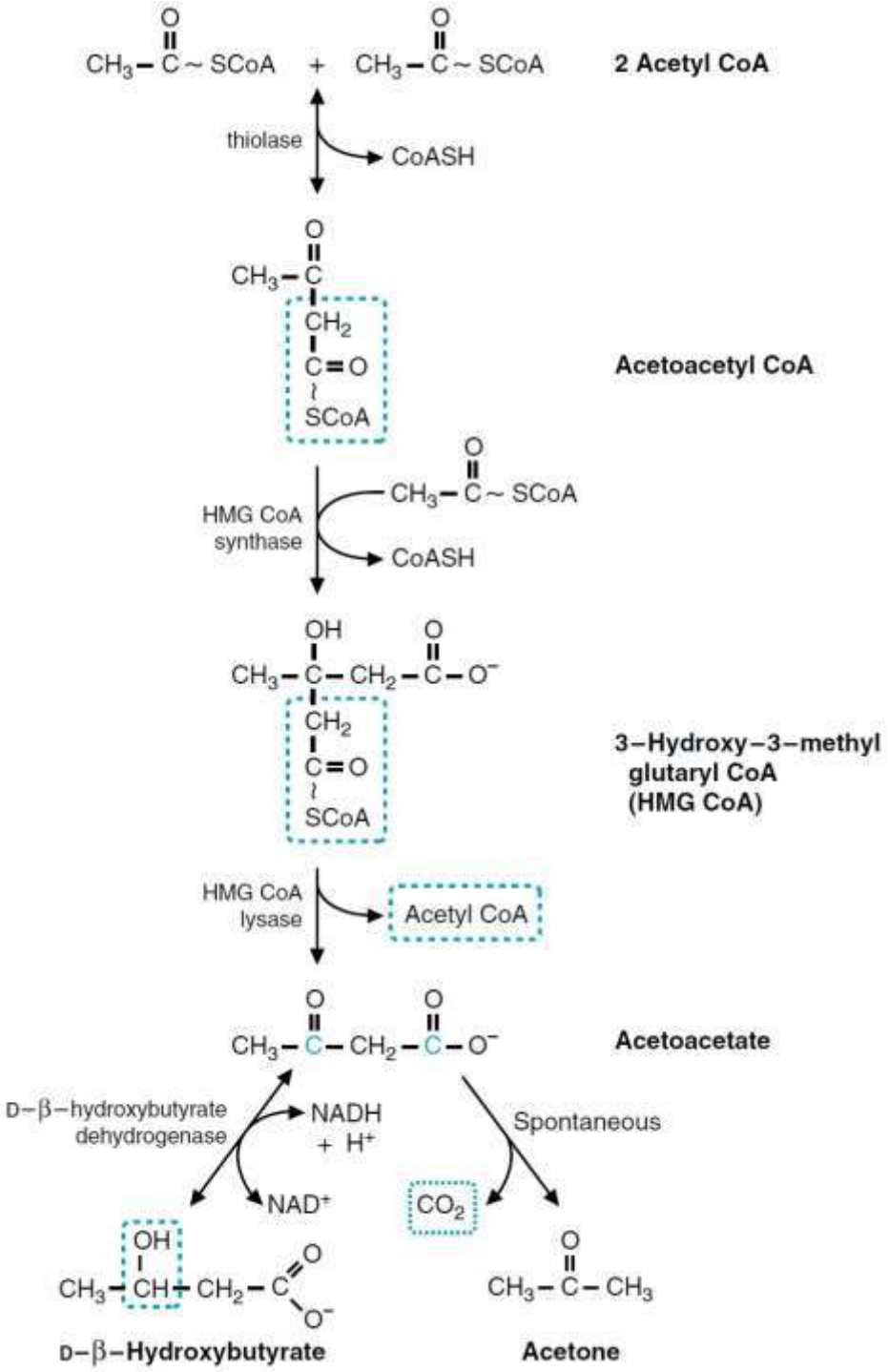


بعدها يتفكك مركب 3- هيدروكسي -3- مثيايل جلوتاريل مرافق الإنزيم أ في وجود إنزيم HMG CoA lysase ليعطي أستيل مرافق الإنزيم أ وأسيتوأستات كالتالي:

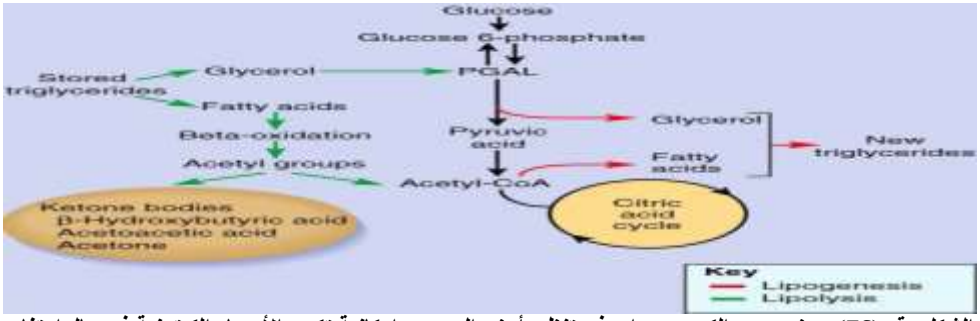


في الخطوة الأخيرة يُختزل مركب أسيتوأستات Acetoacetate في المادة الأساس في الميتوكوندريا ليكون مركب β- هيدروكسي بيوترات β-Hydroxybutyrate في وجود إنزيم β-Hydroxybutyrate dehydrogenase. وتعتمد نسبة مركب β- هيدروكسي بيوترات إلى مركب أسيتوأستات على نسبة NADH إلى NAD^+ داخل الميتوكوندريا. كما أن مركب أسيتوأستات يتحول تلقائياً Spontaneous إلى أسيتون Acetone لكن بشكل بطيء.





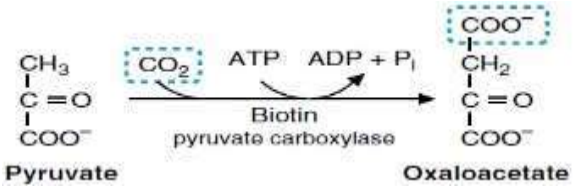
الشكل رقم (75) إنتاج الأجسام الكيتونية نتيجة تراكم مركب Acetyl-CoA الناتج من عملية أكسدة الأحماض الدهنية.



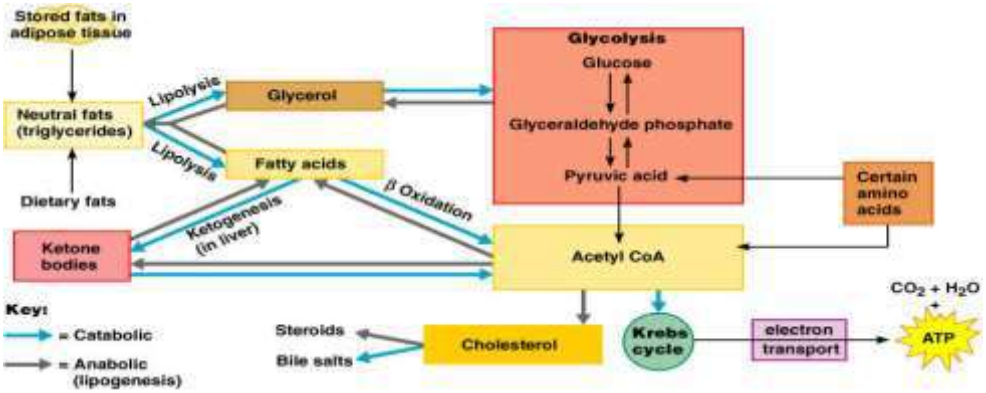
الشكل رقم (76) يوضح دور الكربوهيدرات في تنظيم أيض الدهون وإمكانية تكون الأجسام الكيتونية في حال ارتفاع أيض الدهون وانخفاض أيض الكربوهيدرات حيث يتجه Acetyl-CoA إلى تكوين هذه الأجسام الكيتونية بدلاً من اتجاهه في الحالة الطبيعية إلى دورة الحامض ثلاثي الكربوكسيل (حامض الستريك).

وقد تودي حالة فَرْطُ الأجسام الكيتونية بالدَّم (الكيتوزية Ketosis) الشديدة إلى الغيبوبة Coma ومن ثم إلى الوفاة، ولتلافي هذه الحالة ينصح بتناول الكربوهيدرات (100 جرام/يوم) وكذلك أخذ الأنسولين بشكل منتظم في حالة مرضى الداء السكري.

وفي أيض الكربوهيدرات يُنتج مركب البيروفات الذي يتحول إلى أُوكْسالُوآسيتات في وجود إنزيم Pyruvate carboxylase والبايوتين (أحد مجموعة فيتامينات B المركبة).



وهنا يتحد الأُوكْسالُوآسيتات Oxaloacetate مع أستيل مرافق الإنزيم أ Acetyl-CoA الناتج بوفرة في عملية أكسدة الأحماض الدهنية ويتكون مركب السترات وتبدأ هنا دورة الحامض ثلاثي الكربوكسيل TCA. وبالتالي فإن الكربوهيدرات ضرورية لتنظيم أيض الدهون.



الشكل رقم (77) يوضح التداخل بين مسارات أيض الدهون ومسارات ايض الكربوهيدرات ودخول الأحماض الأمينية في هذه المسارات، عن (Marieb and Hoehn, 2006).

الفصل الخامس

البروتينات: أغذية البناء والتجديد

Proteins: Building and Restoration Food

أغذية البناء والتجديد:

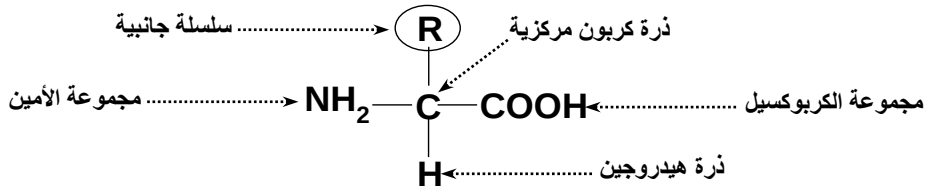
هناك ثلاثة من العناصر الغذائية وهي الدهون (وهو ما تعرفنا عليه في الفصل السابق) وبعض العناصر المعدنية (انظر الفصل السابع) إضافة إلى البروتينات جميعها تعتبر من أغذية البناء والتجديد لخلايا الجسم التي تحتوي على أنواع كثيرة من البروتينات البنائية والوظيفية، كما أن جُدر هذه الخلايا تتكون من مواد دهنية تحتوي على أحماض دهنية غير مشبعة لا يمكن تكوينها داخل جسم الإنسان، إضافة إلى النسيج العصبي الذي يحتوي على كميات كبيرة من البروتينات والدهون، كما أن الكالسيوم وهو من العناصر المعدنية ضروري لتكوين الهيكل العظمي، والحديد اللازم لتكوين الهيموجلوبين في الدم، إضافة إلى بعض السكريات الخماسية التي تدخل في بناء المركبات الخلوية المهمة، وعليه ينبغي أن يزود الغذاء الإنسان بهذه العناصر الغذائية التي يفقدها الجسم باستمرار ولا سبيل لتعويضها سوى الغذاء الذي يتناوله والذي ينبغي أن يكون متوازناً وحاوياً على ما يحتاجه دون زيادة أو نقصان.

والبروتينات مركبات عضوية معقدة ذات أوزان جزيئية عالية وقوام غروي ناتج عن كبر جزيئاتها، وتحتوي في تركيبها على نسب ثابتة تقريباً من النيتروجين تتراوح بين 14 – 18 % إضافة إلى احتوائها على الكربون 50 – 55 % والهيدروجين 6 – 8 % والأكسجين 20 – 23 %، كما أن معظمها يحتوي على الكبريت بنسب تتراوح بين 0 – 4 % وبعضها قد يحتوي على عناصر معدنية أخرى كالفسفور والحديد.

وكلمة بروتين كلمة إغريقية تعني (في المقام الأول Comes first) وأول من أطلق هذه التسمية هو الكيميائي السويدي جونز برزيليوس Jons Berzelius في عام 1838م، لاعتقاده أن البروتينات هي أهم المركبات العضوية، فهي ضرورية للحياة وبقائها، حيث أنها تدخل في بناء خلايا الجسم وأنسجته المختلفة وصيانتها، كما تدخل في تركيب الإنزيمات وبعض الهرمونات. تشكل البروتينات ما يساوي 16 % من وزن الإنسان البالغ، نصف هذه الكمية توجد في العضلات. وهناك نوعين من البروتينات ينبغي التفريق بينهما وهما:

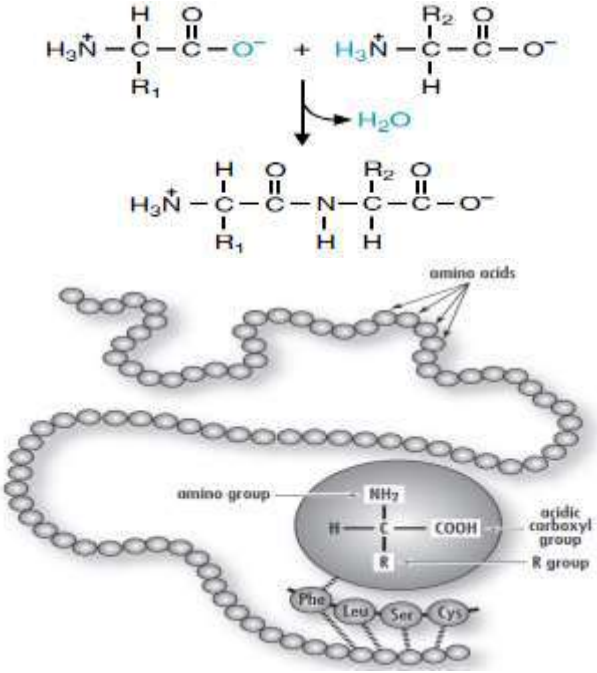
1. **البروتين الخارجي الذي يحصل عليه الجسم من مصادر غذائية خارج الجسم.**
2. **البروتين الداخلي وهو البروتين المشتق من أنسجة الجسم نتيجة لهدم بروتينات الأنسجة والخلايا في الجسم.**

تحتوى البروتينات على مجموعات متعددة من المركبات التي تتشابه في تركيبها العام من حيث أنها تتكون من وحدات بنائية هي الأحماض الأمينية المرتبطة مع بعضها بروابط ببتيدية Peptide bonds (والرابطة الببتيدية هي التي تربط بين مجموعة الأمين Amine group (NH_2) في حامض أميني ومجموعة الكربوكسيل Carboxyl group (COOH) في حامض أميني آخر) ولكنها تختلف في درجة التعقيد وعدد وطريقة ارتباط هذه الأحماض الأمينية. والشكل التالي يوضح تركيب الأحماض الأمينية.



الشكل رقم (78) يوضح تركيب الأحماض الأمينية.

تتحد الأحماض الأمينية مع بعضها مكونة سلسلة من عديد الببتيد من خلال أواصر تُعرف بالأواصر أو الروابط الببتيدية، ويوضح الشكل التالي تلك الرابطة الببتيدية التي تربط بين مجموعة الأمين في حامض أميني ومجموعة الكربوكسيل في حامض أميني آخر.



الشكل رقم (79) يوضح الرابطة الببتيدية التي تربط بين مجموعتي الأمين الكربوكسيل في الأحماض الأمينية (أعلى). وترابط الأحماض الأمينية مكونة سلسلة من عديد الببتيد (أسفل).

وتصنف الأحماض الأمينية إما كيميائياً أو تغذوياً.

التصنيف الكيميائي للأحماض الأمينية:

1- الأحماض الأمينية الأليفاتية ذات السلاسل الجانبية الهيدروكربونية (الحاوية على ذرات الهيدروجين والكربون فقط)، وتشمل جلايسين Glycine، ألانين Alanine، فالين Valine، ليوسين Leucine، وأيزوليوسين Isoleucine.

2- أحماض أمينية كحولية بسلاسل جانبية حاوية على مجموعة هيدروكسيل، وتشمل سيرين Serine، وثريونين Threonine.

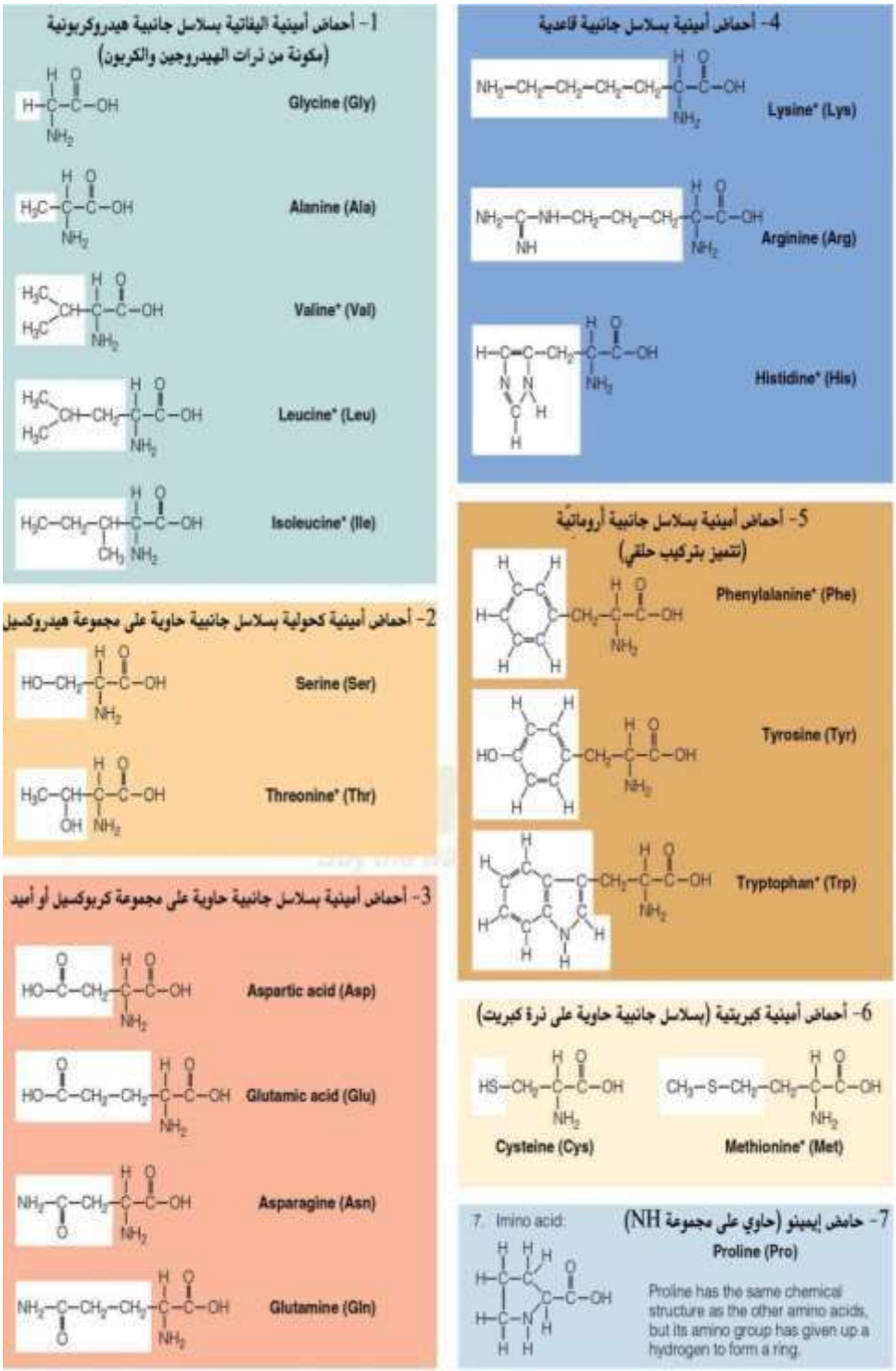
3- أحماض أمينية بسلاسل جانبية حاوية على مجموعة كربوكسيل وتشمل حامض الاسبارتيك Aspartic acid، حامض الجلوتاميك Glutamic acid، أو حاوية على مجموعة أميد، وتشمل الاسبارجين Asparagine، والجلوتامين Glutamine.

4- أحماض أمينية بسلاسل جانبية قاعدية، وتشمل لايسين Lysine، أرجنين Arginine، وهيستيدين Histidine.

5- أحماض أمينية بسلاسل جانبية أَروماتِيّة (تتميز بتركيب حلقي)، وتشمل فينيل اللأنين Phenylalanine، تيروسين Tyrosine، وتربتوفان Tryptophan.

6- أحماض أمينية كبريتية (بسلاسل جانبية حاوية على ذرة كبريت)، وتشمل سيستين Cysteine، ومثيونين Methionine.

7- حامض إيمينو (حاوي على مجموعة NH وليس NH_3) وتشمل حامض البرولين Proline فقط والذي له نفس التركيب الكيميائي للأحماض الأمينية الأخرى لكن مجموعة الأمين NH_3 الخاصة فقدت ذرتي هيدروجين لتدخل في تشكيل الحلقة في هذا الحامض الأميني وبذلك يصبح حامض إيمينو.



الشكل رقم (80) الأحماض الأمينية وتصنيفها حسب صفاتها الكيميائية، عن (Whitney and Rolfes, 2008).

التصنيف التغذوي للأحماض الأمينية:

1- الأحماض الأمينية الأساسية Essential or Indispensable Amino Acids: هي الأحماض الأمينية التي لا يمكن للإنسان أن يكونها داخل الجسم أو على الأقل لا يمكن تكوينها بالكميات اللازمة التي يحتاجها. وعلى هذا الأساس يجب أن تتوفر في الغذاء أما في صورة أحماض أمينية حرة أو تكون من مكونات البروتين الغذائي، ويسبب نقص تناولها أضرار بالجسم، ولذلك لابد من توفرها في الأغذية التي يتناولها الإنسان و الحيوان، وقد وجد أن هناك عشرة أحماض أمينية ضرورية لنمو الأطفال، بينها تسعة أحماض منها فقط أساسية للإنسان البالغ، والأحماض الأساسية للإنسان البالغ هي:

لايسين Lysine	**مثيونين Methionine**
ليوسين Leucine	**ثريونين Threonine**
ايزوليوسين Isoleucine	**فالين Valine**
تريبتوفان Tryptophan	**فنيل ألانين Phenylalanine**
هستدين Histidine	

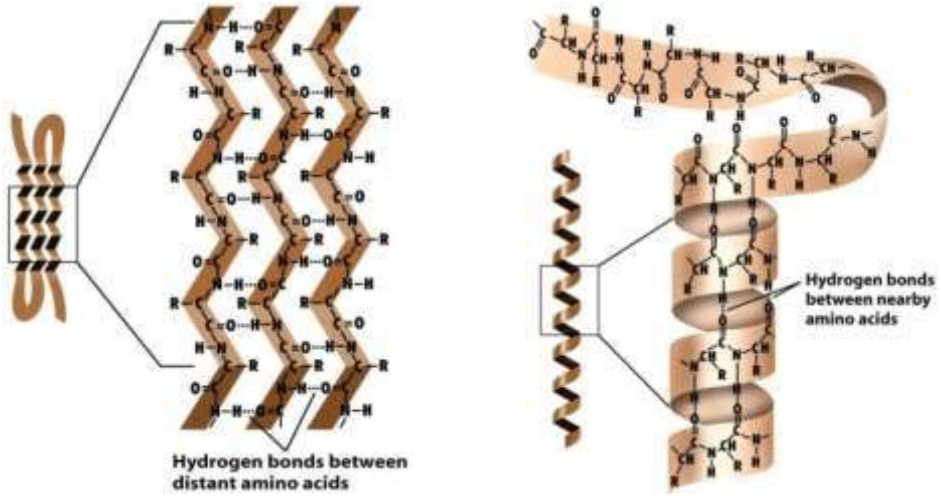
وقد كان عدد الأحماض الأمينية الأساسية عند البالغين ثمانية أحماض حتى ثبت أن الهستدين ضروري حيث لا يتم تصنيعه بكميات كافية. ثم أُضيف إلى هذه الأحماض التسعة حامض الأرجنين Arginine الذي يعتبر ضرورياً للنمو عند الأطفال. إن معظم هذه الأحماض الأمينية الأساسية موجودة في البروتينات الحيوانية ولذلك فإن قيمة الغذائية أعلى من البروتينات النباتية، وعموماً يستحسن التنوع الأغذية البروتينية نظراً لتفاوت نسب الأحماض الأمينية الأساسية.

2- الأحماض الأمينية غير الأساسية Non-essential or Dispensable Amino Acids: هي الأحماض الأمينية التي يمكن الاستغناء عنها Dispensable Amino Acids حيث يمكن للكائن الحي أن تكونها بالقدر اللازم له من مركبات أخرى، إذ يستطيع الجسم أن يحصل على الهيكل الكربوني لهذه الأحماض من النواتج الوسطية لتمثيل الكربوهيدرات والدهون ثم يضيف المجموعة الأمينية التي يمكن أن يكون مصدرها إما الأمونيا أو حامض أميني أخر، ولا يسبب نقص تناولها أضرار للجسم.

بنية وتركيب البروتينات:

يتألف البروتين من سلاسل ببتيدية مؤلفة من ترابط الأحماض الأمينية تلتف فيما بينها مكونة بنية ثلاثية الأبعاد فريدة تميز كل بروتين عن البروتينات الأخرى، ويتحدد تركيب البروتين حسب ترتيب الأحماض الأمينية في عملية الترابط التي تشكل السلاسل البروتينية، ولكي تكتسب البروتينات شكلها النهائي المتمثل ببنيته ثلاثية الأبعاد فإنه يمر بمراحل متتالية كالتالي:

- **تكوين البنية الأولية (Primary) والتي تتحدد من خلال ترابط الأحماض الأمينية فيما بينها بتسلسل معين ثابت من حيث العدد والتتابع لكل بروتين.**
- **تكوين البنية الثانوية (Secondary) وتتألف من بنى ثانوية تتشكل من التفاف السلاسل الببتيدية على بعضها بحيث تأخذ الشكل الحلزوني المسمى حلزونات ألفا α-helix أو الصفائح المنطوية بيتا β-pleated sheet. إن الشكل الحلزوني ألفا بناء شبه عصوي حيث تلتف السلسلة الببتيدية حول نفسها وتمتد المجاميع الطرفية (R) للأحماض الأمينية بعيداً عن محور الحلزون، كما تقوم الروابط الهيدروجينية بين مجاميع NH و CO الموجودة في السلسلة بإضفاء الاستقرار على الشكل الحلزوني، أما الصفائح المنطوية بيتا فتختلف عن الشكل الحلزوني ألفا في كون استقرار الصفائح المنطوية يتم بين مجاميع NH و CO الموجودة في السلاسل الببتيدية المختلفة وليس ضمن نفس السلسلة الببتيدية كما هو الحال في حلزونات ألفا.**

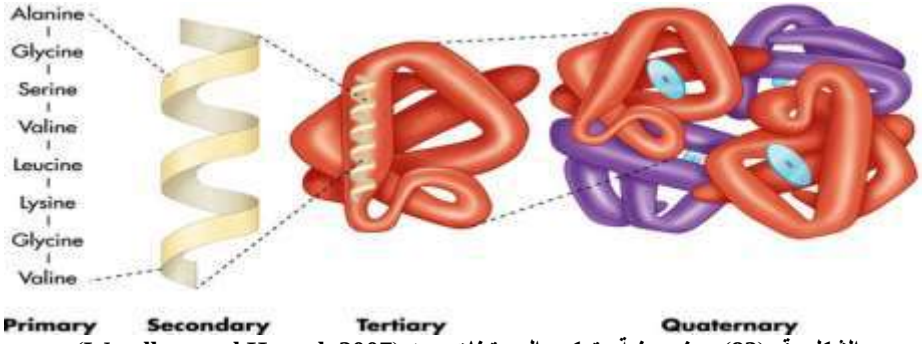


الشكل رقم (81) يوضح الشكل الحلزوني α-helix (يمين) والصفائح المنطوية بيتا β-pleated sheet (يسار).

- **تكوين البنية الثالِثِيّة (Tertiary) وهي ما يحدد شكل البروتين النهائي ، تتألف من اجتماع البنى الثانوية للبروتين (α-helix و β-pleated sheet) بمجموعة من القوى والتفاعلات المختلفة لتعطي الشكل النهائي للبروتين، وتتمثل هذه القوى والتفاعلات بما يلي:**

– التفاعلات الكارهة للماء Hydrophobic التي تشكل القوة الرئيسة في تثبيت البنية الثالِثِيّة Tertiary لجميع البروتينات.
– الروابط ثنائية الكبريت (S-S) المتواجدة في بعض البروتينات.
– الروابط الهيدروجينية بين السلاسل الجانبية القطبية (وهي نادرة نسبياً).
– الروابط الأيونية وهي أيضاً نادرة.

- تكوين البنية الرباعية (Quaternary) وهي مصطلح يدل على البنية التي تكونها اتحاد بروتينين أو أكثر في ما يسمى الوحدة البروتينية، مثل الهيموجلوبين Hemoglobin الذي يتكون من أربع وحدات من البنى الثالِثِيّة Tertiary لذا فهو من البروتينات التي تمتلك بنية رباعية Quaternary، كما يتضح من الشكل التالي:



الشكل رقم (82) يوضح بنية وتركيب البروتينات، عن (Wardlaw and Hampl, 2007).

ولتقسيم البروتينات هناك أكثر من طريقة، وتعتبر طريقة تقسيم البروتينات حسب مصدرها إلى بروتينات حيوانية أو بروتينات نباتية إحدى هذه الطرق لتقسيم البروتينات كما أن تقسيم البروتينات تبعاً لصفاتها الغذائية (التي ذُكرت سابقاً) هي أيضاً من طرق تقسيم البروتينات، وكذلك يمكن تقسيم البروتينات تبعاً لصفاتها الفيزيائية والكيميائية وذلك كالتالي:

1- <u>البروتينات البسيطة</u>: وهي البروتينات التي تحتوي الأحماض الأمينية، وعند تحللها بالإنزيمات أو القواعد أو الأحماض ينتج عن ذلك أحماض أمينية فقط، ومن أمثلتها:

أ- الألبومينات Albumins: ومن أمثلتها ألبومين بلازما الدم وألبومين البيض وألبومين الحليب، وهذه البروتينات تذوب في الماء وتتخثر بالحرارة.

ب- الجلوبيولينات Globulins: ومن أمثلتها جلوبيولينات بلازما الدم وجلوبيولينات البيض وجلوبيولينات الحليب، وكذلك بروتين المايوسين Myosin في العضلات، وهذه البروتينات قليلة الذوبان في الماء لكنها تذوب في محاليل أملاح القواعد القوية أو الأحماض القوية.

ج- الجلوتيلنات Glutelins: وهذه البروتينات توجد في النباتات فقط ومن أمثلتها جلوتيلن Glutelin القمح واوريزنين Oryzenin الأرز، وهذه البروتينات تذوب في القواعد والأحماض المخففة ولا تذوب في المذيبات المتعادلة.

د- البرولامينات Prolamins: وهذه البروتينات أيضاً توجد في النباتات فقط ومن أمثلتها جليادين Gliadin القمح وزين Zein الذرة وهوردين Hordein الشعير، وهي تذوب في الكحول (70 – 80 %)، لكنها لا تذوب في الكحول المطلق أو الماء أو المذيبات المتعادلة.

ه- الاسكليروبروتينات Scleropoteins: وتسمى أيضاً الألبومينويدات Albuminoids وهذه البروتينات توجد في الحيوانات فقط مثل بروتين الكِراتين Keratin في الشعر والقرون والحوافر والعظام وكذلك بروتين الكولاجين Collagen في الأنسجة الرابطة وبروتين المايوسين Myosin في العضلات وبروتين الفبرين Fibrin (جلطة الدم Blood clot)، وهذه البروتينات غير قابلة للذوبان في الماء أو المذيبات الأخرى أو القواعد أو الأحماض.

و- البروتامينات Protamins: وتوجد هذه البروتينات في الخلايا متحدة مع الأحماض النووية Nucleic acids وهي غنية بالأحماض الأمينية القاعدية مثل الأرجنين Arginine الذي تبلغ نسبته فيها (70 – 80 %)، وهي ذائبة في الماء.

ز- الهستونات Histones: وهذه البروتينات توجد في الحيوانات فقط وهي غنية بالأحماض الأمينية القاعدية اللايسين Lysine والأرجنين Arginine، وهي ذائبة في الماء والأحماض أو القواعد المخففة (باستثناء محلول الأمونيا).

2- <u>البروتينات المرتبطة</u>: وهي بروتينات بسيطة مرتبطة بمواد أخرى غير بروتينية، من أمثلتها:

أ- البروتينات النووية Nucleoproteins: تتكون من ارتباط البروتينات بالأحماض النووية (DNA و RNA)، وتوجد في نواة الخلية والحيوانات المنوية.

ب- البروتينات السكرية Glycoproteins: تتكون من ارتباط البروتينات مع السكريات، ومن أمثلتها الميوسين Mucin في الإفرازات المخاطية.

ج- البروتينات الدهنية Lipoproteins: تتكون من ارتباط البروتينات مع الدهون، وتوجد في الدم حيث تعتبر الناقلات الرئيسة للدهون في الدم، كما توجد في نواة الخلية والدماغ والأنسجة العصبية وصفار البيض والحليب.

د- البروتينات الفوسفورية Phosphoproteins: تتكون من ارتباط البروتينات مع الفوسفور، مثل كازين Casein في الحليب.

ه- البروتينات الملونة Chromoproteins: تتكون من ارتباط البروتينات مع الصبغات، مثل الهيموجلوبين Hemoglobin والسيتوكروم Cytochrom والكلوروفيل وغيرها.

و- البروتينات المعدنية Metalloproteins: تتكون من ارتباط بروتين مع عنصر معدني مثل النحاس أو الحديد أو الزنك، ومن أمثلتها الإنزيمات المحتوية على عناصر معدنية.

3- <u>البروتينات المشتقة</u>: وهي عبارة عن أجزاء ذات أحجام مختلفة مشتقة من البروتينات ناتجة عن تحلل البروتينات البسيطة والبروتينات المرتبطة، ومن أمثلتها، البروتيوزات Proteoses والببتونات Peptones والببتيدات المتعددة Polypeptides.

وظائف البروتينات:- تتلخص وظائف البروتينات بالنسبة لجسم الإنسان بما يلي:

1- بناء أنسجة الجسم وصيانتها: تتمثل أهم وظائف البروتينات في بناء أنسجة جديدة في الجسم وإصلاح الأنسجة التالفة فيه، ومن الأمثلة على ذلك تكوين العضلات والغدد والأعضاء المختلفة في الجسم وتشكيل المكونات الرئيسية لنخاع العظام والأسنان ومصل وخلايا الدم، وكذلك نمو الشعر والأظافر والجلد، إضافة إلى تكوين البروتينات التركيبية في الجسم مثل بروتين الكولاجين Collagen الذي يربط الخلايا مع بعضها، كما تستخدم بروتينات الغذاء في إصلاح أنسجة الجسم التالفة وترميمها ومن الأمثلة على ذلك كما سبق الإشارة إلى ذلك تعويض الأنسجة المبطنة للأمعاء حيث تتجدد كل 4 إلى 6 أيام.

2- تكوين مركبات رئيسة يحتاجها الجسم: ومن أمثلتها الإنزيمات والهرمونات وبروتينات المناعة وبروتينات الدم التي تنظم نقل العناصر الغذائية من خلال جدران الأمعاء إلى الدم ومنه إلى أنسجة الجسم المختلفة مثل الهيموجلوبين Hemoglobin المهم في عملية نقل الأكسجين وثاني أكسيد الكربون، والترانسفيرين Transferrin الذي يقوم بنقل الحديد واللبيوبروتينات Lipoproteins التي تقوم بنقل الدهون، وكذلك البروتينات القابلة للانقباض مثل بروتينات الأكتين Actin والمايوسين Myosin المسئولين عن انقباض العضلات وانبساطها.

3- وظائف خاصة لبعض الأحماض الأمينية: بالإضافة إلى كون الأحماض الأمينية هي الوحدات البنائية للبروتينات، فإن بعض الأحماض الأمينية لها وظائف فريدة في جسم الإنسان، فالتربتوفان Tryptophan يعمل كطلائع (مولد) لفيتامين B_3 (النياسين) وكذلك طلائع للسيرُوتُونين Serotonin وهو عبارة عن هرمون وناقِلٌ عَصَبِيّ فعَّال، وكذلك الجلايسين Glycine والذي يعد حامض أميني واسِعُ الانْتِشار يدخل في بناء بُرفيرِين Porphyrin ونواة (مركز) الهيموجلوبين Nucleus of haemoglobin وكجزء أساسي من أحماض الصفراء Bile acids كما يتحد مع عدد من المواد السامة لتحويلها إلى مواد أقل سمية يتخلص منها الجسم، كما أن الهستدين Histidine يكون مادة الهيستامين Histamine الموسع للأوعية الدموية، في حين أن حامض الجلوتاميك Glutamic فيعمل كطلائع للنواقل العصبية، أما الفينيل الألنين Phenylalanine فيعمل كطلائع للحامض الأميني تيروسين Tyrosine الذي يعمل كطلائع لصبغات الشعر والجلد ويعملان (التيروسين والفينيل الألنين) معاً في تكوين هرموني الثيروكسين والأبِينيفرِين Thyroxine and epinephrine.

4- مصدر للطاقة: تعتبر البروتينات مصدر ثانوي يمد الجسم بالطاقة على حساب بناء أنسجة الجسم وصيانتها عندما تكون السعرات الناتجة من الكربوهيدرات والدهون غير كافية، لكن البروتينات إضافة إلى أنها مصدر أكثر كلفة مقارنة بالكربوهيدرات والدهون، فهي مرهقة للكُلى كما أنها تكلف الجسم قدراً من الطاقة لطرح نواتج أيض البروتين خارج الجسم.

5- <u>المحافظة على الرقم الهيدروجيني (pH) في سوائل الجسم</u>: تقوم البروتينات بالمحافظة على الرقم الهيدروجيني للجسم في وضع متعادل (pH=7.2)، حيث تحتوي البروتينات على مجموعة الكربوكسيل (COOH) ذات الطبيعة الحامضية ومجموعة الأمين (NH_2) ذات الطبيعة القاعدية، وبذلك يمكن أن تعمل البروتينات داخل الجسم كأحماض أو قواعد حسب الحاجة، ففي حالة احتواء سوائل الجسم على كمية كبيرة من القواعد فإن البروتينات تعمل كحامض، وكذلك في حالة احتواء سوائل الجسم على كمية كبيرة من الأحماض فإن البروتينات تعمل كقاعدة، وبالتالي تحافظ على الرقم الهيدروجيني لسوائل الجسم بحالة تعادل مما يمكن الجسم من أداء وظائفه الحيوية.

6- <u>اتزان السوائل داخل وخارج الخلايا</u>: تقوم البروتينات بتنظيم توازن السوائل جزئياً داخل وخارج خلايا الجسم كونها جزيئات كبيرة الحجم مما لا يمكنها من المرور من خلال أغشية الخلايا، وعموماً تتواجد السوائل داخل الخلايا وفي الأوعية الدموية ويتم التحكم في توازنها عن طريق ثلاثة أنواع من الضغوط هي:

أ- الضغط الأسموزي: الناتج عن وجود الإلكتروليتات التي تنظم توازن السوائل داخل الخلايا وخارجها.

ب- الضغط التورمي: الناتج عن البروتينات في الدم والتي تعمل على سحب السوائل من داخل الخلايا إلى الأوعية الدموية.

ج- الضغط الهيدروستاتيكي: الناتج عن ضخ الدم في الأوعية الدموية، وهو يلعب دور مهم في توازن سوائل الجسم.

وفي حالة نقص البروتينات في الجسم فإن ذلك يؤدي إلى خفض بروتين بلازما الدم (الألبومين)، وعند ذلك لا يمكن عودة الماء من حول الخلايا إلى الأوعية الدموية مما يؤدي إلى تراكمه حول الخلايا وتصبح الأنسجة أسفنجية ومتورمة وهذه الحالة تعرف باسم الاستسقاء أو الإديما Edema.

الشكل رقم (83) حالة الاستسقاء نتيجة نقص البومين بلازما الدم، عن (Wardlaw and Hampl, 2007).

تقدير القيمة الغذائية للبروتينات Assessment of nutritive value of proteins:

لكي تقوم الأحماض الأمينية ببناء البروتينات، لابد من توافر الأحماض الأمينية الأساسية وغير الأساسية معا في وقت واحد وبالكميات الأزمة في موقع تصنيع البروتين في الجسم الحي، وإذا لم تتوفر الأحماض الأمينية غير الأساسية بكميات كافية فان الجسم يصنعها، لكن يجب أن يحتوي غذاء الإنسان على كميات ملائمة من الأحماض الأمينية الأساسية.

وكما عرفنا أن البروتينات تقسيم تبعاً لصفاتها الغذائية إلى بروتينات كاملة تحتوي على جميع الأحماض الأمينية الأساسية وبكميات كافية لتأمين احتياجات الجسم اللازمة لبناء أنسجة الجسم وصيانة التالفة منها، وبروتينات غير كاملة ينقصها حامض أميني أساسي أو أكثر، وتكون كمية الأحماض الأمينية غير كافية لتأمين احتياجات الجسم، في حين أن هناك بروتينات كاملة جزئياً تحتوي على كميات محدودة لواحد أو أكثر من الأحماض الأمينية الأساسية، لذلك فهي قادرة على صيانة أنسجة الجسم التالفة واستمرار الحياة لكنها غير كافية لتأمين احتياجات الجسم اللازمة للنمو، ولذلك اشار الباحثون إلى طرق عديدة لقياس كفاءة البروتينات، من أهمها ما يلي:

1- القيمة الحيوية للبروتين Biological Value (BV):

تعلمنا في الفصل الأول أنه يمكننا تقدير نسبة البروتين في عينة الغذاء بتقدير كمية النيتروجين في هذه العينة، وفي هذه الطريقة يتم معرفة القيمة الحيوية للبروتين بقياس النسبة المئوية للنتروجين المحتجز في الجسم (لحيوانات التجارب) Retained nitrogen (إشارة إلى ما تم الاحتفاظ به من بروتين للنمو وبناء أنسجة الكائن...الخ) وحساب هذه النسبة إلى نسبة النتروجين الممتص Absorbed nitrogen من الغذاء، ومن الواضح أنه كلما ارتفعت نسبة النتروجين المحتجز في الجسم كلما كانت القيمة الحيوية أعلى ونوعية البروتين أفضل.

ويتمثل النتروجين المحتجز في الجسم بنتروجين الغذاء المتناول مع حساب كمية النتروجين المفقود مع البراز والنتروجين المفقود مع البول وطرحها من كمية نتروجين الغذاء المتناول، أما النتروجين الممتص فيتمثل بنتروجين الغذاء المتناول محذوف منه كمية النتروجين المفقود مع البراز. لكن ليس جميع النتروجين الخارج مع البراز ناتج عن الوجبة الغذائية، فهناك نتروجين الخلايا التالفة من النسيج المبطن للأمعاء ونتروجين العصارات الهاضمة، كما أن النتروجين الخارج مع البول ليس مصدره الوجبة الغذائية فقط، فهناك النتروجين الناتج عن استهلاك أنسجة الجسم الداخلية نتيجة تجديدها، وحتى نعرف مقدار النتروجين في البراز والبول يعطى حيوان التجارب غذاء خاليا من البروتين لمدة زمنية كافية، ثم يقدر النتروجين الخارج من البراز والبول وهو داخلي المصدر، ولمعرفة النتروجين القادم من مصدر غذائي يطرح النتروجين التمثيلي من النتروجين الكلى الخارج مع البراز والبول.

ويمكن حساب القيمة الحيوية للبروتين Biological value من خلال المعادلة التالية:

$$\text{القيمة الحيوية للبروتين} = \frac{\text{نتروجين الغذاء المتناول - نتروجين البراز من أصل غذائي - نتروجين البول من أصل غذائي}}{\text{نتروجين الغذاء المتناول - نتروجين البراز من أصل غذائي}} \times 100$$

ومن أمثلة البروتينات المرتفعة القيمة الحيوية جميع البروتينات الحيوانية (فيما عدا الجيلاتين) مثل بروتينات البيض والأسماك والدواجن واللحوم الحمراء والحليب، أما البروتينات المنخفضة القيمة الحيوية فتتمثل في البروتينات النباتية التي تشمل بروتينات الحبوب والبقوليات والبذور والخضروات، ولرفع القيمة الغذائية والحيوية لهذه الأنواع من البروتينات نقوم بخلط أكثر من نوع منها (كخلط الحبوب مع البقوليات) أو خلطها مع أنواع من البروتينات المرتفعة القيمة الحيوية (كخلط الحبوب مع الحليب).

ويعتبر بروتين البيض من البروتينات عالية القيمة الحيوية، ولذلك فقد أُستخدم كبروتين قياسي (BV = 100) من قِبل منظمة الأغذية والزراعة FAO لتقدير جودة البروتينات الأخرى.

2- <u>قَابِلِيَّةُ هضم البروتين Protein Digestibility</u>:

لا يتم هضم البروتين المتناول بصورة كاملة، فالبروتينات الحيوانية تهضم بنسبة تتراوح بين (90 - 99%) في حين أن بعض البروتينات النباتية مثل بروتينات فول الصويا وبعض البقوليات الأخرى يقل نسبة هضمها عن 90 %، ولذلك فمن الضروري تقييم قَابِلِيَّةُ هضم البروتينات المختلفة ومعرفة نسبة ما يتم هضمه وامتصاصه من هذه البروتينات.

إن معامل الهضم الظاهري للبروتين والذي يمكن حسابه بطرح قيمة النيتروجين الخارج في البراز من قيمة النتروجين المتناول في الغذاء منسوباً إلى النتروجين المتناول في الغذاء، من خلال المعادلة التالية:

$$\text{معامل الهضم الظاهري} = \frac{\text{نتروجين الغذاء المتناول – النتروجين الخارج في البراز}}{\text{نتروجين الغذاء المتناول}} \times 100$$

أما معامل الهضم الحقيقي للبروتين والذي يمكن حسابه بطرح قيمة نتروجين البراز من أصل غذائي (النيتروجين الخارج في البراز - نتروجين البراز التمثيلي) من قيمة النتروجين المتناول في الغذاء منسوباً إلى النتروجين المتناول في الغذاء، من خلال المعادلة التالية:

$$\text{معامل الهضم الحقيقي} = \frac{\text{نتروجين الغذاء المتناول – نتروجين البراز من أصل غذائي}}{\text{نتروجين الغذاء المتناول}} \times 100$$

3- <u>صافي الاستفادة من البروتين Net Protein Utilization (NPU)</u>:

وتعني كمية النيتروجين الصافية التي استفاد منها الجسم في بناء وصيانة الأنسجة (البروتين المحتجز) من إجمالي النيتروجين المتناول مع الغذاء.

وتنسب هذه الطريقة البروتين المحتجز إلى البروتين المتناول فيؤخذ في الاعتبار معامل الهضم بالإضافة إلى القيمة الحيوية للبروتين. ويتم تقدير صافي الاستفادة من البروتين (NPU) من خلال المعادلات التالية:

$$\text{صافي الاستفادة من البروتين} = \frac{\text{النتروجين المحتجز في الجسم}}{\text{نتروجين الغذاء المتناول}} \times 100$$

$$\text{بعبارة أخرى فإن NPU} = \frac{\text{نتروجين الغذاء المتناول - نتروجين البراز من أصل غذائي - نتروجين البول من أصل غذائي}}{\text{نتروجين الغذاء المتناول}} \times 100$$

4- نسبة كفاءة البروتين (Protein Efficiency Ratio (PER):

يمكن حساب نسبة كفاءة البروتين (PER) من خلال إطعام صغار فئران التجارب بالبروتين وقياس الزيادة في الوزن أثناء النمو بالنسبة لوحدة البروتين، ومن ثم حساب نسبة كفاءة البروتين (PER) من خلال المعادلة التالية:

$$\text{نسبة كفاءة البروتين} = \frac{\text{الزيادة في وزن الحيوان خلال فترة التجربة (جرام)}}{\text{وزن البروتين المستهلك (جرام)}}$$

وهذه الطريقة من طرق تقدير القيمة الغذائية للبروتينات تعتبر طريقة بسيطة جداً لا تحتاج إلى أكثر من قياس وزن حيوانات التجارب قبل وبعد التجربة ومعرفة محتوى البروتين في الغذاء المدروس ولا تحتاج إلى تقدير كمية النيتروجين في عينة الغذاء وفقاً لطريقة كلدال Kjeldahl التي سبق الإشارة إليها في الفصل الأول من هذا الكتاب.

5- نسبة الفعالية الكلية للبروتين (Net Protein Ratio (NPR):

وهي طريقة مشابهة لطريقة نسبة كفاءة البروتين (PER) في شروطها وكيفية إجرائها إلا أنها تتميز عنها في أخذها بعين الاعتبار استخدام البروتين لعمليات صيانة أنسجة الجسم وتعويض التالف منها بالإضافة إلى استخدامه في عمليات النمو، ويتم ذلك من خلال مجموعتين من حيوانات التجارب الأولى هي مجموعة التجربة والتي تعطى غذاء حاوي على البروتين المطلوب دراسته والمجموعة الثانية هي مجموعة السيطرة أو الشاهد وتعطى غذاء مشابه تماماً لغذاء المجموعة الأولى من حيث كمية السُعرات الحرارية والعناصر الغذائية الأخرى لكنه غير حاوي على ذلك البروتين المطلوب دراسته أو أي بروتين أخر (Protein Free Diet) ويمكن حساب نسبة الفعالية الكلية للبروتين (NPR) من خلال المعادلة التالية:

$$\text{نسبة الفعالية الكلية للبروتين} = \frac{\text{معدل الزيادة في وزن حيوانات التجربة + معدل النقص في وزن حيوانات السيطرة}}{\text{معدل وزن البروتين المستهلك}}$$

وبذلك تأخذ هذه الطريقة بعين الاعتبار استخدام البروتين في عمليات النمو (من خلال الزيادة في وزن حيوانات التجارب في مجموعة التجربة)، بالإضافة إلى استخدامه لعمليات صيانة أنسجة الجسم وتعويض التالف منها (من خلال النقص في وزن حيوانات التجارب في مجموعة السيطرة).

6- التوازن النيتروجيني Nitrogen balance:

هو عبارة عن الفرق بين النيتروجين الموجود في الغذاء والنيتروجين المفقود بعملية الإخراج سواء عن طريق البراز أو عن طريق البول أو عن طريق العرق، وبقياس نسبة النيتروجين المفقودة هذه نستطيع حساب نسبة البروتين التي يحتاجها الجسم للقيام بعمليات صيانة أنسجة الجسم وتعويض التالف منها.

وفي الإنسان البالغ فإنه يجب أن تتساوى نسبة النيتروجين المأخوذة عن طريق الغذاء مع نسبة النيتروجين المفقودة عن طريق الإخراج وذلك لتحقيق هدف صيانة أنسجة الجسم وتعويض التالف منها، كونه (الإنسان البالغ) قد تجاوز المرحلة التي يحتاج فيها البروتين من أجل النمو، وهذا ما يسمى بالتوازن النيتروجيني المتعادل (Zero Nitrogen Balance)، لكن ذلك لا يكون صحيحاً على الدوام فالأم الحامل تحتاج إلى البروتين من أجل نمو أنسجة الجنين إضافة إلى معدل النمو الطبيعي الضروري لها خلال مرحلة الحمل، كما يحتاج الإنسان البالغ الذي قد يكون تعرض إلى الإصابة بجروح أو كدمات أو حروق أدت إلى تهتك أنسجة الجسم إلى كميات إضافية من البروتين لتجديد هذه الأنسجة وهكذا... وفي هذه الحالة يجب تزيد نسبة النيتروجين المأخوذة (عن طريق الغذاء) عن نسبة النيتروجين المفقودة (عن طريق الإخراج) وذلك لتحقيق هدف النمو وتجديد أنسجة الجسم المتهتكة نتيجة الإصابة أثناء مرحلة الاستشفاء والنقاهة، وهذه الحالة تعرف بالتوازن النيتروجيني الموجب (Positive Nitrogen Balance) وهذا يعني أن هناك بناءً في البروتين أكثر من عمليات الهدم، وهذه الحالة يحتاجها الأطفال والمراهقين في مرحلة النمو. لكن هناك حالات تقل فيها نسبة النيتروجين المأخوذة (عن طريق الغذاء) عن نسبة النيتروجين المفقودة (عن طريق الإخراج) بمعنى أن النيتروجين المفقود أعلى من النيتروجين المأخوذ، وهذا دليل على أن الجسم يفقد البروتين، وقد تحدث هذه الحالة نتيجة الإصابة بالأمراض أو التعرض للحروق والكدمات أو في حالات المجاعة أو الإضراب عن تناول الطعام أو تناول وجبات فقيرة في محتواها من البروتينات ذات القيمة الحيوية الجيدة، وهو ما يعرف بالتوازن النيتروجيني السالب (Negative Nitrogen Balance).

7- الرقم الكيميائي Chemical Score:

تعتمد هذه الطريقة على مقارنة تركيب الأحماض الأمينية للبروتين المطلوب تقدير جودته الغذائية مع محتوى هذه الأحماض الأمينية في بروتين قياسي مثل بروتين البيض أو حليب الأم أو بخليط بروتين مرجعي معتمد من قبل منظمتي الصحة العالمية والأغذية والزراعة FAO\WHO.

ولحساب الرقم الكيميائي Chemical Score لبروتين ما يتم تقدير الأحماض الأمينية الأساسية في هذا البروتين وتحسب النسبة المئوية لكل حامض أميني فيه ويقارن مع مثيل هذا الحامض الأميني في البروتين المرجعي ويسمى ذلك بالرقم الكيميائي للحامض الأميني Chemical amino acid score، ويسمى الحامض الأميني الأساسي الموجود بأقل نسبة في البروتين المطلوب تقدير جودته بالحامض الأميني المحدد الأول First Limiting amino acid، في حين يسمى الحامض الأميني الأساسي الذي يليه Second Limiting amino acid. ويحسب الرقم الكيميائي Chemical score من خلال المعادلة التالية:

$$\text{الرقم الكيميائي} = \frac{\text{كمية الحامض الأميني المحدد (ملجم/جم بروتين) في البروتين المراد اختباره}}{\text{كمية الحامض الأميني نفسه (ملجم/جم بروتين) في البروتين المرجعي}} \times 100$$

والجدول التالي يوضح لمثال لكيفية تقدير الرقم الكيميائي والحامض الأميني المحدد لبروتين (س) يُراد اختباره وكيفية حساب الرقم الكيميائي للحامض الأميني Chemical score، وتقدير الحامض الأميني المحدد الأول والثاني First and Second Limiting amino acid.

جدول رقم (16): مثال تقدير الرقم الكيميائي والحامض الأميني المحدد لبروتين (س) يراد اختباره

الأحماض الأمينية الأساسية	بروتين البيض (ب)	الرقم الكيميائي
	ملجم / جم بروتين	البروتين المراد اختباره (س)
		س / ب × 100
Threonine	51	57
Valine	76	41
Methionine	32	19
Isoleucine	56	71
Leucine	83	65
Phenylalanine	51	38
Lysine	63	47
Tryptophan	18	94
الحامض الأميني المحدد الأول First limiting A.A		Methionine
الحامض الأميني المحدد الثاني Second limiting A.A		Phenylalanine

وحسب المعادلة أعلاه فإن الرقم الكيميائي لهذا البروتين المختبر $= \frac{19}{32} \times 100 = 59.38$

8- تَعَاضَدَ الطرق المعملية بالطرق الحسابية:

اقترح Alsmeyer ورفاقه عام 1974م معادلة حسابية للتنبؤ بنسبة كفاءة البروتين رياضياً في مقال بعنوان Equations predict PER from amino acid analysis منشورة في دورية Food Technol بعددها الصادر في شهر يوليو من نفس العام، وذلك بعد معرفة تحليل الأحماض الأمينية في عينة البروتين من خلال المعادلة التالية:

PER = -0.684 + 0.456 (leucine) – 0.047 (proline) (g/100 g protein)

وكان قبله Oser عام (1959) قد اقترح معادلة حسابية لتقدير القيمة الحيوية للبروتين (BV) Biological value بعد تقدير نسبة كفاءة البروتين (PER) معملياً من خلال المعادلة التالية:

القيمة الحيوية للبروتين (BV) = 49.09 + 10.53 × (PER).

<u>وتتميز البروتينات عن الكربوهيدرات والدهون (التي يمكن أن تزود الجسم بالطاقة) بما يلي:</u>

أ- إن الوظيفة الأساسية للبروتينات هي تزويد الجسم بالأحماض الأمينية المستخدمة في بناء الأنسجة وصيانتها.

ب- إن تأكسد البروتينات إلى طاقة لا يكون كاملاً كما هو الحال في الدهون والكربوهيدرات، بل ينتج عنها مخلفات نيتروجينية كاليوريا Urea وحامض اليوريك Ureic acid.

ج- تمثيل البروتينات أكثر تعقيداً من تمثيل الكربوهيدرات والدهون، حيث يتطلب خطوات وعمليات تمثيلية أكثر.

د- لا يتم تخزين البروتينات في الجسم، كما هو الحال في الكربوهيدرات التي تخزن على هيئة جليكوجين، والدهون التي تخزن في النسيج الدهني، بل أن البروتينات في حال زيادة كميتها عن الحاجة التي يستخدمها الجسم في بناء وصيانة الأنسجة تتأكسد إلى طاقة وتتحول إلى كربوهيدرات أو دهون.

ماذا نأكل من البروتينات:-

من المعروف أن البروتينات تقسم حسب مصدرها إلى بروتينات حيوانية وبروتينات نباتية، كذلك تقسم البروتينات تبعاً لصفاتها الغذائية إلى:

1- البروتينات الكاملة: وهي البروتينات التي تحتوي على جميع الأحماض الأمينية الضرورية (الأساسية) وبكميات كافية لتأمين احتياجات الجسم اللازمة لبناء أنسجة الجسم وصيانة التالفة منها، ومن أمثلتها البروتينات الحيوانية (باستثناء الجلاتين).

2- البروتينات غير الكاملة: وهي البروتينات التي ينقصها حامض أميني أساسي أو أكثر، وتكون كمية الأحماض الأمينية غير كافية لتأمين احتياجات الجسم، ومن أمثلتها البروتينات النباتية (باستثناء بروتينات المكسرات).

3- البروتينات الكاملة جزئياً: وهي البروتينات التي تحتوي على كميات محدودة لواحد أو أكثر من الأحماض الأمينية الأساسية، لذلك فهي قادرة على صيانة أنسجة الجسم التالفة واستمرار الحياة لكنها غير كافية لتأمين احتياجات الجسم اللازمة للنمو، مثل بروتين القمح (Gliadin).

وكما عرفنا أن معظم الأحماض الأمينية الأساسية موجودة في البروتينات الحيوانية ولذلك فإن قيمة الغذائية أعلى من البروتينات النباتية، لكن هل ينبغي علينا تناول البروتينات الحيوانية أكثر من البروتينات النباتية للحصول على الأحماض الأمينية الأساسية التي يحتاجها الجسم؟

الجواب بكل تأكيد لا، لأن القاعدة الأساسية في التغذية تقضي بالتنوع في تناول الأغذية البروتينية نظراً لتفاوت نسب الأحماض الأمينية الأساسية.

فالأغذية النباتية كالحبوب (القمح، الأرز، الشعير...الخ) وأن كانت تفتقر إلى كميات مناسبة من وأحد من الأحماض الأمينية الأساسية وهو اللايسين Lysine (وبالتالي فإنه لا يمكن تناولها بمفردها)، نجد أن البقوليات (كالفول، الفاصوليا، اللوبيا، العدس....الخ) تحتوي على كميات جيدة من هذا الحامض الأميني الأساسي تفي بحاجة الجسم، إلا أنها تفتقر إلى كميات مناسبة من الأحماض الأمينية الكبريتية المثيونين Methionine والسيستين Cysteine، وهذان الحامضان يتواجدان بكميات مناسبة لحاجة الجسم في بروتينات الحبوب، والتالي فإن تناول مزيج الحبوب والبقوليات كالأرز مع العدس أو الفاصوليا مع الخبز يحدث تكامل في محتوى هذه البروتينات مما يجعلها كافية لتأمين احتياجات الجسم اللازمة من الأحماض الأمينية الأساسية. وبالتالي فأن تناول هذه البروتينات النباتية (المتكاملة) وبمعدل يومي يُعد خيار صحي واقتصادي في الوقت نفسه.

في حين أنه لا ينصح بالإكثار من تناول اللّحوم الحمراء لأن الإفراط في تناولها مرتبط بزيادة خطر الإصابة بالسرطانات لا سيما سرطان القولون حيث تشير الدراسات إلى أن الهيموجلوبين والمايوجلوبين الموجودين في اللحوم الحمراء تقوم بتحفيز عملية النترزة في الأمعاء وينتج عن هذه العملية مواد مسرطنة هي المسبب لسرطان القولون، كما تعزو دراسات

أخرى حدوث ذلك إلى تكون مركبات مسرطنة تدعى الأمينات مُتَغايِرة الحَلَقَة خلال عملية طهي اللّحوم الحمراء. كذلك تشير دراسات أخرى أن الإفراط في تناول اللّحوم الحمراء يؤدي إلى حدوث سرطانات أخرى كسرطان المريء والبنكرياس والمستقيم.

كما أن الإفراط في تناول اللّحوم الحمراء مسؤول عن حدوث أمراض الجهاز الهضمي كالتهاب القولون إضافة إلى خطر الإصابة بأمراض القلب والأوعية الدموية ليس فقط نتيجة محتواها من الدهون المشبعة كما سبق وأن عرفنا في الفصل السابق، بل نتيجة تكون حامض الهوموسيستين Homocysteine الذي يتكون نتيجة تحول الحامض الأميني مثيونين إلى الحامض الأميني سيستين عند نقص فيتامين B_6 في الغذاء المتناول (وهذا ما سنتعرف عليه في الفصل السادس) وتشير الدراسات إلى مسؤولية الهوموسيستين عن حدوث حالة تصلب الشرايين.

كما أن اللّحوم الحمراء تحتوى على حامض الأراشيدونيك الذي عرفنا سابقاً أنه المُولد الحيوي لبعض البروستجلاندينات من النوع PG 2 المسئولة عن استحثاث الالتهاب وعن أغلب آثار الأمراض المزمنة التي تشمل تأثيراتها: زيادة تخثر الدم، زيادة ضغط الدم، زيادة الكولسترول كما تسبب مزيداً من عوامل خطر الإصابة بنوبات قلبية مما يضاعف الخطر. كما تتسبب بزيادة النشاط الالتهابي الذي قد يؤدي إلى تدمير الأنسجة والإصابة بأمراض الجهاز المناعي الذاتي، بالإضافة إلى أنها تتسبب في القضاء على الخلايا الطبيعية القاتلة والتي تلعب دورا مهما في حمايتنا من السرطان، ولهذا السبب فإن الأورام السرطانية تنمو بتأثير مساعد من البروستجلاندينات PG 2.

كما ويسهم الإفراط في تناول اللّحوم الحمراء في حالات هشاشة العظام لارتفاع محتواها من الفوسفور. لذا يُنصح بالحد من استهلاك اللّحوم الحمراء إلى أقل من 300 جرام أسبوعياً. أما اللّحوم البيضاء كالدواجن والأسماك فيمكن تناولها بمعدل أعلى من اللّحوم الحمراء ويمكن ادخالها في قائمة الطعام الأسبوعية (بحيث تكون بحدود مرتين أو ثلاث مرات اسبوعياً للدواجن، وثلاث إلى أربع مرات اسبوعياً للأسماك).

الشكل رقم (84) أنواع من الأغذية البروتينية المختلفة (يمين)، مزيج من البروتينات النباتية "أرز + بقوليات" (وسط)، تكامل البروتينات النباتية (يسار).

المُخَصَّص الموصى به يوميا من البروتين Recommended daily (dietary) allowance:

يدل المُخَصَّص الموصى به يوميا من البروتين (RDA) على الكمية التي تغطي الاحتياج لتحل محل البروتين المفقود والأنسجة التي تتلف يومياً وتفي بحاجة الجسم من بناء أنسجة جديدة، ومن هنا فإن هذه النسبة عالية عند الأطفال الرضع حيث تصل إلى 2.05 جرام من البروتين لكل كيلوجرام من وزن الجسم للأطفال الرضع إلى عمر ستة أشهر ثم تنخفض لتبلغ 1.65 جرام/كيلوجرام للأطفال الرضع إلى عمر سنة وهكذا، كما تكون عند الأطفال والمراهقين في مرحلة النمو أعلى مما هي عليه عند الإنسان البالغ والذي يحتاج إلى 0.8 جرام من البروتين لكل كيلوجرام من وزن الجسم، كما تزداد عند النساء الحوامل والمرضعات مقارنة ببقية النساء فينبغي زيادة مخصصات البروتين بمقدار 25 جرام اضافية من البروتين للأم الحامل مقارنة بغير الحامل وكذلك تصل الزيادة في المخصصات إلى 25 جرام اضافية من البروتين في حالات الإرضاع.

جدول رقم (17): يوضح محتوى بعض الأغذية من البروتينات*

الغذاء	حصة التقديم	الكمية بالجرام	الغذاء	حصة التقديم	الكمية بالجرام
اللحوم					
لحم بقري خالي الدهن	85 جرام	26	سمك التونة	85 جرام	24
البرجر	85 جرام	24	دجاج بدون جلد	85 جرام	24
لحم الخروف	85 جرام	22	سمك الحَدوق	85 جرام	19
بيضة متوسطة الحجم	بيضة	6			
منتجات الألبان					
جبن الكوتج قليل الدهن	نصف كوب	14	الزبادي قليل الدهن	كوب واحد	13
حليب خالي الدسم	كوب واحد	9	حليب كامل الدسم	كوب واحد	8
الجبن السويسري	28 جرام	8	جبن الشيدر	28 جرام	7
الحبوب ومنتجاتها					
شَّوفان (مطهي)	نصف كوب	4	معكرونة (مطهية)	نصف كوب	4
الخبز	شريحة	2	الأرز	نصف كوب	2

* المصدر (Brown, Judith; 2011).

هضم وامتصاص البروتينات Proteins digestion and absorption:-

تبدأ في الفم عملية هضم البروتينات ميكانيكياً من خلال عملية مضغ الطعام وتفتيته إلى قطع صغيرة من خلال تمزيقها وطحنها بالأسنان وذلك لزيادة السطح المعرض للعصارات الهاضمة. وفي المعدة يفرز هرمون الجاسترين Gastrin الذي ينشط إفراز حامض HCl والببسينوجين الذي يعتبر أهم أنزيم تفرزه المعدة لكنه يكون في صورة غير نشطة ولا يُنشط إلا بعد خروجه إلى تجويف المعدة بفعل حامض HCl حيث يتحول إلى الببسين الذي يقوم بتحليل الروابط الببتيدية المجاورة للأحماض الأمينية الأَروماتِيّة (الحلقية) ويحول البروتينات إلى ببتيدات قصيرة السلسلة (بروتيوزات ثم إلى ببتونات)، لكنه لا يستطيع أن يحلل الببتونات إلى جزيئات أصغر مهما أتيح له من الوقت، كما تفرز المعدة كذلك (خصوصاً عند الأطفال الرضع) إنزيم الرنين الذي يحول الحليب (السائل) إلى خُثرة شبه صلبة تبقى في المعدة لحين هضم البروتينات التي يحتويها الحليب. وتقوم المعدة بمزج الغذاء وتقليبه لبضعة ساعات ليصبح على هيئة معجون سائل (الكيموس Chyme) يكون ذو قوام مناسب للدخول علي دفعات للأمعاء الدقيقة، ويتم دفع هذه الكتل بواسطة الحركة الدودية من المعدة إلى الأمعاء الدقيقة، وعند وصول الغذاء إلى الأمعاء الدقيقة تتم هناك إنهاء عملية الهضم الميكانيكي والكيميائي للبروتينات، حيث تصب فيها إفرازات العصارة البنكرياسية التي تحتوي على إنزيم التربسينوجين غير النشط والذي عند وصوله إلى الاثنى عشر فانه يتحول إلى تربسين (نشط) بفعل إنزيم التربسين إنتيروكينيز الذي يفرزه الجدار الخلوي للأمعاء الدقيقة، ويساعد إنزيم التربسين على هضم البروتينات حيث يحلل الروابط الببتيدية المجاورة للأحماض الأمينية القاعدية، كما يفرز البنكرياس إنزيم الكيموتربسينوجين الذي ينشط بواسطة إنزيم التربسين فيتحول إلى إنزيم الكيموتربسين الذي يحلل الروابط الببتيدية المجاورة للأحماض الأمينية الأروماتية، وتسمى جميع الإنزيمات السابقة الذكر إنزيمات الببتيديز الداخلية Endopeptidase التي تحلل الروابط الببتيدية الداخلية للبروتينات. كما يفرز البنكرياس إنزيم الكربوكسي ببتايديز أ Carboxy-peptidase A الذي يقوم بتحليل الروابط الببتيدية للأحماض الأمينية الأَروماتِيّة (الحلقية) التي تحتوي على مجموعة الكربوكسيل حرة، وكذلك إنزيم الكربوكسي ببتايديز ب Carboxy-peptidase B الذي يقوم بتحليل الروابط الببتيدية للأحماض الأمينية القاعدية التي تحتوي على مجموعة الكربوكسيل حرة، ويعتبر هذان الإنزيمان من إنزيمات الببتيديز الخارجية Exopeptidase التي تحلل الروابط الببتيدية الطرفية للسلسة الببتيدية.

وفي الأمعاء تفرز العصارة المعوية الحاوية على إنزيم أمينو ببتايديز Amino-peptidase الذي يحلل الأحماض الأمينية الطرفية من ناحية مجموعة الأمين الحرة، وكذلك الإنزيم المحلل للببتيدات الثنائية Dipeptidase الذي يقوم بفصل الببتيدات الثنائية إلى مكوناتها من الأحماض الأمينية، وتعتبر هذه الإنزيمات من مجموعة إنزيمات الببتيديز الخارجية Exopeptidase أيضاً.

جدول رقم (18): يلخص مجموعة الإفرازات الهاضمة للبروتينات ومكان إفرازها ووظيفتها (نواتج عملها)

العضو	الإنزيم	وظيفته
المعدة	حامض HCl	تحويل ببسينوجين إلي ببسين وتوفير بيئة ملائمة لعمله
	الببسينوجين	يتحول بعد تنشيطه إلى الببسين
	الببسين	تحليل الروابط الببتيدية المجاورة للأحماض الأمينية الأَروماتِيّة (الحلقية) ويحول البروتينات إلى ببتيدات قصيرة السلسلة
	الرنين	تحويل الحليب إلى خُثرة شبه صلبة تبقى في المعدة لحين هضم البروتينات التي يحتويها
البنكرياس	التربسينوجين	إنزيم غير نشط ومتى وصل إلى الاثنى عشر فانه يتحول إلى تربسين نشط
	الكيموتربسينوجين	إنزيم غير نشط، ينشط بواسطة إنزيم التربسين فيتحول إلى إنزيم الكيموتربسين
	التربسين	يحلل الروابط الببتيدية المجاورة للأحماض الأمينية القاعدية
	الكيموتربسين	يحلل الروابط الببتيدية المجاورة للأحماض الأمينية الأروماتية
	الكربوكسي ببتايديز أ	يحلل الروابط الببتيدية للأحماض الأمينية الأروماتِيّة (الحلقية) التي تحتوي على مجموعة الكربوكسيل حرة
	الكربوكسي ببتايديز ب	يحلل الروابط الببتيدية للأحماض الأمينية القاعدية التي تحتوي على مجموعة الكربوكسيل حرة
الأمعاء الدقيقة	تربسين إنتيروكينيز	تنشيط إنزيم التربسينوجين وتحويله إلى تربسين (نشط)
	أمينو ببتايديز	تحليل الأحماض الأمينية الطرفية من ناحية مجموعة الأمين الحرة
	الداي ببتايديز	فصل الببتيدات الثنائية إلى مكوناتها من الأحماض الأمينية

ويتم امتصاص الأحماض الأمينية مباشرة بواسطة خاصية النقل النشط عبر الخميلات في الأمعاء الدقيقة إلى الدم من خلال الشعيرات الدموية بواسطة الوريد البابي، ليختلط بالأحماض الأمينية الناتجة من هدم أنسجة الجسم فيما يعرف بمجمع الأحماض الأمينية.

مجمع الأحماض الأمينية Amino Acids Pool:

يستخدم مصطلح مجمع (بركة) الأحماض الأمينية Pool of amino acids للتعبير عن كمية الأحماض الأمينية الموجودة في الدورة الدموية وسوائل الأمعاء ويكون مصدر هذه الأحماض الأمينية سواء من الغذاء أو من عمليات الهدم Catabolism لأنسجة الجسم، حيث تتجمع الأحماض الأمينية الممتصة من الأمعاء مع الأحماض الأمينية الناتجة من تكسير بروتينات الجسم مع الأحماض الأمينية التي يصنعها الجسم وتستخدم هذه الأحماض الأمينية في بناء بروتينات الجسم وإنتاج الطاقة وبناء مركبات أخرى غير بروتينية.

استخدام الأحماض الأمينية لبناء البروتين Protein synthesis:

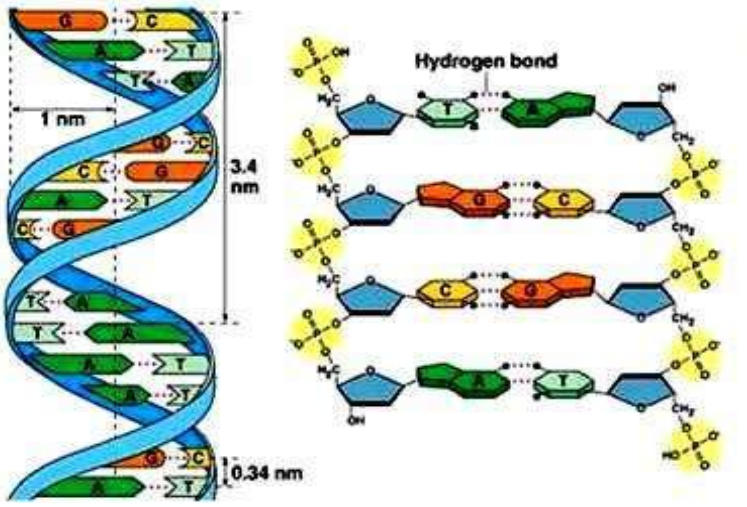
تحتوي خلايا الجسم على مكونات خلوية تُدعى الريبوسومات Ribosomes وهي تعتبر مصانع البروتينات في الخلية. وتتم عملية بناء البروتين داخل الخلية من خلال اتحاد الأحماض الأمينية (الموجودة في مجمع الأحماض الأمينية) بتتابع معين، لكن ما الذي يحدد هذا التتابع لتكوين ذلك البروتين الذي تحتاجه الخلية؟

وللإجابة على هذا السؤال نقول أن بناء البروتين يتم حسب الشفرة الوراثية لجزء معين من DNA الذي يحتفظ بمخزون المعلومات الوراثية للخلية يدعى بالجين Gene (تتابع للنيوكليوتيدات في جزئ الـ DNA)، وذلك من خلال عمليتين محددتين تحدثان في سيتوبلازم الخلية وهما:

1- عملية الإِسْتِنْساخ Transcription: وهي العملية يحدث فيها تكوين جزئ الحامض النووي RNA باستخدام الحامض النووي DNA كقالب استنساخ Template.

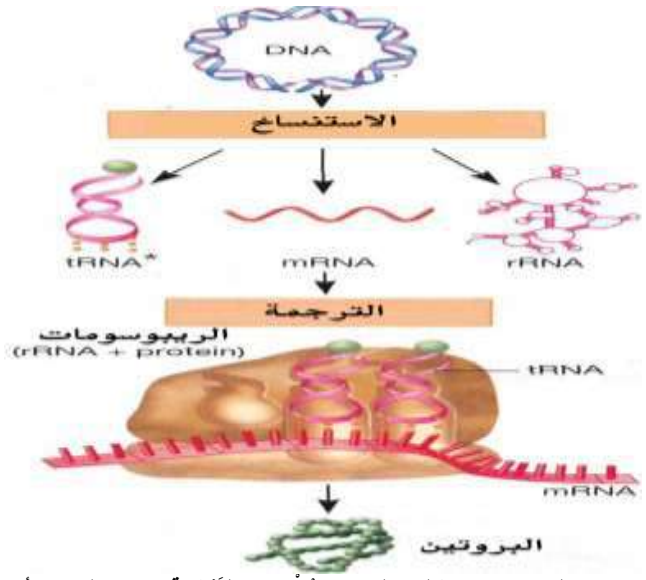
2- عملية التَرْجَمَة Translation: وهي عملية استخدام المعلومات الوراثية في الـ RNA المتكون، لبناء البروتين.

يوجد الـ DNA على هيئة لولب مزدوج Double helix يتكون من سلسلتين متكاملتين مرتبطتين معاً بروابط هيدروجينية والسلسلتين في اتجاهين منعكسين، وتتكون كل سلسلة من جزيئات السكر والفوسفات والقواعد النيتروجينية التي تربط بين الجانبين، وهذه القواعد النيتروجينية هي الأدنين Adenine والسيتوسين Cytosine والجوانين Guanine والثايمين Thymine، ويتكامل (يرتبط) الأدنين A في إحدى السلاسل مع الثايمين T في السلسلة الأخرى، بينما يتكامل الجوانين G في السلسلة الأولى مع السيتوسين C في السلسلة الأخرى.



الشكل رقم (85) يوضح تركيب الحامض النووي DNA.

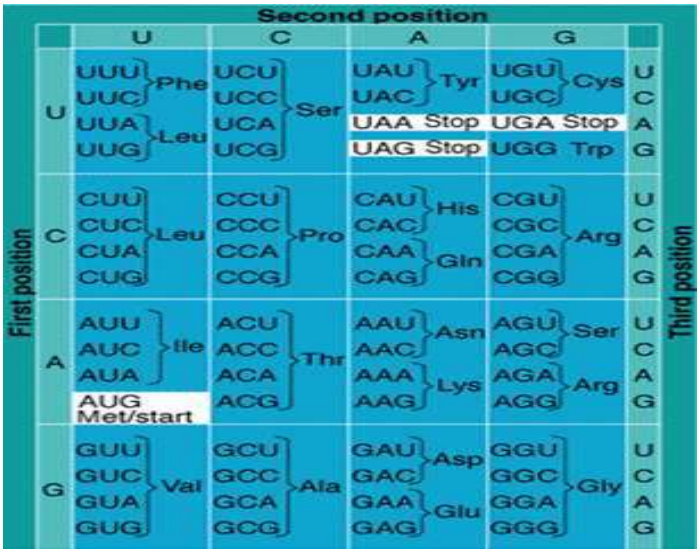
أما الـ RNA فهو عبارة على هيئة خيط واحد (سلسلة منفردة) يتكون أيضاً سلسلة من جزيئات السكر والفوسفات وأربع القواعد النيتروجينية هي نفس القواعد المكونة للـ DNA إلا أن القاعدة النيتروجينية الثايمين Thymine للـ DNA تستبدل بالقاعدة النيتروجينية يوراسيل Uracil في الـ RNA، ويوجد الـ RNA على ثلاث صور هي mRNA المرسال، tRNA الناقل، rRNA الريبوزومي. وتنحصر وظائف الـ RNA الثلاثة في بناء البروتين فإنه بعد تكوين جزئ الحامض النووي mRNA فإن الخلية تستخدمه كمرشد guide لبناء البروتين، أما rRNA فيدخل في تركيب الريبوسومات، أما الـ tRNA فيختص بنقل الأحماض الأمينية إلى مركز بناء البروتين في الريبوسومات، حيث أنه يوجد في نهاية طرف من جزيء الـ tRNA مكان ارتباط لحامض أميني معين وكل حامض أميني من الأحماض الأمينية له على الأقل tRNA واحد (أو أكثر) متخصص للارتباط به، أما الجهة المقابلة لمكان ارتباط الحامض الأميني في tRNA فيوجد موقع يسمى عقدة مضاد الشفرة anticodon loop، وهذا الموقع هي عبارة عن منطقة تتكون من ثلاث قواعد نيتروجينية تتوافق (تتكامل) مع القواعد نيتروجينية الموجودة في جزئ الـ mRNA والتي تعرف بالشفرة codon، وبالتالي فهي تعبر عن حمض أميني معين، لكن القليل من هذه الشفرات codons غير متخصصة لأي من الأحماض الأمينية وتعرف على أنها شفرة إنهاء الترجمة Termination codons، وهكذا فإن الشفرات codons تحمل معلومات لتتابع الأحماض الأمينية يمكن التعرف عليها بواسطة جزئ tRNA بما يحمله من anticodon متوافق مع هذه الشفرة.



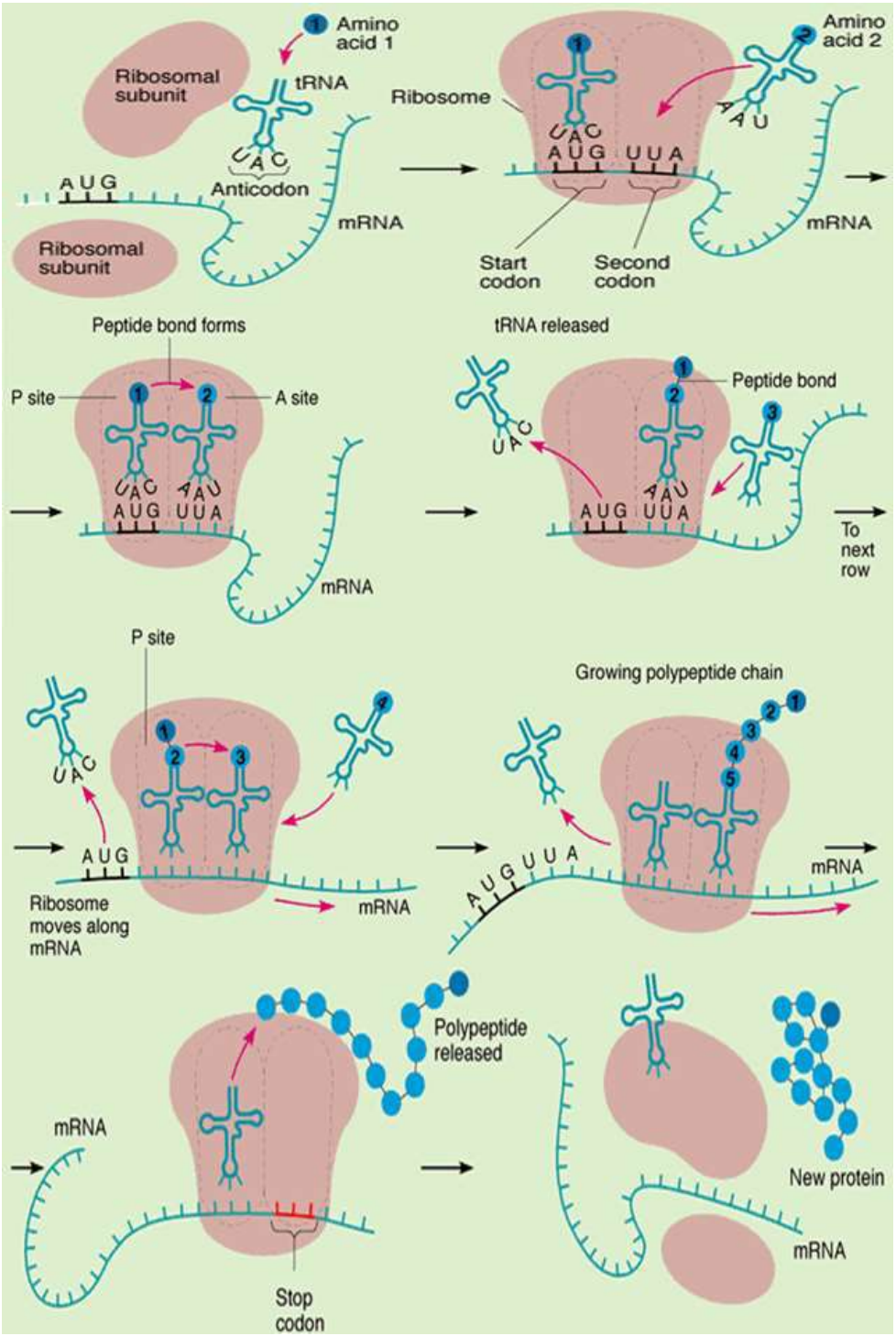
الشكل رقم (86) يوضح بناء البروتين من خلال عمليتي الإِسْتِنْساخ والتَرْجَمَة، ودور كل من الأحماض النووية DNA والأنواع الثلاثة من الـ RNA في هذه العملية.

يحدث بناء البروتين في سيتوبلازم الخلية في وجود كل من الريبوسومات و mRNA و tRNA مع الأحماض الأمينية التي تترتب وفقاً للشفرة الجينية التي تترجم بواسطة جزيئات tRNA عند توافق مضاد الشفرة anticodon في الـ tRNA مع الشفرة codon في الـ mRNA، والجدول التالي يوضح الشفرة الجينية في الكائنات الحية.

جدول رقم (19): الشفرة الجينية في الكائنات الحية



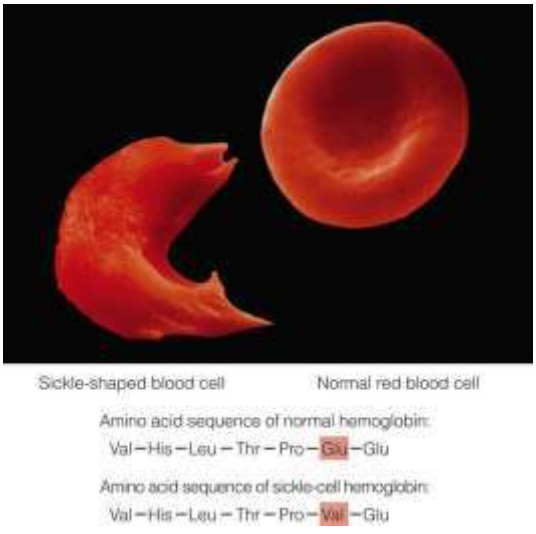
وتبدأ عملية بناء البروتين عندما يرتبط جزيء الـ mRNA الذي تكون شفرة البداية فيه AUG (شفرة البدا للترجمة) بالريبوسوم، ويوجد على الريبوسوم موقعان يمكن إن ترتبط بها جزيئات tRNA أحدهما يطلق علية موقع الببتيديلP والثاني يطلق علية الموقع امينو أسيل A، وتبدأ سلسلة عديد الببتيد في الاستطالة في دورة تتكون من ثلاث خطوات، في الأولى يرتبط مضاد الشفرة tRNA (بما يحمله من حامض أميني) بالشفرة على جزئ mRNA عند نقطة شفرة البداية في الموقع P، ثم يرتبط مضاد الشفرة لجزيء tRNA أخر بالشفرة التالية على جزئ mRNA في الموقع A وبالتالي يصبح الحامض الأميني الذي يحمله هذا الـ tRNA هو الحامض الأميني التالي في السلسلة عديد الببتيد، ويحدث تفاعل لنقل الببتيديل ينتج عنه رابطة ببتيدية بعده يكون tRNA الأول فارغا ويترك الريبوسوم أما tRNA الثاني فيحمل الحامض الأميني له مع الحامض الأميني الأول (المثيونين)، ويتحرك الريبوسوم على امتداد mRNA فينتقل tRNA حاملاً الحامضين الأمينين إلى الموقع P ويدخل إلى الموقع A شفرة جديدة ليحل فيها tRNA جديد (يبدأ الدورة مرة أخرى) جالباً الحامض الأميني الثالث وهكذا يتكرر الأمر وتقف عملية البناء عندما يصل الريبوسوم إلى شفرة إنهاء الترجمة Termination codons، وهناك بروتين يرتبط بشفرة إنهاء الترجمة يسمى عامل الإطلاق حيث يحرر الريبوسوم من الـ mRNA.



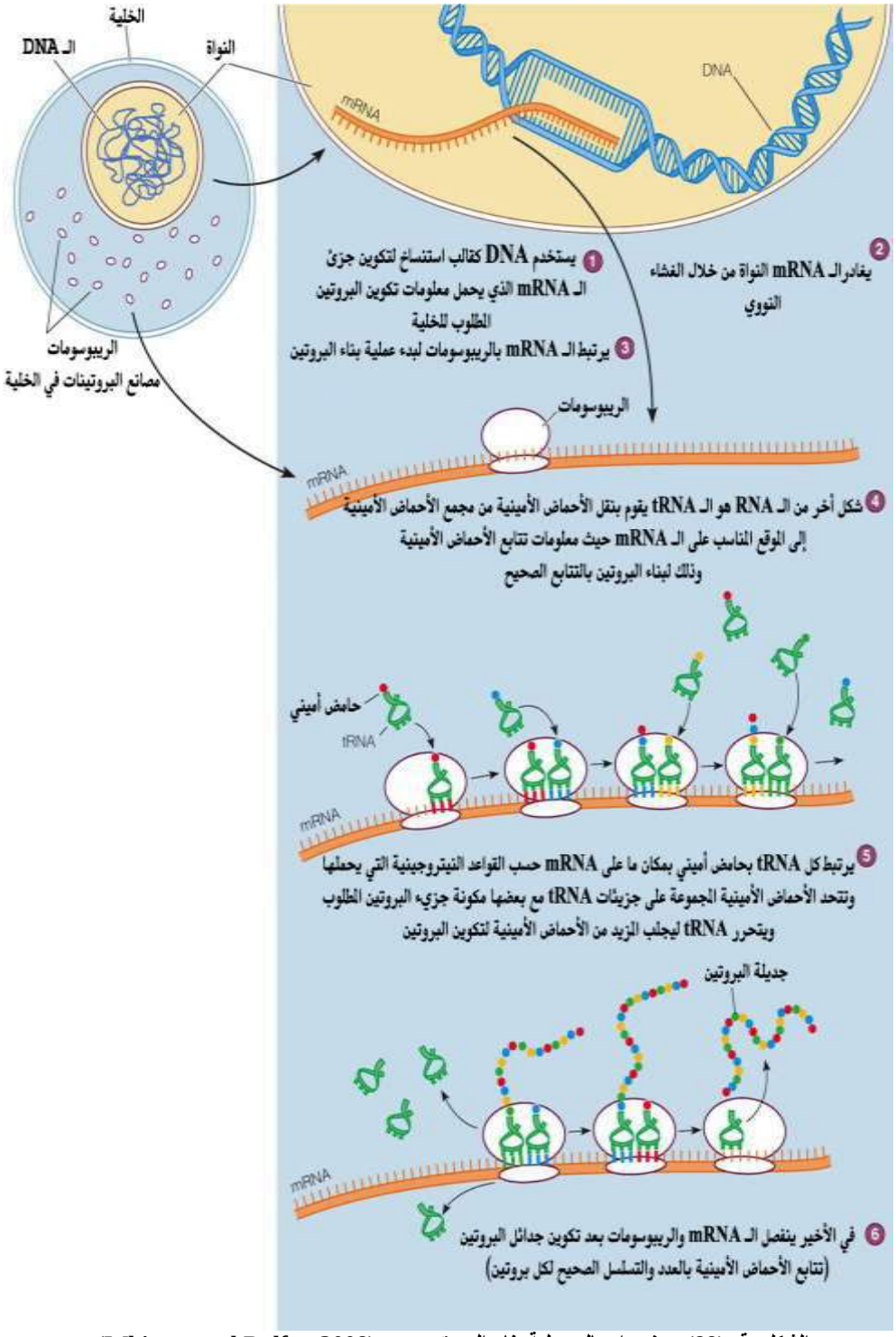
الشكل رقم (87) يوضح عملية الترجمة (بناء البروتين في الريبوسومات) ودور الـ RNA في هذه العملية.

ولتوضيح ما سبق، إذا كان تتابع القواعد النيتروجينية في جزء الـ DNA الذي يشكل قالب الاستنساخ هو TACTGGCTAAGGCCTGATATCGTTCAT، فإن تتابع القواعد النيتروجينية في الـ mRNA المستنسخ منه تكون AUGACCGAUUCCGGACUAUAGCAAGUA ينتج عنها تتابع للأحماض الأمينية بالشكل التالي <<<Met-Thr-Asp-Phe-Gly-Leu-Stop، حيث أن الشفرة UAG هي شفرة إنهاء الترجمة Stop codons وبالتالي تتوقف عملية الترجمة.

ويحدث أحيانًا أن تحتوي الشفرة الوراثية على خطأ ما قد يسبب الإصابة بمرض أيضي، والعديد من هذه الأخطاء الناتجة عن طفرة (تغير وراثي) في الشفرة تورث، ونتيجة لذلك تحدث بعض الأمراض الأيضية عندما يحدث خطأ في تفسير تعليمات بناء البروتين في الشفرة الوراثية ومن هذه الأمراض مرض خلايا الدم منجلية الشكل Sickle-shaped blood cell، وهو مرض قاتل للإنسان في الغالب، فخلايا الدم الحمراء ذات شكل قرصي، ولكن بعض الخلايا الحمراء تصبح ملتوية إلى شكل خطافي أو منجلي لدى المصابين بمرض خلايا الدم منجلية الشكل، وتموت هذه الخلايا المشوهة مسببة فقر دم حاد، حيث تحتوي خلايا الدم الحمراء على الهيموجلوبين (بروتين وظيفته حمل الأكسجين إلى أنسجة الجسم)، وفي الحقيقة يتكون الهيموجلوبين من عدة مئات من الأحماض الأمينية، لكن المرض المنجلي المميت يحدث عندما تُغير الشفرة الوراثية الحامض الأميني فالين بدلاً عن حامض الجلوتاميك في جزء من هذه سلسلة الأحماض الأمينية الطويلة التي يتكون منها بروتين الهيموجلوبين.



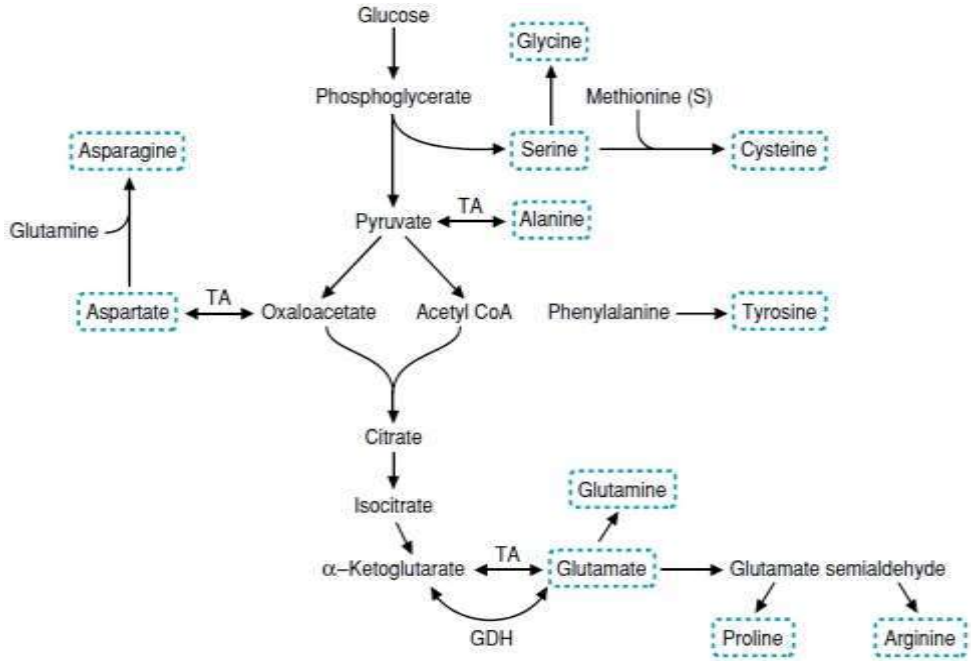
الشكل رقم (88) يوضح مقارنة بين خلايا الدم منجلية الشكل Sickle-shaped blood cells وخلايا كريات الدم الحمراء الطبيعية Normal red blood cells وطبيعة التغير في تسلسل الأحماض الأمينية في كلا النوعين من الخلايا، عن (Whitney and Rolfes, 2008).



الشكل رقم (89) يوضح إجمال عملية بناء البروتين، عن (Whitney and Rolfes, 2008).

أيض الأحماض الأمينية Amino acids metabolism:-

عرفنا سابقاً أن الأحماض الأمينية تدخل في عمليات البناء من خلال بناء بروتينات الأنسجة وبروتينات البلازما والأنزيمات والهرمونات وكذلك بعض المركبات النيتروجينية الأخرى المهمة في الجسم، كما تدخل في عمليات الهدم من خلال هدم الاحماض الأمينية الى امونيا وهيكل كربوني (أكسدة الأحماض الأمينية للحصول على الطاقة أو الحصول على الجلكوز الذي يمكن أن يتحول إلى جليكوجين، أو يتحول الهيكل الكربوني إلى نسيج دهني). و تقسم الأحماض الأمينية إلى قسمين هما الأحماض الأمينية الضرورية أو الأساسية التي لا يمكن للإنسان أن يكونها داخل الجسم أو على الأقل لا يمكن تكوينها بالكميات اللازمة التي يحتاجها ولذا يجب أن تتوفر في الغذاء. وكذلك الأحماض الأمينية غير الضرورية أو الأساسية وهي الأحماض الأمينية التي يستطيع الجسم تكوينها بالقدر اللازم له من مركبات أخرى، إذ يستطيع الجسم أن يحصل على الهيكل الكربوني لهذه الأحماض من النواتج الوسطية لتمثيل الكربوهيدرات والدهون ثم يضيف المجموعة الأمينية التي يمكن أن يكون مصدرها إما الأمونيا أو حامض أميني أخر. تسعة من هذه الأحماض الأمينية غير الضرورية أو الأساسية الإحدى عشر تبنى من الكميات الزائدة من الجلوكوز أما الحامضان الأخران وهما التيروسين Tyrosine والسستين Cysteine يتم تكوينهما من حامضين أمينيين أساسيين هما الفينيل الانين Phenylalanine الذي يتحول في الجسم إلى التيروسين والمثيونين Methionine الذي يتحول إلى السستين، وهذا ما يوضحه الشكل التالي:



الشكل رقم (90) مخطط عام لتكوين عدد من الأحماض الأمينية غير الأساسية.

ويمكن هنا تقسيم الأحماض الأمينية تقسيم جديد حسب مساراتها الأيضية إلى:

1 - الأحماض الأمينية مولدة للجلوكوز Glucogenic amino acids: وهي التي تعطي مركبات وسيطة (مثل البيروفات، ألفا كيتوجلوتارات، سكسينيل المرافق الإنزيمي أ، فيومارات، أوكزالوأسيتات) وهذه المركبات الوسيطة من الممكن أن تتحول إلى جلوكوز.

2 - الأحماض الأمينية مولدة للأجسام الكيتونية Ketogenic amino acids: وهي الاحماض التي تؤدي إلى تكوين أجسام كيتونية وتتحلل إلى أسيتايل المرافق الإنزيمي أ وأسيتوأستايل المرافق الإنزيمي أ ولا تؤدي إلى تكوين الجلوكوز.

وهناك 5 أحماض أمينية مشتركة (مولدة للجلوكوز و مولدة للأجسام الكيتونية) هي: آيزوليوسن ، ثريونين، تريبتوفان، فينيل ألانين، تايروسين.

وتتلخص التفاعلات الأيضية للأحماض الأمينية في العمليتين التاليتين:

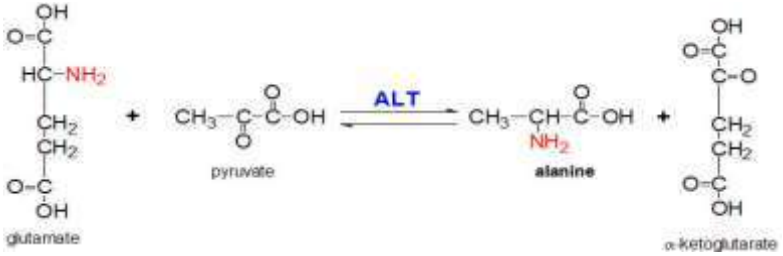
1 - نقل مجموعة الأمين Transamination.

2 - نزع مجموعة الأمين Deamination.

ويؤدي أيض الأحماض الأمينية إلى إنتاج الأمونيا التي تعتبر من أكثر المواد سمية للجهاز العصبي، يتخلص الإنسان من تلك الأمونيا على هيئة يوريا (وهذا ما سيتم الحديث عنه لاحقاً).

نقل مجموعة الأمين Transamination:

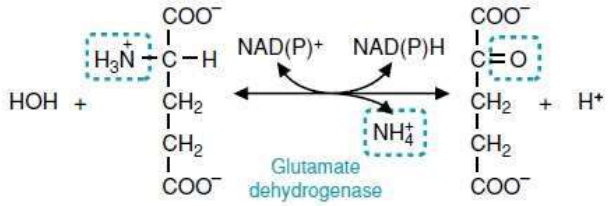
يستطيع الحامض الأميني منح مجموعة الامين الى حامض الفا كيتو أخر (مثل البيروفات) لتكوين أحماض أمينية أخرى (حامض الألانين في هذه الحالة)، وينشط عملية نقل المجموعة الامينية من حامض أميني الى حمض كيتوني مجموعة من الانزيمات تعرف بأنزيمات نقل مجموعة الأمين Transaminase، وهذا ما توضحه المعادلة التالية:



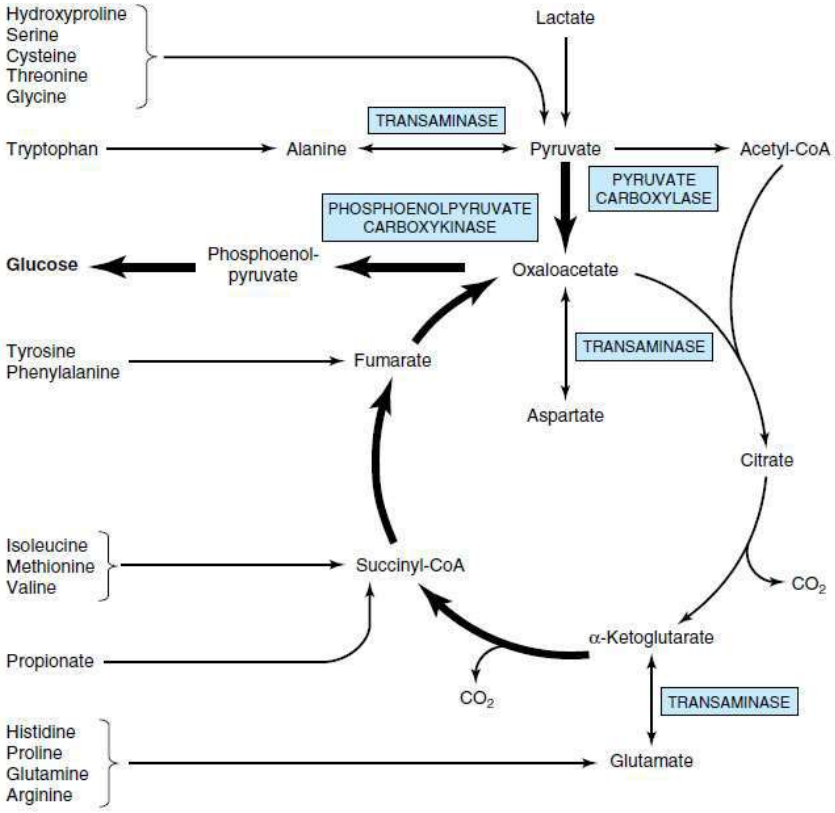
وتهدف عملية نقل مجموعة الأمين إلى بناء عدد من الأحماض الأمينية غير الأساسية.

نزع مجموعة الأمين Deamination:

تتعرض الأحماض الأمينية الى نزع مجموعة الأمين بالأكسدة بواسطة الإنزيمات (مثل إنزيمات ديهيدروجينيز حامض الجلوتاميك Glutamate dehydrogenase والذى يوجد في كل من سيتوبلازم وميتوكوندريا الكبد) في وجود مرفق الانزيم $NADP^+$، وفي هذه التفاعلات يتم تجريد الأحماض الأمينية من مجموعة الأمين حيث تتحول إلى أحماض كاربوكسيلية وأمونيا.



إن الحامض الكاربوكسيلي الناتج عن نزع مجموعة الأمين للحامض الأميني يكون مساويا في عدد ذرات الكربون للحامض الأميني لكن الاختلاف في مجموعة الكيتون بدلا من الامين، والأحماض الكاربوكسيلية تتمثل في الجسم إلى مركبات تستفاد منها الخلية فبعضها يستخدم لإعادة تصنيع الأحماض الأمينية من خلال الاتحاد مع الامونيا كما يستخدم بعضها في إنتاج الطاقة والبعض الأخر تتحول إلى مشتقات كربوهيدراتية تستفيد منها الخلية، ويتحول قليل منها الى أجسام كيتونية، أما الامونيا فتستخدم في بناء الأحماض الأمينية غير الأساسية كما في بناء القواعد النيتروجينية التي تدخل في بناء الاحماض النووية DNA و RNA، كما تستخدم في بناء السكريات الأمينية مثل الجلوكوز أمين والجالاكتوز أمين.

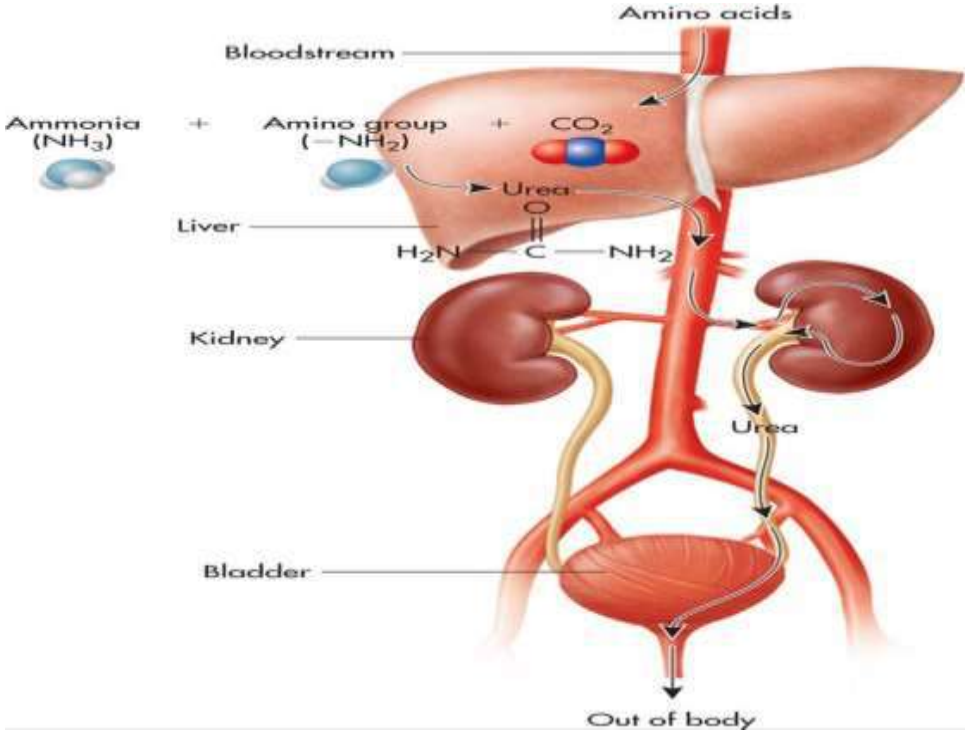


الشكل رقم (91) يوضح مشاركة الأحماض الأمينية في عمليات الأيض، عن (Murray *et al.*, 2003).

أما الفائض من الأمونيا فيطرح في البول على شكل يوريا بواسطة دورة تسمى بدورة اليوريا والتي تحدث في الكبد وذلك بتخليص الجسم من الامونيا، حيث تعتبر الأمونيا NH_3 من المركبات السامة لخلايا الجسم نظراً لأن المستوى المرتفع من أيون الأمونيوم NH_4^+ يودي إلى استنفاذ مركب الالفاكيتوجلوتاريك α-ketoglutrate وهو من المركبات الوسيطة لدورة الحامض ثلاثي الكربوكسيل TCA لتكوين حامض الجلوتاميك Glutamic acid مما يؤدي إلى انخفاض معدل تكوين الـ ATP، (ويعتبر المخ حساس للغاية لانخفاض مستوى الـ ATP).

دورة اليوريا Urea cycle:

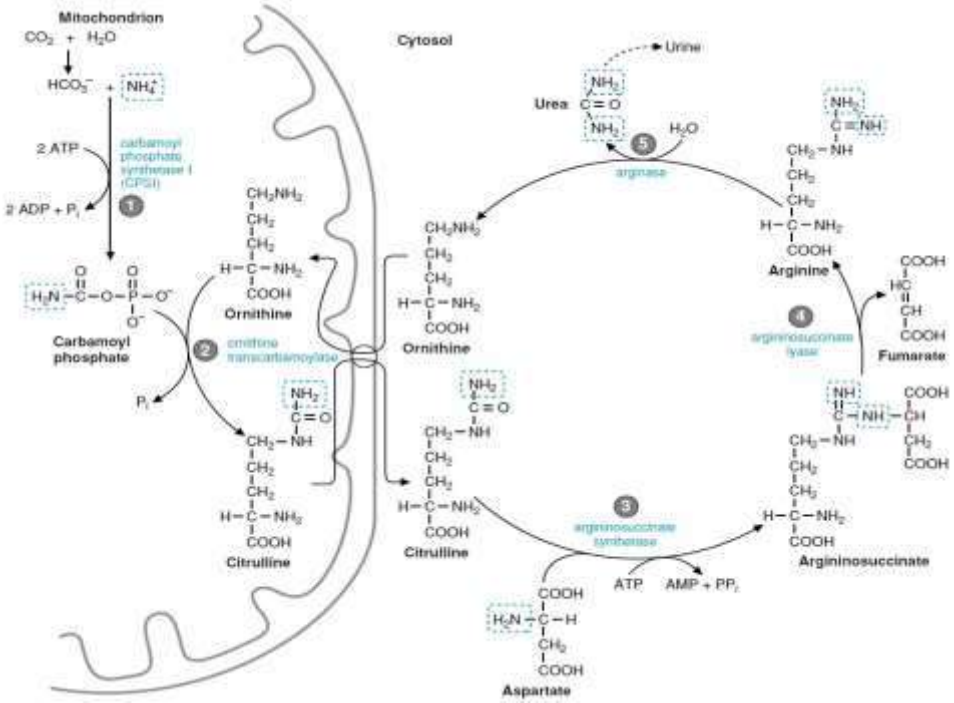
تهدم الأحماض الأمينية الى امونيا وهيكل كربوني وذلك لأكسدة الأحماض الأمينية للحصول على الطاقة أو الحصول على الجلكوز الذي يمكن أن يتحول إلى جليكوجين، أو يتحول الهيكل الكربوني إلى نسيج دهني (فيما يعرف بعمليات نزع مجموعة الأمين Deamination)، وتنتقل الأمونيا الناتجة عن العمليات الأيضية إلى الكبد عن طريق ارتباطها بالحامض الأميني جلوتاميك وجود انزيم جلوتامين سنثيسيز Glutamine synthetase حيث يتكون الجلوتامين الذي ينتقل إلى الكبد ناقلاً الأمونيا حيث تتحول إلى يوريا يتم التخلص منها عن طريق البول. والشكل التالي يوضح عملية التخلص من الأمونيا عن طريق تحويلها إلى يوريا.



الشكل رقم (92) يوضح عملية تحويل الأمونيا إلى يوريا التخلص منها بإفرازها خارج الجسم عن طريق البول، عن (Wardlaw and Hampl, 2007).

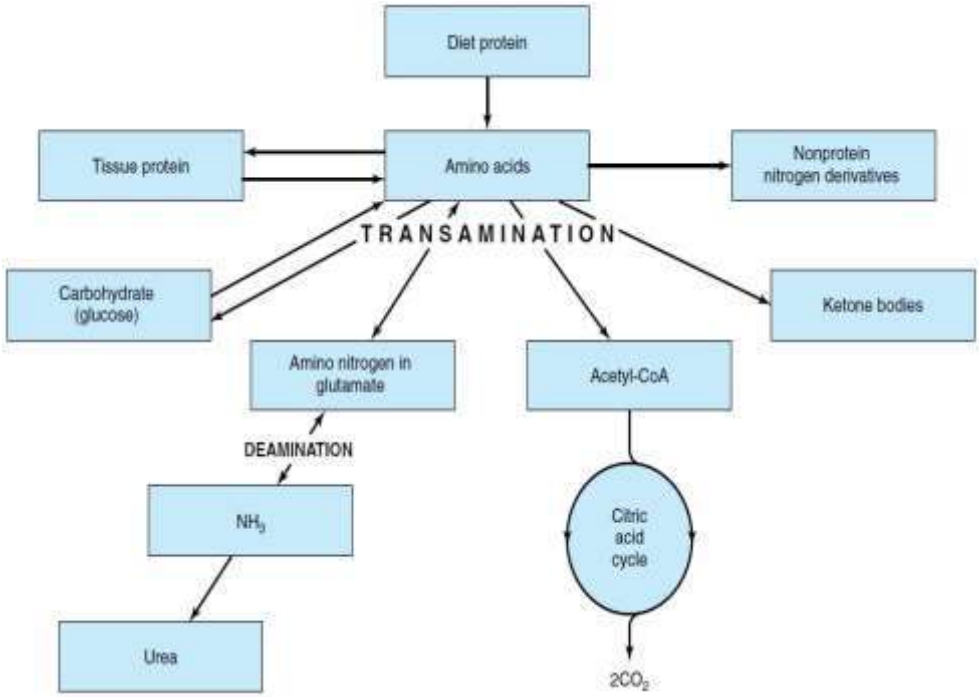
ويتضح من الشكل السابق أن دورة اليوريا تتم أساساً في الكبد ثم تنتقل الى الكلى عن طريق الدم ليتم اخراجها في البول. وتتم دورة اليوريا في مرحلتين الأولى في الميتوكوندريا والثانية في السيتوسول، ففي الميتوكوندريا تبدأ دورة اليوريا بتكاثف الأمونيوم NH_4^+ (من الجلوتامين) مع البيكربونات HCO_3^- (الموجودة بالدم والتي يكون مصدرها أتحاد CO_2 مع H_2O) لتكوين فوسفات الكربامويل Carbamoyl phosphate في وجود إنزيم الكربوميل فوسفيت سينثيز I (CPSI) ويتم في هذه الخطوة استهلاك 2ATP. بعدها يقوم فوسفات الكربامويل بمنح مجموعة الكاربامويل الى الأورنيثين لتكوين السترولين Citrulline في وجود إنزيم أورنثين ترانسكاربوميليز Ornithine transcarbamoylase.

ينتقل بعد ذلك السيترولين الى السيتوبلازم وتتكاثف بعد ذلك معه مجموعة أمين أخرى مصدرها الاسبارتات Aspartate لتكوين ارجينوسكسينات Argininosuccinate في وجود انزيم ارجينوسكسينات سنثيسيز Argininosuccinate synthetase. ينشطر بعد ذلك ارجينوسكسينات بواسطة ارجينوسكسينات لايز Argininosuccinate lyase الى الارجينين Arginine والفيوماريت Fumarate (ينتقل الى دورة كربس). يتم بعد ذلك تفكيك الارجينين الى اورنيثين ويوريا (تخرج من الجسم عن طريق البول) في وجود إنزيم Arginase وهنا ينتقل الأورنيثين إلى الميتوكوندريا لتتكرر الدورة من جديد.

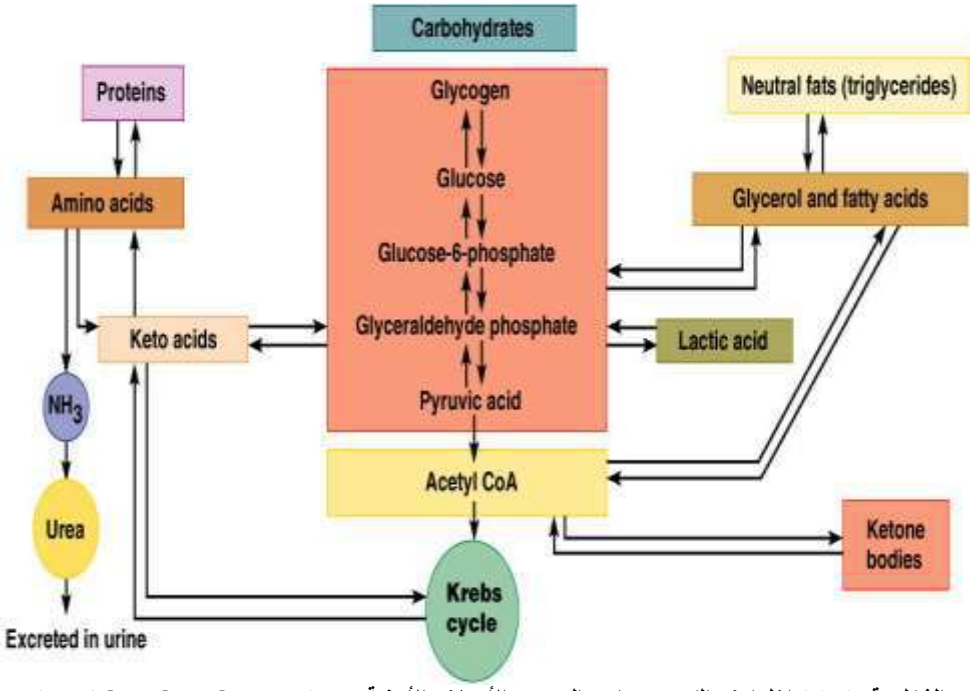


الشكل رقم (93) دورة اليوريا Urea cycle.

ويمكن إجمال أيض الأحماض الأمينية من خلال الأشكال التالية:



الشكل رقم (94) يوضح اجمالي أيض الأحماض الأمينية، عن (Murray *et al*., 2003).



الشكل رقم (95) تداخل ايض الكربوهيدرات والدهون والأحماض الأمينية، عن (Marieb and Hoehn, 2006).

الأمراض الخِلْقِيّة لاختلالات أيض الأحماض الأمينية Inborn Errors of Metabolism:

سبق وأن عرفنا بأن الأيض هو مجموع العمليات الكيميائية التي تحول بها كل الكائنات الحية الغذاء إلى مادة حية وطاقة، ويعتمد الأيض على وجود العديد من الإنزيمات والتي هي بروتينات تبنى حسب الشفرة الوراثية لجزء معين من الـ DNA يحتفظ بمخزون المعلومات الوراثية للخلية يدعى بالجين Gene (تتابع للنيوكليوتيدات في جزئ الـ DNA)، ولكن يحدث أحيانًا أن تحتوي الشفرة الوراثية على خطأ ما قد يسبب الإصابة بمرض أيضي، وتحدث الكثير من الأمراض الأيضية بسبب أن الشفرة الوراثية لا تستطيع بناء إنزيم مطلوب لعملية من عمليات الأيض، وهناك أكثر من 250 خلل أيضي يودى إلى حالات مرضية عديدة من أمراض خِلْقِيّة لاختلالات الأيض Inborn Errors of Metabolism مثل مرض خلايا الدم منجلية الشكل الذي ذُكر سابقاً، ومن الأمثلة عن تلك الأمراض التي سنذكرها هنا ما تم ذكره في القصة الواردة في بداية هذا الكتاب عن الطفل بيلي Billy المصاب بحالة البيلة الفنيلية الكيتونية (PKU):

البيلة الفنيلية الكيتونية Phenylketonuria (PKU):

مرض وراثي يؤدي إلى التخلف العقلي (ما لم يعالج خلال الطفولة المبكرة) وهو مرض وراثي يصيب طفل واحد من أصل عشرة ألف طفل، نتيجة تراكم الحامض الأميني الفنيل ألانين في سوائل الجسم (نتيجة خلل في إنزيم Phenylalanine Hydroxlase الذي يُحوِّل عادة الفنيل ألانين إلى تيروسين Tyrosine) وبالتالي يعوق تطور الدماغ مؤدياً إلى انخفاض وزن المخ وحدوث تلف للجهاز العصبي ويسبب إعاقة ذهنية حادة لا يمكن علاجها، ويتميز المريض بصغر حجم الجمجمة كما يظهر الجلد وخصلات الشعر بلون ابيض بسبب نقص إنتاج صبغة الميلانين melanin pigment الذي يعطي الشعر والجلد لونه (تنتج هذه صبغة من الحامض الأميني تيروسين)، كما يؤدي إلى نوبات صرع وظهور بعض التشوهات الجسمية خاصة في الأطراف السفلى ويُشخّص الأطباء هذا المرض بفحص دم الطفل بعد الولادة ببضعة أيام.

ويعالج المريض بمنعه من تناول الأغذية الحاوية على الفينيل ألانين إلا بنسب كافية للنمو وتجديد الأنسجة (بحيث لا يزيد محتواها عن 5 % من المستوى الطبيعي للفينيل ألانين)، كما يجب أن يحتوي غذائه على التيروسين بنسب كافية بسبب العجز في إنتاجه، حيث يتم إيقاف الرضاعة الطبيعية وكذلك التوقف عن الاعتماد على خلطات الرضع التقليدية وعن الأنواع الأخرى الشائعة من الحليب واستبدالها بحليب خاص يدعى Lofenalalc وعند الانتقال إلى أغذية الفطام يتم الاعتماد على الفواكه وخضراوات معينة والحبوب ويجب تحاشي الحليب ومنتجات الألبان واللحم والسمك والأطعمة الأخرى عالية البروتين، ويجب أن يبدأ العلاج قبل بلوغ المريض الشهرين من العمر للتأكُّد من التطور العقلي الطبيعي، ويوصي كثير من الأطباء باستمرار العلاج طوال فترة الطفولة، أما النساء المصابات بالمرض، فيجب عليهن إتباع نظام غذائي خاص قبل وأثناء الحمل لحماية التطور الدماغي للجنين.

الفصل السادس

الفيتامينات: أغذية الوقاية وتنظيم العمليات الحيوية

Vitamins: Protection and Metabolism Regulation Food

أغذية الوقاية والتنظيم:

يحتاج الجسم إلى مواد تساعده في تنظيم عملياته الحيوية وتتكون هذه المواد من مركبات عضوية لا يمكن صنعها داخل الجسم وهي الفيتامينات وكذلك بعض المواد غير العضوية مثل الحديد والكالسيوم والنحاس والتي تعمل في الجسم كمرافقات إنزيمية، واليود الذي يدخل في تكوين هرمون الثيروكسين، كما أن للكربوهيدرات والماء دوراً لا يمكن إهماله في عمليات التنظيم الحيوية في جسم الإنسان.

وتعد الفيتامينات من أهم العناصر الغذائية التي تعمل على تنظيم العمليات الحيوية في جسم الإنسان، كما أن لها دوراً مهماً في وقاية الجسم ودعم مقاومته للأمراض، وهناك العديد من المركبات التي تندرج تحت هذا المسمى، ونتيجة لتعدد تلك المركبات التي صنفت كفيتامينات كان لابد من وضع تعريف لهذه المواد التي تتباين في خواصها وتركيبها الكيميائي تبايناً واسعاً بحيث يشمل هذا التعريف النقاط المشتركة بين هذه الفيتامينات، وأهم هذه النقاط تتلخص في ما يلي:

1 - مجموعة من المركبات العضوية المتباينة التي لا تنتمي إلى مجموعة كيميائية محددة، تعمل على تنظيم عمليات النمو والتجديد وسائر العمليات الحيوية في الجسم.

2 - ضرورية للجسم بمقادير صغيرة جداً.

3 - لا بد من التزود بها عن طريق الغذاء، فلا يمكن لجسم الإنسان إنتاجها (مع بعض الاستثناءات).

4 – بعض هذه الفيتامينات ضرورية لأيض الطاقة، على الرغم من كونها غير منتجة للطاقة.

وحتى نهاية القرن التاسع عشر كان يعتقد أن العناصر الغذائية تتكون فقط من الكربوهيدرات والدهون والبروتينات والعناصر المعدنية بالإضافة إلى الماء، وكانت أسباب الكثير من الأمراض التي ثبت أنها ترجع إلى نقص الفيتامينات غير معروفة. لكن العديد من الباحثين لاحظوا أن حيوانات التجارب التي تناول غذاء مكون من مواد غذائية مكونة من الكربوهيدرات والدهون والبروتينات والعناصر المعدنية بشكلها النقي لا تستطيع النمو، وكان من أُولى هذه التجارب ما قام به لونين Lunin في عام 1881م حيث أثبت أن الفئران لا تستطيع أن تعيش على المكونات الغذائية المذكورة أعلاه إلا إذا أعطيت بعض الحليب في غذائها، ودلت هذه الملاحظات على أن المواد الغذائية تحتوي على مواد ضرورية غير العناصر الغذائية المعروفة في ذلك الحين.

وقبل ذلك لاحظ البحار الإنجليزي الكابتن كوك Cook في رحلته الممتدة من عام 1772م إلى عام 1775م أنه يمكن الشفاء من مرض الإسقربوط Scurvy الشائع الانتشار بين البحارة (وهو مرض ناتج عن نقص فيتامين C الذي لم يكن معروفاً آنذاك) باستهلاك الخضروات والفواكه الطازجة. وفي عام 1897م بين إجكمان Eijkman أن تغذية الدجاج على الأرز المقشور يتسبب في إصابتها بمرض البري بري Beriberi، ويمكن منع الإصابة بهذا المرض بإضافة قشور الأرز أو إضافة المستخلص الكحولي لنخالة الأرز إلى طعام المصابين به.

وفي عام 1906م أكد هوبكنز Hopkins ما كان قد توصل إليه لونين Lunin، حيث بين في تجاربه على فئران التجارب أن نمو هذه الفئران يكون بطيئاً بل يتوقف تماماً عند تغذى على وجبة غذائية اصطناعية مكونة من الكازين والنشا والسكر والدهن والأملاح المعدنية، ولا يعود النمو طبيعيا إلا إذا أعطيت الفئران الحليب بما يغطى ما لا يقل عن 4 % من مجموع الطاقة في الغذاء، ولذا فقد استنتج وجود عامل مساعد على النمو في الحليب، واقترح بأن يطلق على العناصر الغذائية الأساسية التي أشار إليها لونين Lunin بـ (المواد المُكمِلة في الأغذية Accessory Food Factors)، كما تمكن فونك Funk في عام 1911م من تأكيد نتائج إجكمان Eijkman، حيث قام فونك Funk بعزل مادة متبلورة من قشور الأرز وقد استعمل هذه المادة المتبلورة في معالجة مرض البري بري Beriberi. وقد اقترح فونك Funk تسمية هذه المادة الأمين الحيوي Vitamine (Vital-amine)، لاعتقاده أن هذه المادة مشتقة من الأمينات، كون الخواص الكيميائية لتلك المادة المتبلورة المعزولة شبيهة بالأمين. واصبحت كلمة فيتامين Vitamine مستعملة للدلالة على هذا المضمون، وفي أوائل العشرينيات من القرن الماضي حذف حرف (e) من آخر كلمة فيتامين Vitamine لتصبح Vitamin وذلك بعد اكتشاف طبيعة الفيتامينات وإثبات أنها مختلفة في تركيبها وخواصها مختلفة عن الأمينات.

ونتيجة للتطور في البحث العلمي تم التعرف على أنواع جديدة من العناصر الغذائية الضرورية للنمو والتكاثر، حيث توصل كل من أوسبورن Osborn ومندل Mendel من جامعة وسكونسن Wisconsin وكذلك ماك كولم McCollum وديفيز Davis من جامعة يالي Yale في عام 1913م أن فئران التجارب تحتاج لنموها الطبيعي إلى عامل ذائب في الدهن، وحتى هذا الوقت لم يكن معروفاً سوى اثنان من الفيتامينات (ولم يكن يعتقد وجود غيرهما) أحدهما ذائب في الدهن Fat soluble، والثاني ذائب في الماء Water soluble، لذلك اقترح ماك كولم McCollum استعمال أحرف الهجاء اللاتينية A و B لوصف هاتين المادتين الضروريتين للنمو، حيث أطلقوا على الفيتامين الذائب في الدهن Fat soluble الحرف A (Vitamin A)، أما الفيتامين الذائب في الماء Water soluble فأطلقوا عليه الحرف B (Vitamin B).

وبحلول العام 1920م كان العلماء قد عرفوا مركبات كثيرة لها علاقة بالنمو والوقاية من الأمراض، واعتبروها من الفيتامينات، ومن هذه الأبحاث ما أظهره كل من هولست Holst وفروليش Frolich في أبحاثهما حيث وجدوا أن مجموعة من خنازير غينيا التي تم تغذيتها على الحبوب والتبن الجاف قد أُصيبت بمرض الإسقربوط Scurvy، في حين لم تصب المجموعة الأخرى التي تم تغذيتها على الأغذية الطازجة، وسمى هذا العامل فيتامين C. كما توصل العلماء لاحقاً أن عامل النمو الذائب في الدهن Fat soluble vitamin، في الواقع هم أكثر من فيتامين ويحتوي على مادتين إحداهما تتلف سريعاً بالحرارة في وجود الهواء (استمروا في تسميتها بنفس الاسم Vitamin A)، أما الأخرى فوجد أنها أكثر ثباتاً تجاه الحرارة كما تبين أنها تقي من حدوث مرض الكساح Rickets وقد أُقترح أن تسمى Vitamin D بناءً على مقترح درموند Drummond الذي استخدم أحرف الهجاء اللاتينية الكبيرة في تسمية هذه الفيتامينات، واستمر هذا الأسلوب في تسمية الفيتامينات لعدة سنوات، فعرفت العديد من المركبات التي لها علاقة بالنمو والوقاية من الأمراض وسميت بفيتامينات A و B و C و D و E و F و G و H و....الخ، ولكن طريقة التسمية هذه عدلت، فقد اسقط الفيتامين F من قائمة الفيتامينات لأنه يزود الجسم بالطاقة (حيث كان يُعتقد أن الأحماض الدهنية الأساسية التي ذُكرت سابقاً هي الفيتامين F)، كما أُكتشف أن فيتامين B هو في الواقع أكثر من مركب واحد لذلك أصطلح على تسمية هذه المجموعة من المركبات (مجموعة فيتامينات B المركبةB-Complex Vitamins) وأُعطيت هذه المركبات أرقام متسلسلة لاحقه للحرف B (B_1 و B_2 و B_3 و.....الخ). كما أُكتشف لاحقاً أن هنالك تكراراً في التسميات لبعض الفيتامينات، فقد وجد أن الفيتامين G هو نفسه الفيتامين B_2، كما أن الفيتامين H والذي يطلق عليه حالياً أسم البيوتين Biotin هو نفسه الفيتامين B_7، وهكذا عُدلت تسمية الفيتامينات وفقاً لأحرف الهجاء اللاتينية وبدأ العلماء بعد ذلك في إطلاق تسميات عامة بخلاف الأحرف المشار إليها أنفاً، فمثلاً فيتامين A يسمى الريتنول Retinol، وفيتامين B_1 يسمى الثيامين Thiamin، وهكذا..... (كما سيرد لاحقاً)، لكن مع ذلك بقي بعض الفيتامينات معروفاً بأسمائها الرمزية التي اشتهرت بها مثل فيتامينات A و B_1 و B_2 و B_6 و B_{12} و C و D و E و K وسوف نشير إلى هذه الفيتامينات بأسمائها العامة وكذلك بأسمائها الرمزية المعروفة.

وقد اتفق العلماء على تقسيم الفيتامينات إلى مجموعتين رئيستين هما الذائبة في الدهن Fat Soluble Vitamins، والذائبة في الماء Water Soluble Vitamins.

الفيتامينات الذائبة في الدهن Fat Soluble Vitamins

تتضمن هذه المجموعة جميع الفيتامينات القابلة للذوبان في الدهن ومذيبات الدهون وتشمل فيتامينات A و D و E و K، وأهم ما يميز هذه المجموعة من الفيتامينات ما يلي:

1 - تتواجد بعض أفراد هذه المجموعة هيئة سوابق الفيتامينات Provitamins (الطلائع Precursors) وهي الصور غير الفعالة للفيتامينات الموجودة في الغذاء وتتحول داخل الجسم إلى الصورة الفعالة للفيتامين، وهي تتمثل في الكاروتينات التي تعتبر سوابق لفيتامين A، ومركب 7- ديهيدروكوليسترول الذي يتحول بفعل الأشعة فوق البنفسجية إلى فيتامين D_3.

2 - تمتص هذه الفيتامينات من خلال جدران الأمعاء الدقيقة في صورة متحدة مع الدهون، لذلك تتأثر سرعة امتصاصها بكمية الدهون الموجودة في الطعام.

3 - تمتص بمعدل أبطئ مقارنة بالفيتامينات الذائبة في الماء، وتنقل بواسطة الأوعية الليمفاوية بعد ارتباطها بحامل بروتيني Protein carrier نتيجة عدم ذوبانها في الماء.

4 – الكمية الزائدة منها عن حاجة الجسم يتم تخزينها في الكبد والأنسجة الدهنية مما يؤدي إلى ظهور أعراض التسمم نتيجة زيادة كمية الفيتامين المتناولة (Hypervitaminosis).

5 – غير قابلة للذوبان في الماء، ولذلك فهي لا تفقد في ماء الطهي.

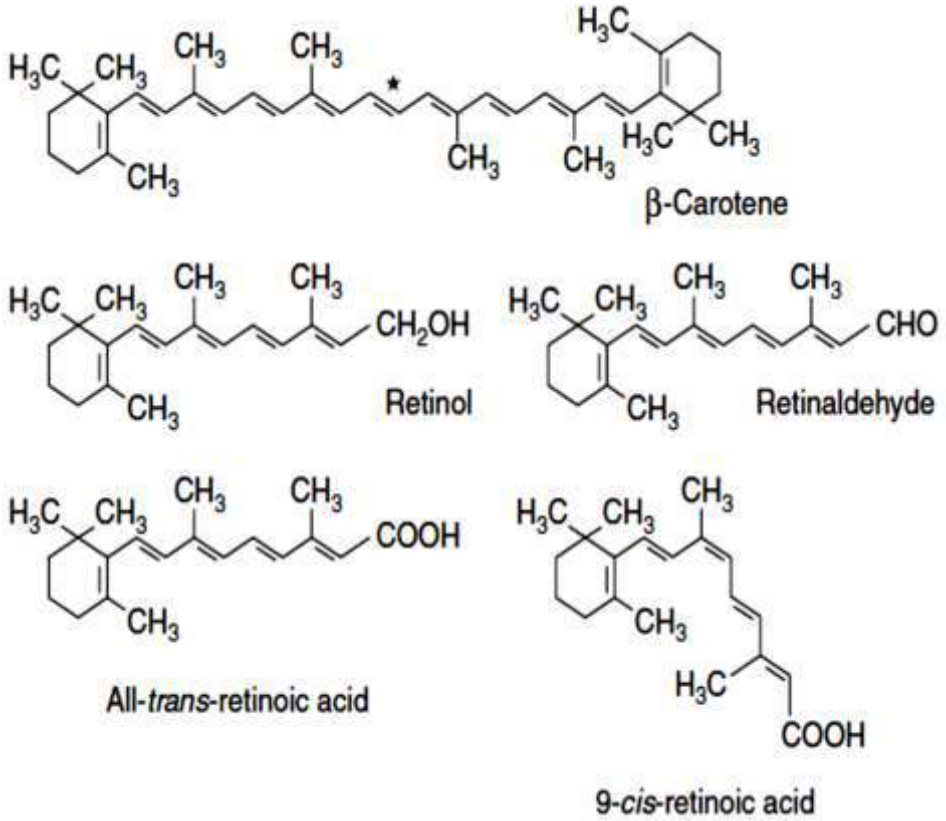
6 – لا تتلف بسهولة أثناء عمليات طهي الطعام.

الريتنول Retinol (Vitamin A):

الريتنول Retinol أو ما يعرف بفيتامين A هو أول فيتامين من الفيتامينات الذائبة في الدهن تم اكتشافه وذلك على يد كل من أوسبورن Osborn ومندل Mendel وماك كولم McCollum وديفيز Davis في عام 1913م حيث وجدوا أن فئران التجارب تنمو بشكل طبيعي عندما تتغذى على أغذية تحتوي على الزبد بينما لا تستطيع النمو بشكل طبيعي عند استبدال مصدر الدهن بدهن الخنزير بدلاً عن الزبد، وقد أثبت ماك كولم McCollum وزملاؤه في عام 1916م أن فيتامين A كان هو العامل المساعد على النمو وأنه يوجد بشكل ذائب في دهن بعض الأنسجة الحيوانية ودهن الحليب، كما عُرف أن الكاروتينات تتحول إلى فيتامين A بواسطة الحيوانات، حيث أوضح ستينبوك Steenbok من جامعة وسكونسن Wisconsin أن الكاروتينات Carotenes (الصبغات الصفراء المتواجدة في الخضروات والفواكه) تمثل سابق (طلائع) الفيتامين A (Provitamin A) لأنها تتحول داخل جسم الإنسان إلى فيتامين A.

ويتواجد فيتامين A طبيعياً بعدة صور مختلفة تتمثل في الريتنول Retinol ومشتقاته مثل إسترات الريتنول Retinol esters، والدهيد الريتنول Retinaldehyde (الريتنال Retinal)، والريتنول منزوع الهيدروجين Dehydroretinol، وحامض الريتنويك Retinoic acid،

وجميع هذه المركبات تمثل الصورة الجاهزة من فيتامين A. إضافة إلى هذه الصور هناك الكاروتينات التي تمثل سابق الفيتامين A، وتتواجد على هيئة بيتا كاروتين β-Carotene، وأيضاً ألفا وجاما كاروتين α-Carotene و γ-Carotene. الشكل التالي يوضح التركيب البنائي للصور المختلفة من فيتامين A.



شكل رقم (96) يوضح التركيب البنائي للصور المختلفة من فيتامين A.

خواص فيتامين A:

1 - الشكل النقي من الفيتامين عبارة عن بلورات صفراء باهتة، تنصهر عند درجة حرارة 63°م.

2 - بلورات الفيتامين النقي سريعة التأكسد عند التعرض للضوء أو الحرارة العالية جداً أو الجفاف.

3 - غير قابل للذوبان في الماء، في حين أنه يذوب في الدهن ومذيبات الدهون.

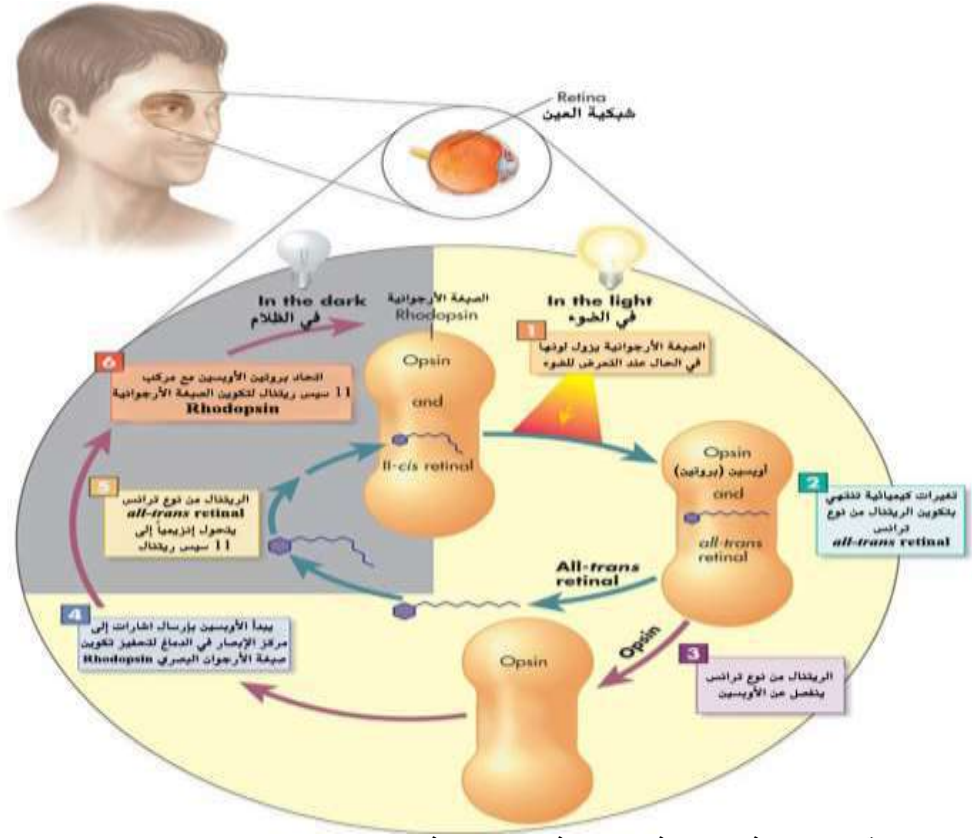
4 - لا يتلف بسهولة أثناء عمليات طهي الطعام أو عند حفظه بالتبريد.

5 - يتلف أثناء عملية الهدرجة المستخدمة في تصنيع الدهون النباتية.

وظائف فيتامين A: يمكن تلخيص وظائف فيتامين A بما يلي:

1- الإبصار:

وضح العالم جورج وألد George Wald دور فيتامين A في الإبصار في الضوء الخافت (ونتيجة لهذا العمل حصل على جائزة نوبل عام 1967م)، فشبكية العين Retina تتكون من نوعين من الخلايا الأولى خلايا مخروطية Cones وهي المسئولة عن الإبصار في الضوء من خلال صبغة بصرية حساسة للضوء تدعى أيودوبسين Iodopsin، أما النوع الثاني من الخلايا فهي خلايا عصوية Rods تكون مسئولة عن الإبصار في الظلام وهي تحتوي أيضاً على صبغات حساسة للضوء تتكون من اتحاد بروتين يدعى أوبسين Opsin مع مركب الريتنال ذو الوضع المجاور عند ذرة الكربون رقم (11) 11 *Cis*-Retinal تسمى الصبغة الأرجوانية أو الأرجوان البصري Rhodopsin، وصبغة الأرجوان البصري تتحلل في الحال عند التعرض للضوء، حيث يتكون الريتنال ذو الوضع المخالف Retinal *all-trans*، وتتكرر الدورة التي تتكون فيها صبغة Rhodopsin عند التعرض للضوء الخافت (ويحدث أن يتهدم جزء كبير من الريتنال)، لذلك فإن نقص فيتامين A يؤدي إلى قلة تكون صبغة Rhodopsin وهذه الحالة تعرف بالعشى الليلي.



الشكل رقم (97) دور فيتامين A في الإبصار في الضوء الخافت، عن (Wardlaw and Hampl, 2007).

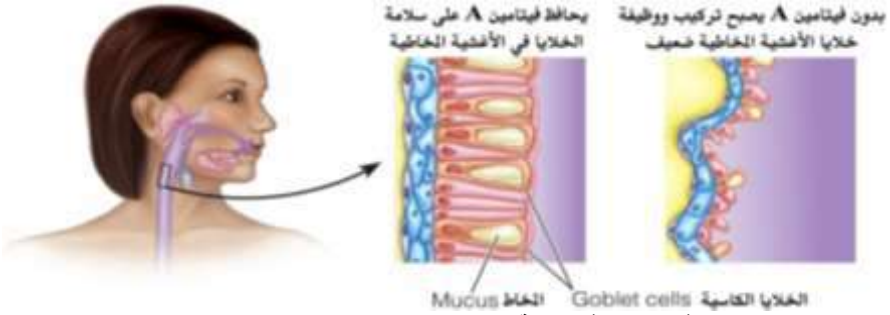
2- سلامة الخلايا الطلائية في الجسم:

إن فيتامين A ضروري لسلامة الأنسجة الطلائية المبطنة للجلد والعين والقنوات المختلفة في الجسم كالقناة الهضمية والقناة التنفسية والقناة البولية – التناسلية، كما ينشأ عن نقص الفيتامين طبقة طلائية خشنة، حيث تصبح الخلايا الطلائية صلبة وحرشفية بسبب تراكم الكيراتين Keratin (بروتين في الأنسجة المتقرِّنة) مما يؤدي إلى تكوين نتوءات بيضاء وتحبب سطح الجلد، وقد تحدث هذه التغيرات في القنوات الهضمية والتنفسية والبولية التناسلية، كما قد يحصل تصلب للأغشية المخاطية المبطنة لقرنية العين وتصبح قرنية العين سميكة ومعتمة مما قد يسبب مرض جفاف العين Xerophthalmia حيث يحدث ورم في الجفون وقلة افراز الدموع وظهور قرح وبقع بيضاء على القرنية ثم يحدث العمى الدائم.

الشكل رقم (98) تراكم الكيراتين Keratin وتكوين نتوءات بيضاء وتحبب سطح الجلد نتيجة نقص فيتامين A. وحالة جفاف العين Xerophthalmia، يساراً عن (Wardlaw and Hampl, 2007).

3- سلامة الجهاز التنفسي:

لفيتامين A دور مهم في حماية الجهاز التنفسي، فهو ضروري للتمايز الخلوي بين الخلايا الطلائية والخلايا الكأسية Goblet cells (غدد وحيدة الخلية) التي تقوم بإنتاج وافراز المخاط في نسيج الأغشية المخاطية ويعمل على زيادة مقاومتها للأمراض، كونه ضروري لبناء البروتينات السكرية المكونة للميوسين في الإفرازات المخاطية الذي يعمل على الحماية من الأحياء المجهرية الممرضة، كما تقوم الإفرازات المخاطية بحماية القناة الهضمية من العصارات الهاضمة.



الشكل رقم (99) دور فيتامين A في حماية الجهاز التنفسي، عن (Whitney and Rolfes, 2008).

4- النمو:

فيتامين A ضروري للنمو والتطور الطبيعيين، إذ يعمل الفيتامين في الحفاظ على نمو العظام وخصوصا نشاط خلايا العظام، إذ بدونه تفشل العظام في النمو الطولي، في حين أن الزيادة المفرطة منه تؤدي إلى هشاشة العظام وسهولة كسرها، كما يسبب عدم تناول كمية من الفيتامين في تكوين ناقص لطلاء الأسنان ويعقب ذلك انحلال الأسنان.

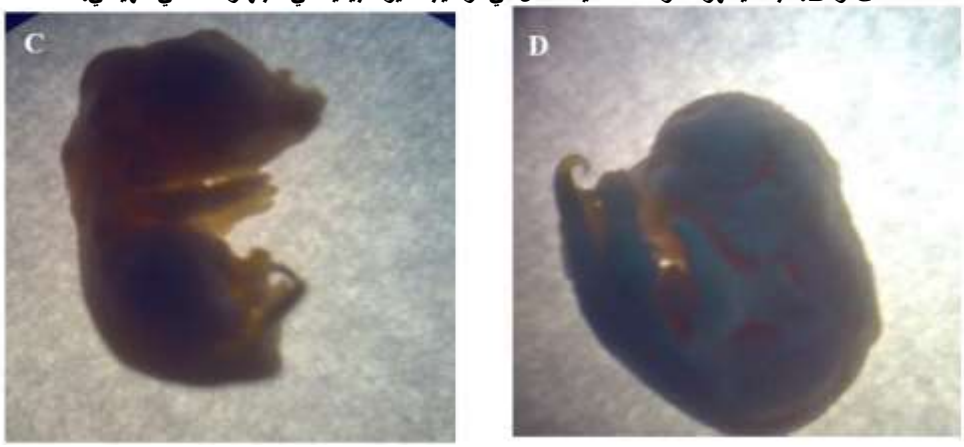
5- التكاثر:

فيتامين A يعمل على نشأة النطفة Spermatogenesis في الذكر وإعادة الامتصاص الجنيني في الأنثى، كذلك فإن الفيتامين ضروري لنمو الجنين وتطور المشيمة، لكن ينبغي عدم الإفراط في تناوله وخصوصاً في الأشهر الأولى من الحمل حيث يؤدي ذلك إلى حدوث تشوهات في الأجنة، والشكل رقم (105) يوضح التشوهات الحادثة في أجنة الفئران نتيجة الزيادة المفرطة من فيتامين A المعطاة للأمهات الحوامل عن بحث بعنوان {التأثيرات التغذوية لزيت كبد القرش (سبوتتيل) (*Carcharhinus sorrah*) على التغيرات الكيميوحيوية والجنينية للفأر الأبيض}

Nutritional Effects of Spottail Shark (*Carcharhinus Sorrah*) Liver Oil on Biochemical and Embryological Changes of White Mice.

منشور في (Bulletin of the Faculty Applied Science 1 (1) :1-13, 2009) للباحثين فهد عبدالحميد الشرجبي، فؤاد قاسم حمران وعلي محمد باعباد، وكان أهم ما خلُص إليه البحث {وجود اختلافات معنوية في مستويات ليبيدات مصل الدم بين مجموعة التجربة الضابطة والمجاميع التي أضيف زيت كبد القرش إلى غذائها بنسب 5 و 10 %، حيث ظهر التأثير المفيد لزيت كبد القرش جلياً من خلال الارتفاع في مستويات البروتينات الدهنية عالية الكثافة (HDL) وكذلك انخفاض مستويات البروتينات الدهنية منخفضة الكثافة (LDL). أما خلال الحمل لم تظهر تلك التغيرات المفيدة بجلاء، كما أن إضافة الزيت إلى غذاء الفئران الحوامل تسبب في انخفاض وزن وطول الأجنة والمواليد حديثي الولادة وكذلك انخفاض وزن المشيمة، إضافة إلى ظهور تشوهات خلقية مثل انعدام الدماغ، وتراكيب غير طبيعية في الجهاز العضلي الهيكلي (بسبب المحتوى العالي لزيت كبد القرش من فيتامين A)، كما لوحظت زيادة معنوية في وزن الكبد ، الكلى و الطحال للأمهات والمواليد}.

C و D: أجنة يظهر تشوهات خلقية تتمثل في تراكيب غير طبيعية في الجهاز العضلي الهيكلي.



الشكل رقم (100) يوضح التشوهات الحادثة في أجنة فئران التجارب نتيجة الزيادة المفرطة من فيتامين A المعطاة للأمهات الحوامل في تجربة أجريت في كلية العلوم – جامعة تعز.

المصادر الغذائية لفيتامين A:

يوجد الريتنول Retinol ومشتقاته في الأغذية الحيوانية، وخصوصاً في الكبد وكذلك الزبد والحليب والبيض والجبن والأسماك، وتحتوي الكلى على كميات لا بأس بها من الريتنول، إلا أن اللحوم تعتبر مصادر فقيرة به، وتحتوي الزيوت النباتية والمارجرين (الزبد الصناعي) على الريتنول الذي يضاف إليها أثناء التصنيع. كما توجد الكاروتينات Carotenes الخضروات الخضراء الداكنة والبرتقالية والفواكه، من أهمها الجزر والخضروات الورقية الخضراء الغامقة كالسبانخ والملوخية والبقدونس والنعناع، كما يوجد في الثمار الملونة الصفراء كالمشمش والخوخ والبابايا والقرع.

ونتيجة لتواجد فيتامين A طبيعياً بعدة صور مختلفة (كما سبقت الإشارة إلى ذلك) سواءً على هيئة ريتنول Retinol أو على هيئة مشتقات للريتنول وكذلك على هيئة كاروتينات مختلفة (ألفا وبيتا وجاما كاروتين α, β, γ –Carotene)، كان لابد من وجود معيار محدد لكمية فيتامين A في الأغذية المختلفة وهذا المعيار يتمثل بـ (مكافئ الريتنول Retinol equivalents) وكذلك معيار الوحدة الدولية International unit (IU) لفيتامين A، وعليه يمكن حساب كميات فيتامين A في الأغذية (أي كانت صور تواجده فيها) من خلال هذه المعايير، وهي تساوي:

1 مكافئ الريتنول = 1 ميكروجرام (µg) من الريتنول

1 مكافئ الريتنول = 12 ميكروجرام بيتا (β) كاروتين من أي مصدر غذائي (dietary)

1 مكافئ الريتنول = 24 ميكروجرام (µg) من أي نوع من الكاروتينات (ما عدى بيتا كاروتين)

1 مكافئ الريتنول = 3,33 وحدة دولية من فيتامين A

1 وحدة دولية من فيتامين A = 0,3 ميكروجرام من الريتنول

1 وحدة دولية من فيتامين A = 3,6 ميكروجرام من بيتا كاروتين β-Carotene

1 وحدة دولية من فيتامين A = 7,2 ميكروجرام لأي نوع من الكاروتينات (عدى بيتا كاروتين)

الشكل رقم (101) يوضح بعض المصادر الغذائية لفيتامين A، عن (Boyle and Long, 2007).

<u>الإفراط في تناول فيتامين A (Hypervitaminosis):</u>

إضافة إلى ما ذكر سابقاً (حول مضار الزيادة المفرطة من فيتامين A المعطاة للأمهات الحوامل في حدوث تشوهات خلقية للأجنة) فإن تناول كميات كبيرة ولفترات طويلة يمكن أن يكون ساماً للجسم (وللكبد بصفة أساسية)، وارتفاع مستويات فيتامين A في الجسم إلى الحدود السامة يؤدي إلى حدوث: آلام في البطن، عدم نزول الحيض، تضخم الكبد والطحال، اضطرابات في المعدة والأمعاء وغثيان وتقيؤ، سقوط الشعر وحكة بالجلد، إضافة إلى آلام في المفاصل، وتختفى اعراض التسمم بفيتامين A بصورة سريعة عند التوقف عن تناوله او تناول الاغذية الغنية به.

ولا يؤدي الإفراط في تناول الكاروتينات إلى مثل هذه الأعراض لكن قد يحدث فقط بعض التغير في لون الجلد و الذي يصبح مائلاً للون الأصفر البرتقالي إلا أن ذلك لا يشكل أي خطورة إطلاقاً.

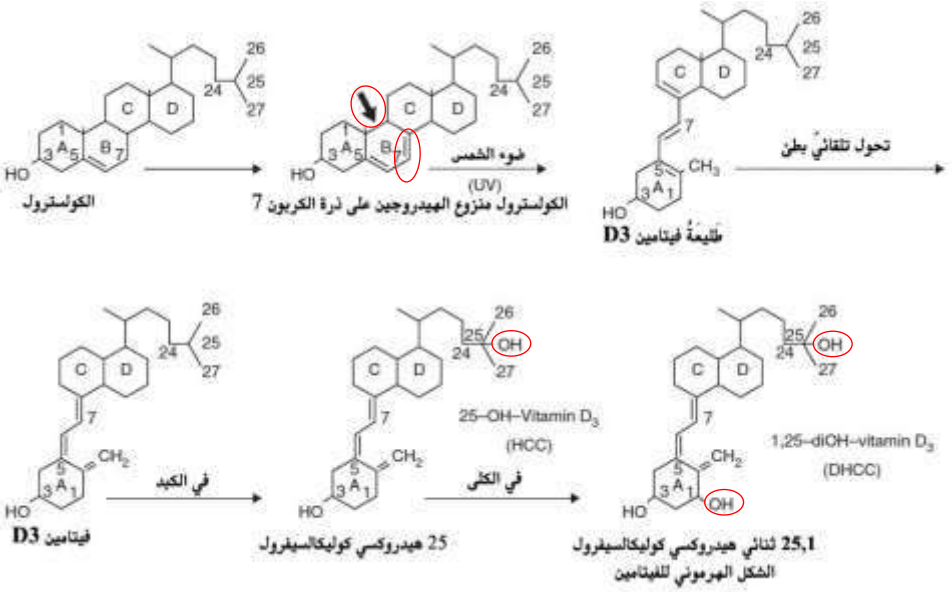
الشكل رقم (102) يوضح لـــــــــون الجلد المائل للأصفر البرتقالي نتيجة الإفراط في تنـــــاول الكاروتينات، عن (Sizer and Whitney, 2008).
(لاحظ الصورة الملونة في الغلاف الخارجي للكتاب)

ويحتاج الرجال إلى 900 ميكروجرام من الريتنول (حوالي 3000 وحدة دولية من فيتامين A)، أما النساء فتحتاج إلى 700 ميكروجرام من الريتنول (حوالي 2330 وحدة دولية من فيتامين A)، وتزيد الكمية للحوامل لتصل إلى 800 ميكروجرام من الريتنول (حوالي 2660 وحدة دولية من فيتامين A) و 1200 ميكروجرام من الريتنول (حوالي 3996 وحدة دولية من فيتامين A) للمرضعات يومياً.

الكالسيفرول Calciferol (Vitamin D):

إن فيتامين D هو مصطلح يستعمل لوصف مجموعة من المركبات المتشابهة (من الناحية الكيميائية 11 ستيرول جميعها يمتلك فعالية فيتامين D)، إلا أن من أكثرها أهمية مركب الكوليكالسيفرول Cholecalciferol (فيتامين D_3) الذي يتكون من تحول مركب الكولسترول منزوع الهيدروجين على ذرة الكربون رقم (7) 7-Dehydrocholesterol بفعل الأشعة فوق البنفسجية، وكذلك هناك مركب الإرجوكالسيفرول Ergocalciferol (فيتامين D_2) الذي يتكون من تحولات حيوية لمركب الارجسترول.

وسواء كان مصدر فيتامين D غذائي (فيتامين D_3) أو المصنع من تحول الكولسترول تحت الجلد بفعل الأشعة فوق البنفسجية، فإنه يتحول في الكبد إلى 25 هيدروكسي كوليكالسيفرول وهو الشكل السائد غير الفعال لفيتامين D في الدورة الدموية والذي ينتقل عن طريق الدم بواسطة حامل بروتيني إلى الكُلى وهناك يتحول إلى الشكل الهرموني للفيتامين D والذي يعرف بـ 25,1 ثنائي هيدروكسي كوليكالسيفرول حيث ينتقل إلى العظام والكُلى والأمعاء لأداء وظائف فيتامين D.



الشكل رقم (103) يوضح تكون فيتامين D_3 من الكولسترول والتحولات المختلفة لفيتامين D داخل الجسم، عن (Berdanier *et al.*, 2008).

خواص فيتامين D:

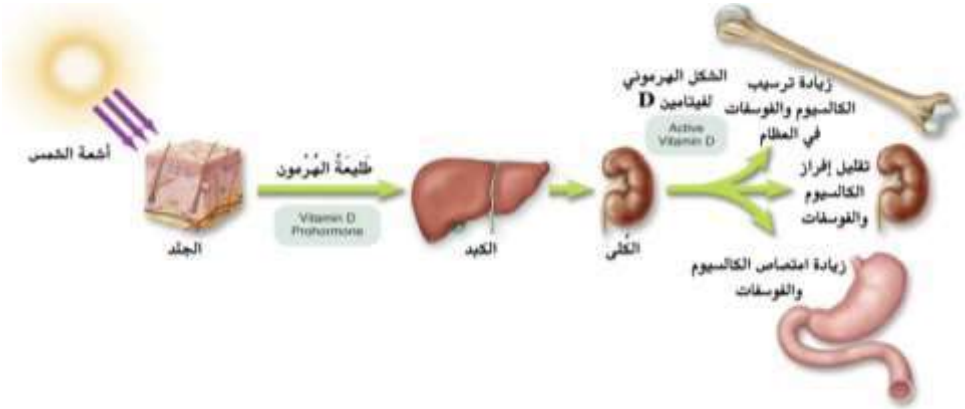
1 - الشكل النقي من الفيتامين عبارة عن بلورات بيضاء عديمة الرائحة.

2 - يقاوم الحرارة والأكسدة وهو من أكثر الفيتامينات ثباتاً.

3 - غير قابل للذوبان في الماء، في حين أنه يذوب في الدهن ومذيبات الدهون.

وظائف فيتامين D:

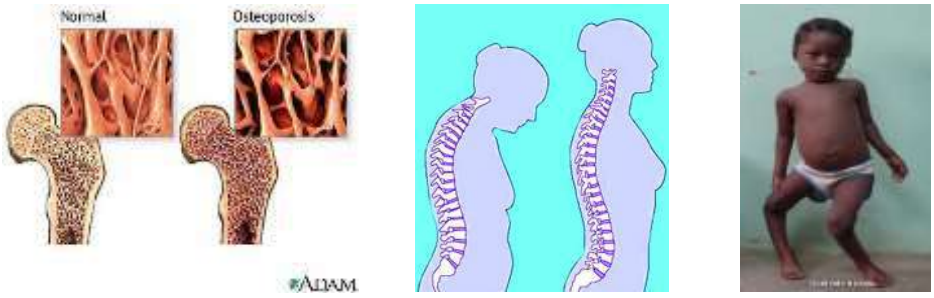
يؤدي الشكل الهرموني لفيتامين D (25,1 ثنائي هيدروكسي كوليكالسيفرول) إلى امتصاص الكالسيوم والفسفور والمحافظة على مستوياتهما في الدم، حيث يساعد على امتصاص الكالسيوم والفسفور بإسهامه في تصنيع بروتين حامل للكالسيوم، كما يعمل الفيتامين على حفظ مستوى الكالسيوم والفسفور في الدم عن طريق التوازن الحاصل بين امتصاص هذين العنصرين من خلال تخليق البروتين الحامل للكالسيوم والبروتين الحامل للفوسفور وهما ينقلان الكالسيوم والفوسفور من خلال جدار الامعاء إلى الدم، كما يسهم في إخراج الكالسيوم والفسفور وذلك بإعادة امتصاص الكالسيوم والفوسفور في الكُلى مما يقلل من فقدانهما من الجسم ويزيد تركيزهما في الدم، كما يعمل الفيتامين بشكل مباشر على زيادة ترسيب الكالسيوم والفسفور في العظام.



الشكل رقم (104) تنظيم فيتامين D لامتصاص الكالسيوم والفسفور والمحافظة على مستوياتهما عن طريق التوازن الحاصل بين امتصاص هذين العنصرين وإخراجهما عن طريق الكلى، عن (Schiff and Wardlaw, 2008).

ويؤدي نقص فيتامين D إلى الإصابة بمرض الكساح Rickets عند الأطفال (والذي يتميز بتقوس الضلوع وصغر حجم القفص الصدري وتضخم مفاصل الركبة والقدم ومعصم اليد وتقوس عظام الأرجل وكبر حجم الرأس وبروز الجبهة وتحدبها ورخاوة الجمجمة وعدم تعظمها بشكل متكامل في الجبهة الخلفية وتأخر ظهور الأسنان) نتيجة فشل تكلس (ترسيب الكالسيوم والفوسفور) اثناء نمو العظام، لذا فإن تعريض الأطفال لأشعة الشمس يومياً في الصباح الباكر (لمدة لا تقل عن نصف ساعة يومياً) يساهم في وقايتهم من مرض كساح الأطفال. كما يؤدي نقص فيتامين D إلى الاصابة بمرض تَلَيُّنُ العِظَامِ Osteomalacia وحالة تَخَلْخُلُ العِظَام Osteoporosis عند الكبار وخصوصاً عند النساء الحوامل والمرضعات حيث يستهلك كمية كبيرة من الكالسيوم من دم الأم لبناء الهيكل العظمي للجنين وللوقاية من هذه الحالة تعطى النساء الحوامل والمرضعات أغذية حاوية على الكالسيوم مع الحرص على إعطائها الكمية الكافية من فيتامين D لضمان الاستفادة من الكالسيوم وتحاشي حدوث حالات لين أو تَخَلْخُلُ العِظَام.

أما الافراط في تناول فيتامين D بكميات كبيرة وارتفاع مستوياته في الجسم إلى الحدود السامة Hypervitaminosis يؤدي إلى ارتفاع مستوى الكالسيوم في الدم مما يسبب تكون حصوات في الكُلى وتهتك أنسجتها، كما يؤدي إلى تكلس الأنسجة الطرية مثل القلب والكُلى والرئة نتيجة لتراكم الكالسيوم وترسبه علي هذه الاعضاء كما يؤدى هشاشة العظام وجفاف الجلد والاحساس بحالة من فقدان الشهية للأكل والاحساس بالغثيان والدوار وتأخر النمو عند الاطفال.



الشكل رقم (105) صور توضح مرض الكساح Rickets عند الأطفال (يمين)، ومرض لين العظام Osteomalacia عند الكبار (وسط)، وحالة تَخَلْخُلُ العِظَام Osteoporosis عند الكبار مقارنة بالعظام السليمة (يسار).

المصادر الغذائية لفيتامين D:

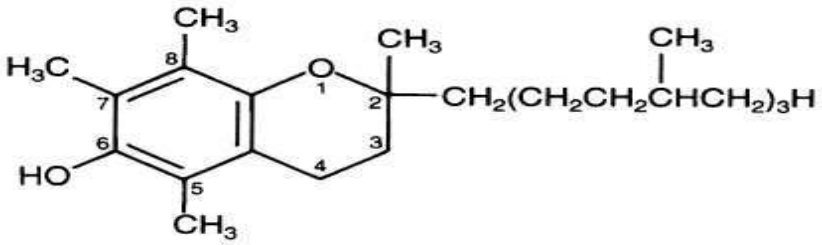
زيت كبد السمك ومنتجات الألبان والبيض كلها تحتوي على فيتامين D، ويوجد هذا الفيتامين في سمك السلمون والسردين والتونة، وكذلك يوجد في الشوفان والزيوت النباتية، كما يتكون فيتامين D في الجسم بتأثير أشعة الشمس.

الشكل رقم (106) يوضح بعض مصادر فيتامين D، عن (Boyle and Long, 2007).

ويقاس فيتامين D بالميكروجرام أو بالوحدة الدولية (IU)، حيث أن 1 ميكروجرام من فيتامين D_3 أو D_2 يساوي 40 وحدة دولية من فيتامين D، ويحتاج الإنسان البالغ أن يتناول حوالي 100 وحدة دولية من فيتامين D يومياً، أما الأطفال حتى سن السادسة من العمر إلى 400 وحدة دولية من فيتامين D يومياً، وينصح بالتعرض للشمس في الصباح الباكر لمدة نصف ساعة.

التوكوفيرول Tocopherol (Vitamin E):

تم التعرف على فيتامين E من قبل إيفانز Evans وبيشوب Bishop عام 1920م، حيث وجدا أنه ضروري للتكاثر عند فئران التجارب، فعرف على أنه الفيتامين المانع للعقم في ذكور الفئران، ثم عرفت علاقته مع الوقاية من العقم في حيوانات أخرى، أما في الإنسان فلم تثبت هذه الحقيقة بعد. وفيتامين E أو التوكوفيرول هو مضاد للأكسدة وله أهمية في الوقاية من السرطان وأمراض القلب والأوعية الدموية، وهو ضروري لإصلاح الأنسجة ويساعد في منع الإصابة بالمياه البيضاء Cataract في عدسة العين ويحسن الأداء الرياضي ويرخي التقلصات العضلية للساق ويحافظ على سلامة الأعصاب والعضلات، ويقوي جدار الشعيرات الدموية. وهو يوجد في عدة صور هي ألفا وبيتا وجاما ودلتا توكوفيرول α, β, γ, δ –Tocopherol، والصورة ألفا α هي أكثر صور الفيتامين فاعلية.



α-Tocopherol

In β-tocopherol, the 7-methyl group is absent

In γ-tocopherol, the 5-methyl group is absent

In δ-tocopherol, the 5- and 7-methyl groups are absent

In tocotrienols, the side-chain is —$CH_2(CH_2CH{=}\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{C}}CH_2)_3H$

الشكل رقم (107) يوضح التركيب البنائي لفيتامين E وصوره المختلفة.

خواص فيتامين E:

1 - مركب عضوي زيتي أصفر اللون غير قابل للذوبان في الماء في حين أنه يذوب في الدهن ومذيبات الدهون.

2 - يستخدم كعامل مضاد للأكسدة.

3 - يقاوم الأحماض، إلا أنه يتلف بالقلويات والتعرض للضوء كما تفقد كميات كبيرة منه أثناء تسخين الزيوت.

وظائف فيتامين E:

يقوم فيتامين E من خلال قدرته على التفاعل مع الاوكسجين بحماية الاحماض الدهنية غير المشبعة الموجودة في الزيوت والاغذية الدهنية وكذلك فيتامينات A و C والكاروتينات من الأكسدة، إضافة إلى منع تأكسد الاحماض الدهنية غير المشبعة المتعددة والفوسفوليبيدات المكونة للأغشية الخلوية في الجسم محافظاً على صحة وسلامة الانسجة ويحمي خلايا الدم الحمراء بتقوية الغشاء المحيط بها مما يحميها من التحلل، كما يمنع تليف الكبد الناتج عن وجود العوامل المؤكسدة ويقي الأعصاب من التلف، ويعمل فيتامين E كمحفز على سريان الالكترونيات في السلسلة التنفسية داخل الميتوكوندريا، كما أن له دور مهم في تكوين بعض المركبات الاساسية مثل المرافق الإنزيمي Q، إضافةً إلى دوره المهم في تكوين الاحماض النووية.

نقص فيتامين E:

يؤدي نقص فيتامين E إلى تدمير خلايا الدم الحمراء نتيجة لأكسدة الاحماض الدهنية عديدة عدم التشبع الموجودة في اغشيتها، كما يودي إلى تلف الأعصاب، ويمكن أن تشمل علامات النقص تدهوراً عصبياً عضلياً واضطرابات في الحيض عند النساء وحدوث الإجهاض التلقائي، كما يؤدي نقصه الى زيادة الكرياتين مع البول والى تليف الكبد والى التغوط الدهني، ويعاني الرضع الذين يتغذون بخلطات الرضع البديلة لحليب الأم (الغنية بالأحماض الدهنية عديدة عدم التشبع) من الانيميا وتجمع السوائل تحت الجلد واضرار جلدية، ويوجد ارتباط بين تزايد حالات نقص فيتامين E في الغذاء وكثرة الاعتماد على الأغذية المصنعة و قلة استهلاك المصادر الطبيعية للغذاء.

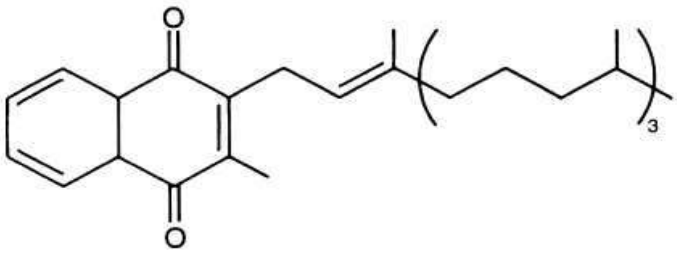
المصادر الغذائية لفيتامين E:

الزيوت النباتية والخضروات الورقية الداكنة والبقول والمكسرات والبذور والحبوب الكاملة واللحوم والأسماك والحليب، ويحتاج الإنسان البالغ أن يتناول حوالي 15 مليجرام منه يومياً.

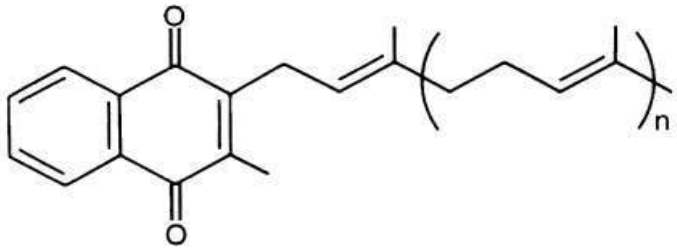
الشكل رقم (108) يوضح بعض المصادر الغذائية لفيتامين E، عن (Boyle and Long, 2007).

الفيالوكونيون Phylloquinone (Vitamin K):

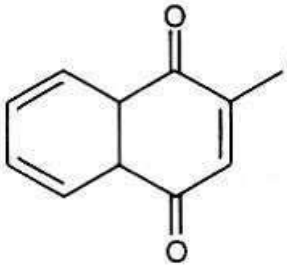
يعرف فيتامين K بالفيتامين المضاد للنزف وذلك لكونه يساعد على تخثر الدم. فقد لاحظ دام (Dam) عام 1929م أن الكتاكيت حديثة الفقس أظهرت نزيفاً مميتاً عند تغذيتها على غذاء وافٍ بجميع الفيتامينات والأساسيات الغذائية، وقد كان العامل المفقود من الغذاء موجود في الجزء غير المتصبن غير الستيرولي لكبد الخنزير، وكما أظهر الباحث نفسه في عام 1935م بأن العامل المضاد للنزف كان مرتبط بانخفاض تركيز البروثرومبين في الدم. وقد قادت الأبحاث اللاحقة إلى عزل وتشخيص فيتامين K عام 1939م، وهناك مادتان على الأقل موجودتان طبيعياً هما فيتامين K_1 و K_2 ويمكنها منع الإصابة بالنزيف.



Vitamin K_1 (phylloquinone)



Vitamin K_2 (menaquinone series)



فيتامين مصنع معملياً

Vitamin K_3 (Menadione)

الشكل رقم (109) يوضح التركيب البنائي لفيتامين K وصوره المختلفة.

خواص فيتامين K:

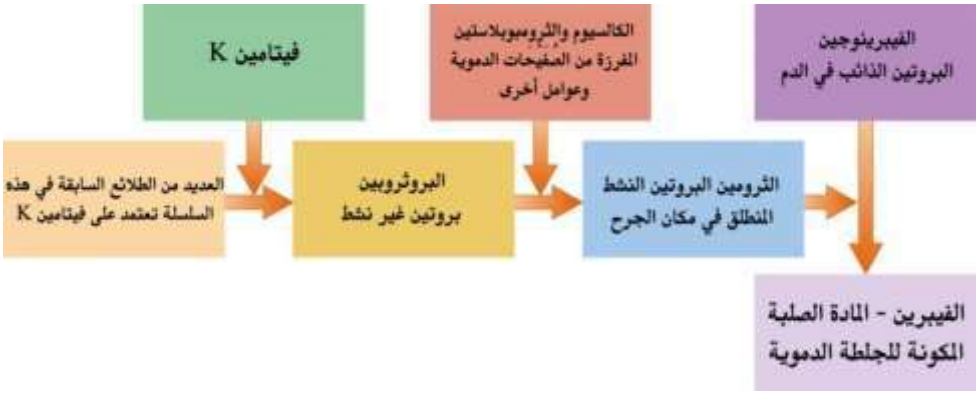
1 - مركب زيتي أصفر أو متبلور أصفر اللون.

2 - قابل للذوبان في الدهن ومذيبات الدهون (فيتامين K_3 يذوب في الماء).

3 - يتحمل الحرارة والأكسدة، لكنه يتلف بالأحماض القوية والقلويات والضوء.

وظائف فيتامين K:

يحفز فيتامين K الممتص من الامعاء على تكوين مادة البروثروبين التي تتحول الى مادة الثرومين وذلك بمساعدة ايونات الكالسيوم ومادة الثرومبوبلاستين وهي فوسفوليبيدات تفرز من الصُفَيْحَات الدموية وعوامل أخرى، حيث تنطلق الى مكان الجرح، مما يودي إلى تحويل مادة الفيبرينوجين (بروتين ذائب في الدم) الى مادة الفيبرين الصلبة والمكونة للجلطة الدموية، ولذلك فإن فيتامين K ضروري لتجلط الدم ويؤدي نقصه إلى حدوث نزيف غير طبيعي أو نزيف داخلي.



الشكل رقم (110) خطوات تكون بروتين الفيبرين المكون للجلطة الدموية، عن (Whitney and Rolfes, 2008).

وفيتامين K أيضاً ضروري لتكوين العظام وإصلاحها كونه ضروري لتخليق مادة الأوستيوكالسين وهو البروتين الموجود في النسيج العظمي والذي تتبلور عليه أملاح الكالسيوم وبالتالي قد يُساعد على منع هشاشة العظام، ويلعب فيتامين K دوراً مهماً في الأمعاء ويساعد على تحويل الجلوكوز إلى جليكوجين و يتم تخزينه في الكبد مما يُنشط الوظائف الصحية للكبد.

نقص فيتامين K:

إن نقص فيتامين K يؤدي إلى انخفاض مستوى البروثروبين في الدم مما يؤدي إلى البطء في تجلط الدم، كما يؤدي إلى حدوث نزيف في الاطفال حديث الولادة حيث يصاب الطفل حديثي الولادة بنزيف شديد نتيجة لانخفاض مستوى البروثروبين في الدم ونقص الفيتامين في الجسم كون امعاء الاطفال خالية من البكتيريا الضرورية لتكوين الفيتامين كما أن مخزون كبد الطفل يكون مخفضاً جداً، لذلك يعطى الطفل بعد الولادة مباشرة جرعة من فيتامين K كما تُنصح الام الحامل بأخذ جرعات منه.

ويحدث نقص في فيتامين K في الجسم بسبب ضعف امتصاص الفيتامين في الامعاء نتيجة وجود نقص في افراز املاح الصفراء او الدهون اللذان يساعدان على امتصاصه، أو الاصابة ببعض الامراض المسببة لسوء الامتصاص أو تناول المضادات الحيوية التي تقتل البكتيريا الصديقة في الأمعاء.

المصادر الغذائية لفيتامين K:

يوجد الفيالوكونيون Phylloquinone (فيتامين K_1) في بعض الأغذية و منها الكرنب والخضروات الورقية الداكنة وصفار البيض والكبد والشوفان وفول الصويا والقمح، كما يتكون الميناكوينون Menaquinone (فيتامين K_2) في الأمعاء الغليظة بواسطة بكتيريا القولون وتقدر فاعليته بحوالي 75% من فيتامين K_1، والشكل التالي يوضح بعض المصادر الغذائية لهذا الفيتامين.

الشكل رقم (111) يوضح بعض المصادر الغذائية لفيتامين K، عن (Boyle and Long, 2007).

ويحتاج الإنسان البالغ أن يتناول حوالي 80 ميكروجرام يومياً للرجل و 65 ميكروجرام يومياً للمرأة من فيتامين K يومياً.

الفيتامينات الذائبة في الماء Water Soluble Vitamins

تتضمن هذه المجموعة جميع الفيتامينات القابلة للذوبان في الماء وتشمل مجموعة فيتامينات B و فيتامين C، وأهم ما يميز هذه المجموعة من الفيتامينات ما يلي:

1 - تتواجد فقط في صورتها النشطة فسيولوجياً وليس لها أي سوابق (طلائع Precursors) باستثناء النياسين الذي يمكن أن يتكون داخل الجسم من الحامض الأميني تربتوفان.

2 - تمتص سريعاً من خلال جدران الأمعاء الدقيقة وتنتقل إلى الدم نتيجة ذوبانها في الماء.

3 - الكمية الزائدة منها عن حاجة الجسم لا يتم تخزينها وإنما تخرج مع البول، لذا فإن تناول كميات كبيرة منها لا يكون سمياً بالنسبة للإنسان (مقارنة بفيتامينات A و D) مع ملاحظة بعض المشاكل الصحية نتيجة تناول كميات كبيرة منها.

4 - تفقد في ماء الطهي، كما تتلف بسهولة أثناء عمليات طهي الطعام.

مجموعة فيتامينات B المركبة B-Complex Vitamins:

سبق وأن ذُكر أنه بعد اكتشاف فيتامين B تبين أنه أكثر من مركب واحد لذلك أصطلح على تسمية هذه المجموعة من المركبات (مجموعة فيتامينات B المركبة B-Complex Vitamins) وأُعطيت هذه المركبات أرقام متسلسلة لاحقه للحرف B (B_1 و B_2 و B_3 و.....الخ). وتشترك هذه المجموعة من الفيتامينات في كونها مرافقات إنزيمية Coenzymes في العمليات الأيضية لإنتاج الطاقة، إلا أنها تختلف فيما بينها في تركيبها الكيميائي وطبيعة الدور الذي تقوم به في عمليات تمثيل الطاقة، ومن أهم الشروط التي لابد من توفرها في الفيتامين كي يُعد من مجموعة فيتامينات B المركب B-Complex Vitamins، (إضافة إلى ما سبق ذكره في التعريف العام للفيتامينات) ما يلي:

1 - أن يقوم الفيتامين بوظيفته على هيئة مرافق إنزيمي Coenzyme.

2 - أن يعمل الفيتامين كمنشط للتفاعل الكيميائي بكميات قليلة جداً.

3 - أن يكون للفيتامين دور تنشيطي لتفاعل كيميائي واحد أو أكثر.

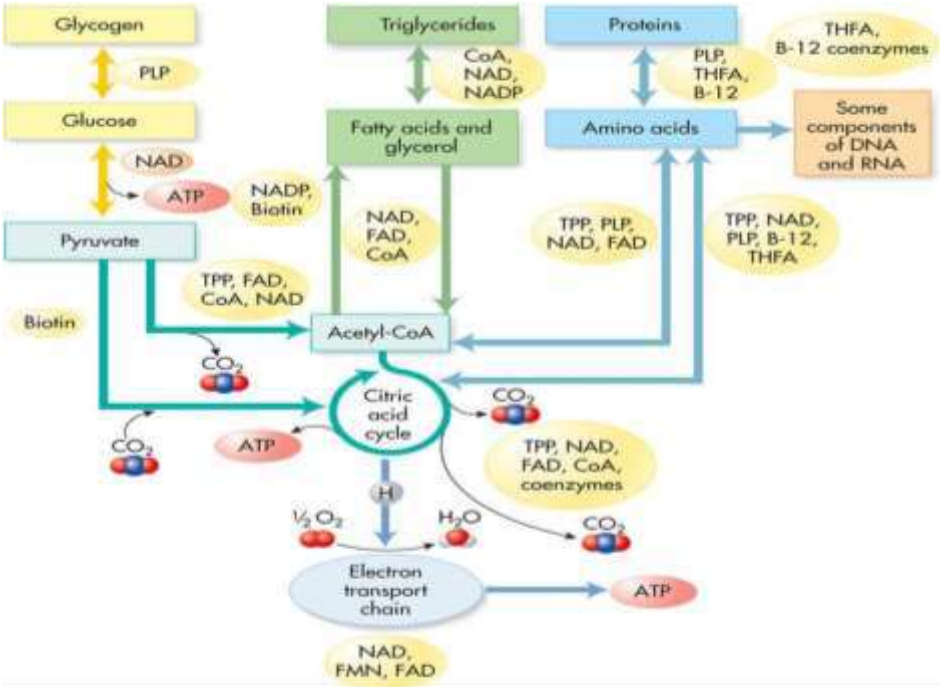
4 - أن يتوفر الفيتامين في كل الأنسجة الحية.

وتتوفر هذه الشروط في ثمانية من الفيتامينات هي: الثيامين Thiamin (فيتامين B_1)، الرايبوفلافين Riboflavin (فيتامين B_2)، النياسين Niacin (فيتامين B_3)، حامض البانتوثينيك Pantothenic(فيتامين B_5)، البيريدوكسين Pyridoxine (فيتامين B_6)، كوبال أمين Cobalamine (فيتامين B_{12})، حامض الفوليك Folic acid، وكذلك البيوتين Biotin، وجميعها تنتشر في الخلايا والأنسجة الحية حيث أن الوظائف التي تقوم بها ضرورية لهذه الخلايا (لاحظ الجدول والأشكال التالية).

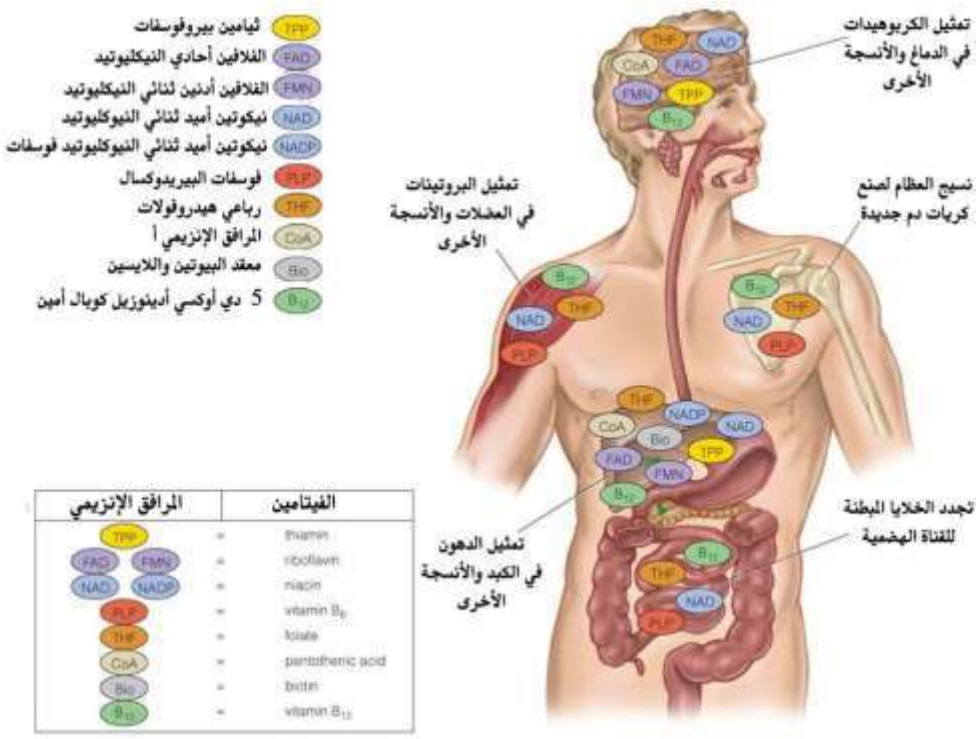
جدول رقم (20): فيتامينات B المركبة B-Complex والمرافقات الإنزيمية Coenzymes المقابلة*

الفيتامين	المرافق الإنزيمي	التفاعل الإنزيمي
الثيامين Thiamin	Thiamin pyrophosphate (TPP)	إزالة مجموعة الكربوكسيل من الأحماض الكيتونية – الفا
الرايبوفلافين Riboflavin	Flavin Mononucleotide (FMN) Flavin Adenine Dinucleotide (FAD)	تفاعلات الأكسدة والاختزال
النياسين Niacin	Nicotinamide Adenine Dinucleotide (NAD) Nicotinamide A. D. Phosphate (NADP)	تفاعلات الأكسدة والاختزال
حامض البانتوثينيك Pantothenic	المرافق الإنزيمي (أ) Coenzyme A	نقل مجموعة الأسيتايل
البيريدوكسين Pyridoxine	فوسفات البيريدوكسال Pyridoxal Phosphate (PLP)	نقل مجموعة الأمينو
كوبال أمين Cobalamin	5 - دي أوكسي أدينوزيل كوبال أمين 5-Deoxyadenosylcobalamin	نقل ذرة هيدروجين من ذرة كربون إلى ذرة كربون مجاورة
حامض الفوليك Folic acid	رباعي هيدروفولات Tetrahydrofolate (THF)	نقل مجموعة تحتوي على ذرة كربون واحدة
البيوتين Biotin	Biotin-lysine complexes (biocytin)	نقل ثاني أكسيد الكربون CO_2

* المصدر (الأعسر، 1996)



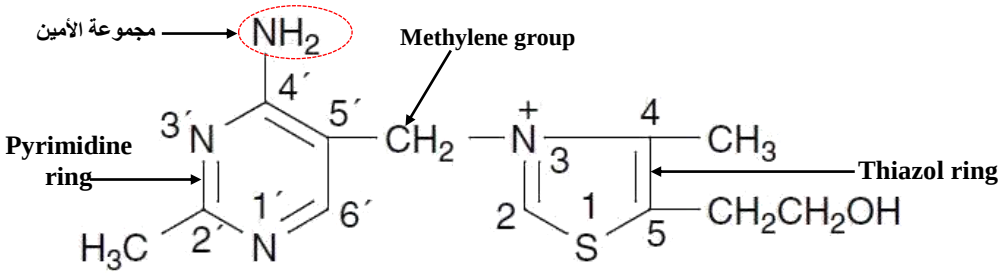
الشكل رقم (112) يوضح دور فيتامينات B المركبة كمرافقات إنزيمية Coenzymes في أيض العناصر الغذائية المنتجة للطاقة، عن (Wardlaw and Hampl, 2007).



الشكل رقم (113) يوضح دور فيتامينات B المركبة كمرافقات إنزيمية Coenzymes في العمليات الحيوية التي تحدث في جسم الإنسان، عن (Sizer and Whitney, 2008).

الثيامين Thiamin (B_1 Vitamin):

عرف هذا الفيتامين على أنه العامل المضاد لمرض البري بري Beriberi في الإنسان، وهذا المرض معروف منذ القدم. وقد بين إجكمان Eijkman في عام 1898م أن تغذية الدجاج على الأرز المقشور يتسبب في إصابتها بمرض البري بري، وأشار إلى أنه يمكن منع الإصابة بهذا المرض بإضافة قشور الأرز أو إضافة المستخلص الكحولي لنخالة الأرز إلى طعام المصابين به. وقد أكد فونك Funk في عام 1911م نتائج إجكمان Eijkman، حيث قام Funk بعزل مادة متبلورة من قشور الأرز وقد استعمل هذه المادة المتبلورة في معالجة مرض البري بري، وقد تم تسمية هذه المادة المتبلورة التي عزلها Funk واستخدمها في معالجة هذا المرض بفيتامين B_1 من قبل مجلس الأبحاث الطبية البريطاني في عام 1927م. وفي عام 1936م تمكن وليامز Williams وكلاين Cline من تصنيع فيتامين B_1 وبينا أنه يتكون من حلقة بيريميدين Pyrimidine ring متصلة عبر مجموعة ميثيلين Methylene group مع حلقة ثيازول Thiazol ring، وأطلقا عليه أسم الثيامين Thiamin. والشكل التالي يوضح التركيب البنائي لفيتامين B_1.



الشكل رقم (114) يوضح التركيب البنائي لفيتامين B_1.

خواص فيتامين B_1:

1 - الشكل النقي من الفيتامين عبارة عن بلورات بيضاء صلبة ذات طعم مالح ورائحة شبيهة بالخميرة.

2 - بلورات الفيتامين قابلة للذوبان في الماء، والكحول بتركيز 95 %، لكنه غير قابل للذوبان في الدهن.

3 - بلورات الفيتامين تتحمل درجة حرارة تصل إلى 120°م في الأوسط الحامضية، إلا أنه حساس للحرارة والأشعة فوق البنفسجية في الأوسط القاعدية.

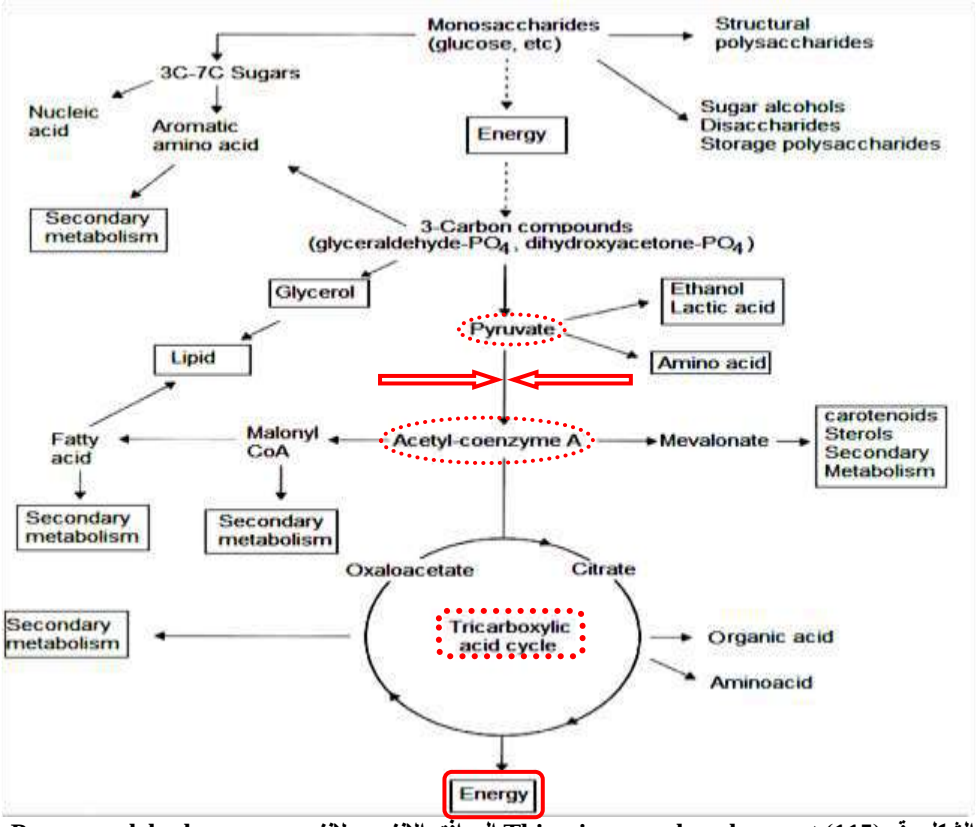
4 - يتلف الفيتامين أثناء عمليه الطهي والشواء، كما يتلف أثناء علمية الكبرتة للفواكه المجففة أو في حالة استخدام أملاح الكبريت كمادة حافظة.

وظائف فيتامين B_1:

يمكن تلخيص وظائف فيتامين B_1 بما يلي:

1- دور فيتامين B_1 في إنتاج الطاقة:

للثيامين صورة فعالة فسيولوجياً هي ثيامين بيروفوسفات Thiamin pyrophosphate، وهذا المركب يقوم بدور مهم في عملية أيض الكربوهيدرات وانطلاق الطاقة حيث يعمل كمرافق إنزيمي Coenzyme لعدد من الإنزيمات مثل إنزيم Pyruvate dehydrogenase الذي يعتبر واحد من ثلاثة إنزيمات (تدعى في مجملها Pyruvate dehydrogenase complex)، تدخل في تكوين مركب Acetyl Coenzyme A من البيروفات Pyruvate الذي يعتبر المادة البادئة له (وهذا ما سبق توضيحه)، وهذا المركب يدخل دورة الحامض ثلاثي الكربوكسيل Tricarboxylic acid cycle (TCA)، وهذه الدورة لها دور في أكسدة المركبات العضوية وإنتاج الطاقة كما أن لها ولمركب Acetyl Coenzyme A دور مهم في عملية البناء الحيوي لمادة الخلية. وهذا ما يوضحه الشكل التالي:



الشكل رقم (115) دور Thiamin pyrophosphate المرافق الإنزيمي لإنزيم Pyruvate dehydrogenase الذي يدخل في تكوين مركب Acetyl Coenzyme A من Pyruvate، الذي يدخل دورة TAC، الدورة المهمة في إنتاج الطاقة كما أن لهذا المركب دور في عملية البناء الحيوي لعدد من المركبات المهمة في الجسم.

كذلك يعمل الثيامين بيروفوسفات كأحد المرافقات الإنزيمية لإنزيمات ألفا كيتوجلوتاريت ديهيدروجينيز المركبة α-ketoglutarate dehydrogenase complex التي تعمل على تحويل مركب α-Ketoglutarate إلى مركب Succinyl CoA داخل دورة الحامض ثلاثي الكربوكسيل (TCA) التي سبق الإشارة إلى دورها في إنتاج الطاقة وفي عملية البناء الحيوي. ولذلك فان نقص الثيامين يؤدي إلى تراكم مركبي الـ Pyruvate و α-Ketoglutarate في الجسم مما يؤدي إلى عدم قدرة الجسم على الانتفاع من العناصر الغذائية وانتاج الطاقة.

2- دور فيتامين B_1 في تفاعلات إنزيم Transketolase:

إن تفاعلات إنزيم الترانسكيتوليز Transketolase من التفاعلات الأساسية في مسار السكر السداسي أُحادي الفوسفات الذي تكمن أهميته في إنتاج الطاقة والبناء الحيوي وحدوث العديد من التفاعلات المعقدة والتي تزود من خلالها الخلايا بالعديد من المواد السابقة الضرورية لعمليات تخليق القواعد النتروجينية، ومن المركبات المتكونة في هذا المسار الأيضي السكريات الخماسية الكربون ومن أمثلتها سكر الريبوز Ribose الذي يدخل في تركيب الحامض النووي RNA وكذلك سكر الريبوز منقوص الأكسجين Deoxyribose الذي يدخل في تركيب الحامض النووي DNA، وكذلك إنتاج النيكوتين أميد ثنائي النيوكليوتيد فوسفات المختزل NADPH المهم كقوة اختزالية في عمليات البناء الحيوي للعديد من المركبات المهمة في الجسم.

3- دور فيتامين B_1 في المحافظة على أداء الجهاز العصبي:

فيتامين B_1 يساعد على إفراز الأستيل كولين Acetylcholine والسيروتونين Serotonin وهي مركبات تستجيب للمنبهات الخارجية (ناقلات للإشارات العصبية) وتفرز عند نهاية الأعصاب Neurotransmitters وتنقل التأثيرات إلى الجهاز العصبي. ووجود ثلاثي فوسفات الثيامين Thiamin Tri-phosphate في الخلايا العصبية وأغشيتها يعتبر دليل على دور فيتامين B_1 في المحافظة علي أداء الجهاز العصبي لوظائفه الطبيعية.

نقص فيتامين B_1:

تحدث أعراض نقص فيتامين B_1 نتيجة لتراكم البيروفات Pyruvate التي لا تتحول إلى مركب أسيتل المرافق الإنزيمي (أ) Acetyl Coenzyme A، وكذلك تراكم مركب الفا كيتوجلوتاريت α-Ketoglutarate، مما يؤدي إلى خلل في العمليات الأيضية في الجسم، وتظهر هذه الأعراض في الأنسجة العضلية والنسيج العصبي.

وتتمثل أعراض نقص فيتامين B_1 في الجسم بما يلي:

1- الإصابة بمرض البري بري Beriberi:

إن نقص فيتامين B_1 يؤدي إلى عدم قدرة الجسم على تمثيل الكربوهيدرات لإنتاج الطاقة (مما يؤدي إلى نقص إمداد الجسم بالطاقة)، كما أن عدم قدرة الجسم على تمثيل هذه العناصر الغذائية يودي إلى عدم تكون المركبات التي تستجيب للمنبهات الخارجية عند نهاية الأعصاب، إضافة إلى تراكم المواد ذات التأثير السام في الجسم، جميع هذه العوامل تؤدي إلى الإصابة بمرض البري بري Beriberi الذي أشتق اسمه من اللغة السنهالية ويعني (لا أستطيع)، حيث إن المصاب به يصبح مريضًا جدًّا إلى درجة عدم القدرة على القيام بأيّ شيء، وتظهر الأعراض الأولية لهذا المرض على شكل إعياء واكتئاب وتهيج وتوتر عصبي وضعف الذاكرة وعدم القدرة على التركيز إضافة إلى تيبس الأطراف السفلية والشلل والألم، وتبدأ أنسجة العضلات في التهتك تدريجيًا، وفي الحالات المتقدمة يؤثر البري بري على الجهاز العصبي ويحدث تسارع في ضربات القلب وتضخم لعضلات القلب مما يضعف قدرته على دفع الدم إلى الجسم وتحدث الوفاة غالبًا نتيجة لتوقف القلب عن العمل، وهناك أربعة أنواع من مرض البري بري Beriberi وهي:

1- مرض البري بري الجاف Dry Beriberi: تتمثل أعراضه في ضمور عضلات الساقين وصعوبة المشي وتنميل الأقدام، والتهاب الأعصاب الذي قد يؤدي إلى شلل الأطراف، ويصحب ذلك انخفاض وزن المريض.

2- مرض البري بري الرطب Wet Beriberi: ويتميز هذا النوع بحدوث ورم في الساقين نتيجة تجمع السوائل في أنسجة الجسم المختلفة (Edema)، ويصاحب ذلك انخفاض في الشهية واضطراب في الدورة الدموية والجهاز الهضمي وتسارع ضربات القلب Tachycardia.

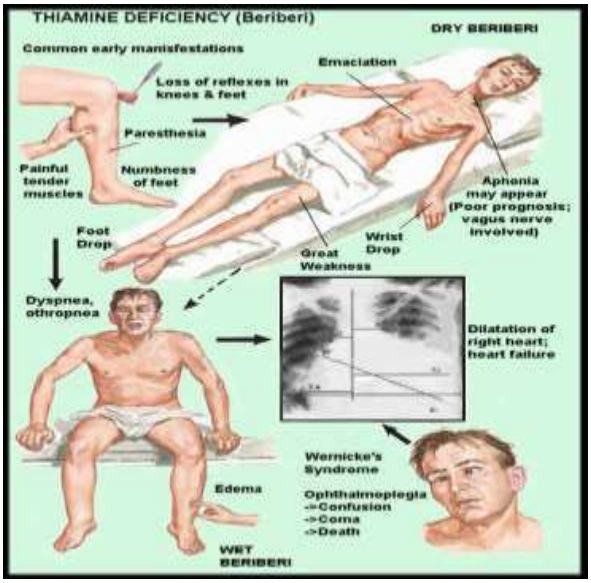
3- مرض البري بري الحاد Acute Beriberi: هو أخطر أنواع هذا المرض ويتميز هذا النوع بتضخم القلب وخصوصاً البطين الأيمن مما يضعف قدرته على دفع الدم إلى الجسم، وقد يؤدي هذا النوع من البري بري إلى الموت المفاجئ.

4- مرض بري بري الرضع Infantile Beriberi: هناك نوعين من مرض البري بري عند الرضع Infantile Beriberi هما:

أ- مرض بري بري الرضع الحاد Acute Infantile Beriberi: وما يميزه عجز في أداء القلب Cardiac Failure، وانخفاض كمية البول المفرزة وأنين محزن وبكاء مفرط ومستمر.

ب- مرض بري بري الرضع المزمن Chronic Infantile Beriberi: وما يميزه شحوب لون بشرة الطفل وزرقتها Cyanosis وترهل في عضلاته، وإصابته بالاكتئاب والبكاء المتقطع وكذلك الإمساك والقيء.

ويشفى البري بري بسرعة بعد إعطاء المريض جرعات من الفيتامين، والشكل التالي يوضح حالات مرض البري بري بنوعيه الجاف والرطب.



الشكل رقم (116) يوضح حالات مرض البري بري بنوعيه الجاف والرطب.

2- تراكم حامض البيروفيك Pyruvic وألفا كيتوجلوتاريك α-Ketoglutaratic في الجسم:

إن نقص فيتامين B_1 يؤدي إلى تراكم حامض البيروفيك Pyruvic acid وكذلك حامض ألفا كيتوجلوتاريك α-Ketoglutaratic acid في أنسجة الجسم مما يحمل صفة السمية نتيجة ارتفاع مستواهما في الدم.

3- تثبيط نشاط إنزيم الترانسكيتوليز Transketolase:

إن إنزيم الترانسكيتوليز Transketolase كما عرفنا سابقاً من الإنزيمات الأساسية في مسار السكر السداسي أُحادي الفوسفات HMP وقد بينا أهمية هذا المسار في بناء بعض المركبات المهمة للجسم.

4- الإصابة بمرض أو متلازمة فِيرنِيكه كورساكوف Wernicke-Korsakoff syndrome:

يقترن البرى برى ونقص فيتامين B_1 بالتغيرات العصبية والهلوسة وضعف الذاكرة والإصابة بمرض أو متلازمة فِيرنِيكه-كورساكوف الشائع لدى الأشخاص الذين يتناولون المشروبات الكحولية التي تحرمها الشريعة الإسلامية، حيث أن تمثيل الكحول في الجسم يحتاج إلى فيتامين B_1 في حين تخلو هذه المشروبات الخبيثة من الفيتامين بينما تعطي ما مقداره سبع سعرات حرارية لكل جرام من الكحول، فتشتد الحاجة إلى فيتامين B_1 وتظهر أعراض نقصه بوضوح، كما أن استهلاك هذه المشروبات الخبيثة يقلل من الشهية واستهلاك الأطعمة الأخرى الغنية بالفيتامينات.

5- أعراض متنوعة:

تتمثل في اضطرابات في الجهاز العصبي، اضطرابات في الجهاز الهضمي يصاحبه قيء وإسهال، فقدان الشهية Anorexia.

المصادر الغذائية لفيتامين B_1:

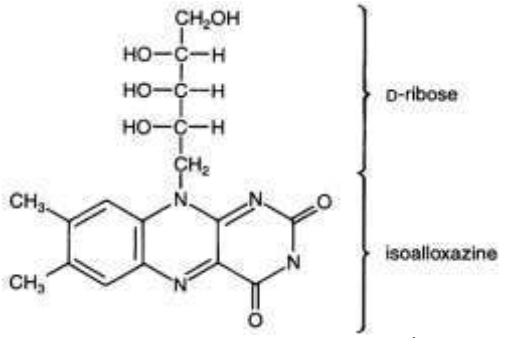
فيتامين B_1 أو الثيامين واسع الانتشار في الأغذية الحيوانية والنباتية، ومن أغنى المصادر به الخميرة، كما أن الكبد والبيض واللحوم والبقوليات واللوز والحبوب الكاملة تعتبر من المصادر الجيدة لفيتامين B_1، والشكل التالي يوضح بعض المصادر الغذائية لهذا الفيتامين.

الشكل رقم (117) يوضح بعض المصادر الغذائية لفيتامين B_1، عن (Boyle and Long, 2007).

ونتيجة لأهمية الثيامين Thiamin كمرافق إنزيمي في أيض الكربوهيدرات وإنتاج الطاقة، فإن استهلاك الكربوهيدرات بكميات كبيرة يؤدي إلى حدوث أعراض نقص فيتامين B_1، ويحتاج الإنسان البالغ أن يتناول حوالي 1,2 مليجرام للرجال و 1,1 مليجرام للنساء من فيتامين B_1 يومياً.

الرايبوفلافين Riboflavin ($Vitamin\ B_2$):

لاحظ إمت Emmet في عام 1920م أن المعاملة الحرارية لذلك العامل المضاد لمرض البري بري في مستخلص الخميرة تؤدي إلى عدم فعاليته، إلا أن فعالية دعم النمو تبقى في هذا المستخلص المعامل حرارياً، فاستنتج أن المادة المتبقية تختلف في صفاتها عن ذلك العامل المضاد للبري بري (المسُمى فيتامين B_1)، وأُطلق على هذه المادة المتبقية المصاحبة لفيتامين B_1 أسم فيتامين B_2 من قبل مجلس الأبحاث الطبية البريطاني في عام 1927م، وقد أمكن تصنيع هذا الفيتامين معملياً في عام 1935م، وقد وُجد أنه يتكون من جزئين الأول هو سكر الريبوز Ribose، أما الثاني فهو الأيزوالليوكساتزين Isoalloxazine والذي يدعى الفلافين Flavin ويتكون من ثلاث حلقات متصلة ببعضها، ولذلك فقد أُطلق عليه أسم الرايبوفلافين Riboflavin. والشكل التالي يوضح التركيب البنائي لفيتامين B_2.



الشكل رقم (118) يوضح التركيب البنائي لفيتامين B_2.

ويوجد فيتامين B_2 في الأنسجة النباتية والحيوانية أما بصورته الحرة أو متحداً بمجموعة فوسفات ليكون الفلافين أحادي النيكليوتيد Flavin Mononucleotide (FMN) الذي يتحد بالبروتين ليكون الفلافوبروتينات Flavoproteins، والفلافين أحادي النيكليوتيد (FMN) هو أحد الصور النشطة فسيولوجياً في الجسم، أما الصورة الثانية فهي الفلافين أدنين ثنائي النيكليوتيد Flavin Adenine Dinucleotide (FAD)، هما مرافقين إنزيميين لمجوعة من الإنزيمات الناقلة للهيدروجين والإلكترونات أثناء الأكسدة الخلوية وإنتاج الطاقة.

خواص فيتامين B_2:

1 - الشكل النقي من الفيتامين عبارة عن بلورات صفراء برتقالية ذات طعم مر عديمة الرائحة.

2 - يعطي وميض أخضر مائل للاصفرار.

3 - بلورات الفيتامين قابلة للذوبان في الماء بصعوبة، ولا تذوب في المذيبات العضوية.

4 - يقاوم الحرارة والأحماض والأكسجين، لكنه يتلف بالضوء والمركبات شديدة القلوية والأشعة فوق البنفسجية.

وظائف فيتامين B_2:

يمكن تلخيص وظائف فيتامين B_2 بما يلي:

1 - دور فيتامين B_2 كمرافق إنزيمي لإنزيمات نزع الهيدروجين:

تقوم إنزيمات نزع الهيدروجين Dehydrogenase بدور مهم في عمليات تمثيل (أيض) المواد الغذائية وإنتاج الطاقة، وتعمل الصور النشطة فسيولوجياً لفيتامين B_2 والمتمثلة بالفلافين أحادي النيكليوتيد FMN والفلافين أدنين ثنائي النيكليوتيد FAD كمرافقات إنزيمية أثناء عمليات الأيض هذه. وأول مثال على هذه الإنزيمات إنزيم Dihydrolipoyl dehydrogenase الذي يعتبر الإنزيم الثالث في مجمعة الإنزيمات المسماة Pyruvate dehydrogenase complex، والتي تدخل في تكوين مركب Acetyl CoA من البيروفات Pyruvate، وهذا ما سبق ذكره عند الحديث عن تسلسل خطوات تكون مركب Acetyl CoA ودور الفلافين أدنين ثنائي النيكليوتيد FAD كمرافق إنزيمي في هذه العملية.

كما يعمل الفلافين أدنين ثنائي النيكليوتيد FAD كمرافق إنزيمي لإنزيم الساكسينيت ديهيدروجينيز Succinate dehydrogenase الذي يعمل على تحويل مركب Succinate إلى مركب Fumarate داخل دورة كربس التي سبق الإشارة إلى أهميتها في إنتاج الطاقة وفي عملية البناء الحيوي، وأيضاً يعمل الفلافين أدنين ثنائي النيكليوتيد FAD كمرافق إنزيمي في التفاعلات الخاصة بأكسدة الدهون والمسماة الأكسدة من نوع بيتا β Oxidation للأحماض الدهنية وإنتاج الطاقة، وفي العديد من التفاعلات الحيوية في الجسم.

2 - أدوار فيتامين B_2 الأخرى:

فيتامين B_2 يحافظ على سلامة الجلد والأنسجة المخاطية وينشط العصب البصري كما ينشط الغدة الكضرية والغدة الدرقية ويساعدهما على إفراز هرموناتهما، ويساعد على تكوين كريات الدم الحمراء في نخاع العظام.

نقص فيتامين B_2:

تتمثل أهم أعراض نقص فيتامين B_2 في الجسم بما يلي:

1 - يؤدي نقص فيتامين B_2 إلى عدم القدرة على النمو الطبيعي عند الأطفال.

2 - الإصابة بالتهابات في زوايا الفم (تَشَقُّقُ الشَّفَة Cheilosis)، والْتِهابُ اللِّسان Glossitis وتبقعها (أو ما يسمى باللِّسان الجغرافي Geographic Tongue) حيث يصبح اللِّسان ناعماً ومنتفخا بسبب ضمور النسيج، لاحظ الشكل رقم (119).

3 - تراكم المواد الدهنية على الجبهة وفي داخل الأذن وعلى جوانب الأنف وتدعى هذه الحالة بالتهاب الغدد الدهنية Seborrheic dermatitis.

4 - يسبب نقص فيتامين B_2 امتلاء القرنية بالأوعية الدموية Corneal vascularization مما يؤدي إلى تضخم الشعيرات الدموية بها وتصبح العين حساسة للضوء وتصاب بالحكة Itching والحرقان Burning والإجهاد Fatigue وتصبح دامعة Watering.

5 - نتيجة لنقص فيتامين B_2 يصاب الإنسان بالأنيميا التي تتميز بمستوى الهيموجلوبين الطبيعي وحجم كريات الدم الحمراء الطبيعي، كما يقل إفراز هرمون الأسترين المسبب للرغبة الجنسية.

الشكل رقم (119) يوضح حالة اللّسان السليم (يسار)، مقارنة بالإصابة بالْتِهابُ اللّسان Glossitis وتبقعها Geographic Tongue (وسط)، وتَشَقُّقُ الشَّفَة Cheilosis (يمين)، عن (Whitney and Rolfes, 2008).

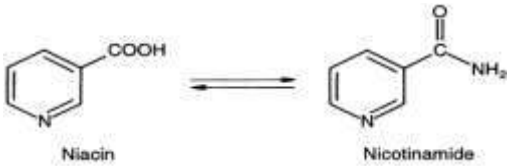
المصادر الغذائية لفيتامين B_2:

فيتامين B_2 يتواجد في مشتقات الألبان، اللحوم، الحبوب، الخضروات، ويحتاج الإنسان البالغ أن يتناول حوالي 1,3 مليجرام للرجال و 1,1 مليجرام للنساء من فيتامين B_2 يومياً.

الشكل رقم (120) يوضح بعض المصادر الغذائية لفيتامين B_2، عن (Boyle and Long, 2007).

النياسين Niacin (Vitamin B_3):

يعرف هذا الفيتامين أيضاً بحامض النيكوتينيك Nicotinic acid، والنيكوتين أميد Nicotinamide، والعامل المانع لمرض البلاجرا Pellagra preventing factor (الحُصاف) كذلك عرف باسم فيتامين B_3. يتكون النياسين (حمض النيكوتينيك) من حلقة بيريدين متصلة بمجموعة كربوكسيل في الموقع الكربوني رقم 2، أما النيكوتين أميد فانه يشبه حمض النيكوتينيك فيما عدا مجموعة كربوكسيل متصلة بمجموعة أميد.



الشكل رقم (121) التركيب البنائي لفيتامين النياسين Niacin والشكل الفعال له النيكوتين أميد Nicotinamide.

وقد عرف مرض البلاجرا (كلمة ايطالية Pella agra تعني الجلد الخشن أو المؤلم) منذ عدة قرون في العديد من بلدان العالم، لكن الاعتقاد السائد كان عندئذ أن الإصابة بهذا المرض ترجع إلي عدوى ميكروبية أو إلى وجود مادة سامة في الذرة، حيث لوحظ أن الفئات التي تعتمد في غذائها على الذرة تصاب بهذا المرض، وقد تمكن الطبيب الأمريكي جولدبرجر Goldberger في عام 1914م من دحض ذلك، حيث لاحظ انتشار مرض البلاجرا في أوساط السكان الفقراء الذين يعتمدون على الذرة في غذائهم، وقد استطاع أن يعالج المرضى بإعطائهم أغذية غنية بالبروتين مرتفع القيمة الحيوية وأكتشف أن هذه الأغذية البروتينية مرتفعة القيمة الحيوية تحتوي على (عامل مانع لمرض البلاجرا)، كما تمكن العالم كريهل وزملائه Krehl *et al.* من معالجة مرض البلاجرا بواسطة الحامض الأميني تربتوفان Tryptophan، وقد ثبت لاحقاً في عام 1947م أن النياسين يصنع في الجسم من الحامض الأميني تربتوفان Tryptophan حيث أن كل 60 ملجم من التربتوفان ينتج 1 ملجم من النياسين عند الإنسان. وتحويل التربتوفان إلى نياسين يفسر اقتران مرض البلاجرا (الحُصاف) باستهلاك الذرة، حيث أن بروتين الذرة فقير بالترتوفان، كما أن النياسين يوجد في الذرة مرتبطاً بالبروتين مما يقلل من وفرته الحيوية.

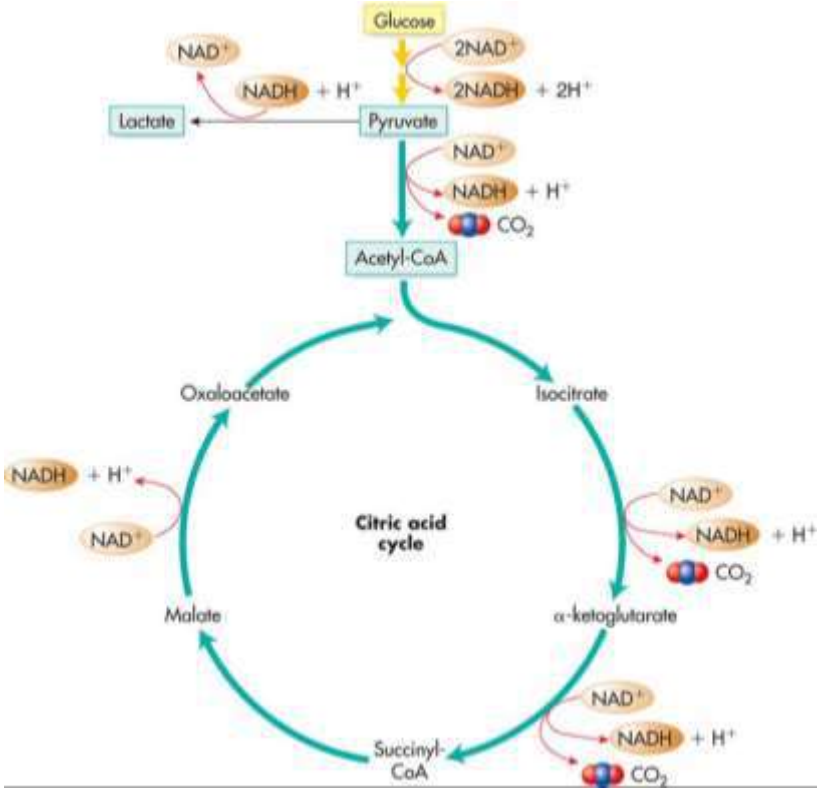
خواص النياسين Niacin:

1 - الشكل النقي من الفيتامين عبارة عن بلورات إبرية بيضاء ذات طعم مر.
2 - من أكثر الفيتامينات استقراراً ومقاومة للحرارة أثناء الطهي، فهو لا يتلف بالحرارة العالية أو الضوء أو الأكسدة أو الأحماض أو القواعد.
3 - يذوب ببطء في الماء البارد، ولا يذوب في المذيبات العضوية.
4 - يفقد مع ماء السلق كونه ذائب في الماء.

وظائف النياسين Niacin: يمكن تلخيص وظائف النياسين Niacin بما يلي:

1 - يقوم بدور مهم في عملية أيض الكربوهيدرات والبروتينات والدهون المولدة للطاقة:

حيث يدخل النياسين في تركيب المرافقات الإنزيمات نيكوتين أميد ثنائي النيوكليوتيد Nicotinamide Adenine Dinucleotide (NAD) وكذلك نيكوتين أميد ثنائي النيوكليوتيد فوسفات (NADP)، وكلا المركبين يعملان كمرافقات إنزيمية لإنزيمات نزع الهيدروجين المشار إلى أهميتها سابقاً في تفاعلات الأكسدة والاختزال وإنتاج الطاقة.



الشكل رقم (122) يوضح دور النيكوتين أميد ثنائي النيوكليوتيد NAD كمرافقات إنزيمية لإنزيمات نزع الهيدروجين في تفاعلات الأكسدة والاختزال وإنتاج الطاقة، عن (Wardlaw and Hampl, 2007).

2 - يقوم النياسين على هيئة NADP بدور في إنتاج سكر الريبوز وتكوين الأحماض النووية:

يقوم مركب النيكوتين أميد ثنائي النيوكليوتيد فوسفات NADP بدور مهم في مسار السكر السداسي أحادي الفوسفات HMP الذي يزود خلايا الجسم بالقوة المُختزلة الضرورية $NADPH+H^+$ لأغراض البناء الحيوي وكذلك العديد من المواد السابقة الضرورية لعمليات تكوين الأحماض النووية RNA و DNA. كما يستخدم النياسين بهيئته المختزلة $NADPH+H^+$ في تصنيع الأحماض الدهنية والهرمونات الاسترويدية وكذلك تحويل الحامض الأميني فنيل ألانين Phenylalanine إلى الحامض الأميني تيروسين Tyrosine.

3 - يعمل النياسين على خفض مستوى الكولسترول في الدم:

يعمل النياسين على خفض مستوى الكولسترول في الدم عند تناوله بمقدار 1 – 2 جرام ثلاث مرات يومياً، ويعتقد أن ذلك يُعزى إلى أنه يساعد في تكوين إنزيم الليبوبروتين لايبيز Lipoprotein Lipase المحلل للبروتينات الدهنية Lipoproteins، أو قد يكون ذلك بسبب أن هذه الجرعة من الفيتامين تعوق تصنيع الكولسترول والبروتينات الدهنية Lipoproteins.

4 - المحافظة على سلامة الجهاز العصبي وصحة الجلد وعملية الهضم:

يعمل النياسين على المحافظة على سلامة الجهاز العصبي وصحة الجلد وعملية الهضم.

نقص النياسين Niacin: تتمثل أهم أعراض نقص الفيتامين في الجسم بما يلي:

1 - أعراض جلدية تتمثل في الإصابة بمرض البلاجرا (الخُصاف) الذي يتميز بالتهاب الجلد وتغلظه حيث يحمر الجلد أولاً ثم يتقشف ويتشقق ويتقرح ثم يتقيح وتظهر هذه الأعراض على جانبي الجسم ويتميز تخشن الجلد في البلاجرا بالتقشر في المناطق المعرضة لأشعة الشمس، كاليدين والقدمين والوجه والعنق مكوناً طوق يسمى قِلادة البلاجرا Pellagrous necklace.

2 - أعراض تظهر على الجهاز العصبي تتمثل في الشعور باللامبالاة والإحباط وفقدان الذاكرة وعدم القدرة على التركيز والتشويش العقلي والهستيريا ويظهر ذلك في صورة أرق شديد وعدم استقرار وسرعة التهيج والكآبة المستمرة وفقد الذاكرة وعدم الاتزان.

3 - التهاب الأغشية المخاطية المبطنة للأنف والبلعوم والمهبل والمستقيم يصحبها تشقق هذه الأنسجة ويتشقق ركنا الفم ويصبح اللون أحمر شديد الحمرة ويلتهب اللسان وينتفخ ويحمر لونه احمراراً شديداً، وقد يصاحب ذلك ظهور أعراض في الجهاز الهضمي تشمل التهاب أغشية المعدة والأمعاء إلى اضطراب عملية الهضم المصحوب عادة بإسهال مائي شديد مختلط بدم وضعف الشهية وآلام البطن.

الشكل رقم (123) يوضح مرض البلاجرا Pellagra.

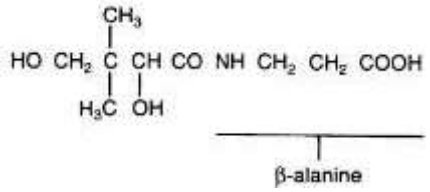
المصادر الغذائية للنياسين Niacin:

يتواجد النياسين في العديد من الأغذية الحيوانية والنباتية تحتوى الأغذية الحيوانية على نيكوتين أميد الشكل الفعال أما الأغذية النباتية فإنها تحتوى على حمض النيكوتينيك، ومن أهم مصادره اللحوم والأسماك، الحبوب الكاملة، والمكسرات، كما يتوفر بكميات متوسطة في البطاطس والبازلاء. وعلى الرغم من أن الذرة تحتوي على كميات لا بأس بها من النياسين إلا أنه يرتبط ببروتين في الذرة يقلل من وفرته الحيوية، وتتحسن الوفرة الحيوية للفيتامين في الذرة بنقعها بمحلول قلوي قبل طهيها، ويحتاج الإنسان البالغ أن يتناول حوالي 16 مليجرام للرجال و 14 مليجرام للنساء من فيتامين B_3 يومياً، والشكل التالي يوضح بعض مصادره الغذائية.

الشكل رقم (124) يوضح بعض المصادر الغذائية لفيتامين B_3، عن (Boyle and Long, 2007).

حامض البانتوثنيك Pantothenic Acid (Vitamin B_5):

يعرف هذا الفيتامين أيضاً بالبانتوثينول، والبانتوثين، وفيتامين B_5. يتكون من الحامض الأميني بيتا- الانين الذي يتصل برابطة ببتيدية مع هيدروكسى مثيل حامض البيوتريك المحتوى على مجموعتين مثيل.



الشكل رقم (125) يوضح التركيب البنائي لحامض البانتوثنيك Pantothenic Acid.

خواص حامض البانتوثنيك Pantothenic Acid:

1 - يوجد على صورة زيت اصفر باهت لزج.

2 - قابل للذوبان في الماء والكحول والاستيون وغير قابل للذوبان في المذيبات العضوية.

3 - يتحمل حرارة الطهي في الوسط المتعادل وكذلك الأكسدة ولكنه يهدم بالأحماض والقواعد والحرارة.

وظائف حامض البانتوثنيك Pantothenic Acid: يمكن تلخيص وظائف الفيتامين بما يلي:

1 - يدخل الفيتامين في تكوين مرافق الإنزيم أ Coenzyme A اللازم لعملية أيض الغذاء، حيث يقوم بنقل مجموعة الأستيل التي تحتوي على ذرتي كربون الناتجة من أكسدة الكربوهيدرات والدهون الأمينية إلى دورة الحامض الثلاثي الكربوكسيل.

2 - يعمل كناقل لمجموعة الأسيل في عمليات أكسدة الدهون قبل دخولها إلى دورة الحامض الثلاثي الكربوكسيل في عملية إنتاج الطاقة، كما أنه يقوم بدوراً مهماً في تصنيع الأحماض الدهنية، أي أن مرافق الإنزيم أ مهم لعملية تصنيع وهدم الدهون (أيض الدهون).

3 - يساعد مرافق الإنزيم أ في أيض البروتينات، حيث يقوم بإضافة مجموعة الأستيل إلى الأحماض الأمينية والأمينات.

4 - يدخل حامض البانتوثنيك في تكوين البورفيرين الضروري لتكوين الهيم الذي يدخل في تركيب الهيموجلوبين، كما أنه يلزم لتصنيع الكولسترول وهرمونات الأستيرويد والأستيرولات.

5 - يعمل مرافق الإنزيم أ كناقل لمجموعة الأستيل اللازمة لتصنيع مركب أستيل كولين الذي يلعب دوراً مهماً في نقل التيارات العصبية، كما أن مجموعة الأستيل مهمة في التخلص من بعض العقاقير السامة في الجسم.

6 - يشارك في إنتاج الأجسام المضادة.

7 - يساعد حمض البانتوثنيك في تنشيط الغدة فوق الكلوية.

نقص حمض البانتوثنيك Pantothenic Acid:

لا تحدث أعراض نقص لحامض البانتوثنيك في الإنسان في الغالب، لكن أمكن إحداث نقصه تجريبياً بإعطاء المتطوعين أغذية خالية من الفيتامين بالإضافة إلى إعطائهم مضاد للفيتامين (Omega-methyl Pantothenic Acid)، فظهرت أعراض النقص بعد 12 أسبوع شملت الصداع والإجهاد والشعور بعدم اللامبالاة وضعف التركيز وآلام العضلات واضطرابات الجهاز الهضمي وخفقان القلب وانخفاض سكر الدم.

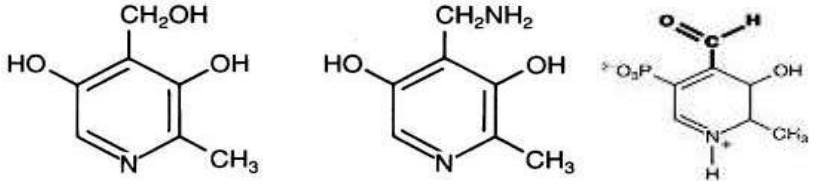
المصادر الغذائية لحامض البانتوثنيك Pantothenic Acid:

تقوم بكتيريا الأمعاء بتصنيعه، وتعتبر الخميرة من أغنى المصادر لهذا الفيتامين يليها الكّلى والكبد والمخ وصفار البيض، ويحتاج الإنسان البالغ أن يتناول حوالي 5 مليجرام من فيتامين B_5 يومياً، والشكل التالي يوضح بعض المصادر الغذائية لهذا الفيتامين.

الشكل رقم (126) يوضح بعض المصادر الغذائية لحامض البانتوثنيك Pantothenic Acid والبيوتين Biotin، عن (Boyle and Long, 2007).

البيريدوكسين Pyridoxine (B_6 Vitamin):

يوجد فيتامين B_6 في ثلاث صور متشابهة مشتقة من حلقة البيريدين (البيريدوكسين Pyridoxine والبيريدوكسامين Pyridoxamine والبيريدوكسال Pyridoxal) وتعتبر هذه الصور الثلاثة فعالة فسيولوجيا ويمكن أن يتحول من صورة لأخرى داخل الجسم.



Pyridoxine Pyridoxamine Pyridoxal-5-phosphate

الشكل رقم (127) يوضح التركيب البنائي للصور الحيوية لـ B_6 Vitamin.

خواص فيتامين B_6 Vitamin:

1 - عبارة عن بلورات بيضاء ذات طعم مالح.

2 - يذوب بسرعة في الماء وببطء في الكحول والأسيتون.

3 - لا يتأثر بالحرارة أو الحموضة، لكنه يتلف بالأشعة فوق البنفسجية والمحاليل القلوية.

وظائف فيتامين B_6 Vitamin: يمكن تلخيص وظائف الفيتامين بما يلي:

1 - يعتبر فيتامين B_6 ضرورياً لصحة الأوعية الدموية والجهاز العصبي وسلامة البشرة وللنمو الطبيعي للأطفال خاصة بناء العضلات، كما يعد مهماً لتنظيم عملية تصنيع إنزيمات المخ التي تتحكم في الإشارة وامتصاص الأحماض الأمينية وإفراز هرمونات النمو.

2 - يعمل على تكوين مولدات حلقات البورفيرين التي تدخل في تكوين جزئيات الهيموجلوبين.

3 - يعد ضرورياً لأيض الأحماض الدهنية غير المشبعة مثل تحويل حمض اللينوليك إلى حمض الأراشيدونيك، كما أنه يساعد على تصنيع السفنجولييدات التي تحيط بالأطراف العصبية.

4 - فوسفات البيريدوكسال PLP الشكل الفعال للفيتامين يعمل مرافق إنزيمي لعدد كبير من النظم الإنزيمية خصوصاً التي تدخل في أيض الأحماض الأمينية حيث يساعد الجسم على استعمال الأحماض الأمينية التي تعتبر قوالب بناء البروتينات، ويسبب الافتقار لهذا الفيتامين تلف الجلد والجهاز العصبي ونقص الجسم ونحافته، ويمكن لجميع صور الفيتامين الثلاث أن تتحول إلى صورة الفوسفات الفعال. ومن النظم الإنزيمية التي يعمل فيها الفيتامين كمرافق إنزيمي الآتي:

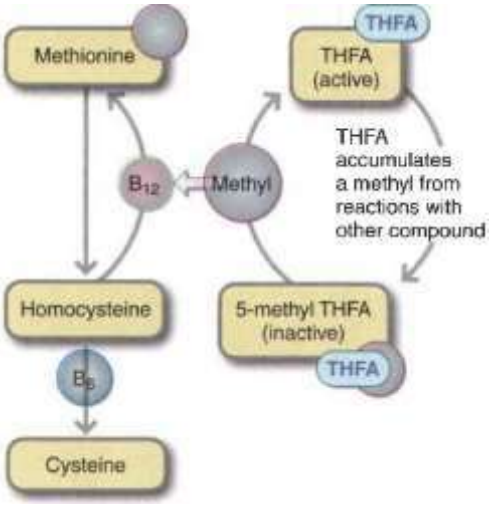
أ. Glycogen phosphorylase: يعمل PLP كمرافق لهذا الإنزيم الضروري لتحويل الجليكوجين إلى جلوكوز -1- فوسفات.

ب. Decarboxylase: يعمل PLP كمرافق لهذا الإنزيم الضروري لإزالة مجموعة الكربوكسيل من بعض الأحماض الأمينية لتكوين مركبات أخرى جديدة.

ج. Transaminase: يؤدي PLP وظيفة مرافق لهذا الإنزيم وتكوين أحماض أمينية جديدة، إذ يعمل كل إنزيم على بروتين معين أو محدد. مثل نقل مجموعة الأمين NH_2 من أحماض أمينية إلى أحماض كيتونية، مما يؤدي إلى تكون أحماض أمينية جديدة.

د. **Deaminase: يؤدي PLP وظيفة مرافق لهذا الإنزيم الذي يساعد على نزع مجموعة الأمين من الحمض الأميني غير اللازم لتحويله إلى كربوهيدرات تمد الجسم بالطاقة.**

ه. **Transsulfurase و Desulfurase: يؤدي PLP وظيفة مرافق لهذين الإنزيمين الضروريين لنزع ونقل مجموعات الكبريت من الأحماض الأمينية المحتوية على الكبريت مثل نقل الكبريت من الحامض الأميني مثيونين إلى الحامض الأميني سيرين (عبر تكون حامض الهوموسيستين Homocysteine) لتحويله إلى الحامض الأميني سيستين، لكن عند حدوث نقص في مستويات فيتامين B_6 يحدث زيادة في مستويات الحامض الأميني هوموسيستين الذي تشير الدراسات إلى مسؤوليته عن حدوث حالة تصلب الشرايين. إن المصدر الوحيد لحامض الهوموسيستين في الجسم هو المثيونين في بروتين الغذاء، وفيتامين B_6 ضروري لتحويل الهوموسيستين إلى سيستين، كما أن وفيتامين B_{12} وحامض الفوليك يقومان بتحويل الهوموسيستين إلى مثيونين بعملية عكسية.**



الشكل رقم (128) يوضح أيض الهوموسيستين Homocysteine ودور فيتامينات B_6 و B_{12} وحامض الفوليك، عن (Mahan and Escott-Stump, 2008).

نقص فيتامين Vitamin B_6: تتمثل أهم أعراض نقص الفيتامين في الجسم بما يلي:

1 - تشنجات و تقلصات عضلية لا إرادية.

2 - تشقق أركان الفم واحمراره.

3 - ظهور إفرازات دهنية على جلد الأنف والفم والعين.

4 - نعومة اللسان وميل لونه إلى اللون الأرجواني.

5 - حدوث الأنيميا وانخفاض في عدد الخلايا الليمفاوية.

6 - اضطرابات عصبية وحدوث تغيرات مثل الكآبة والارتباك والشعور بالفتور أو الضعف.

7 – ارتفاع مستويات حامض الهوموسيستين Homocysteine وارتفاع نسبة الإصابة بحالة تصلب الشرايين.

المصادر الغذائية لفيتامين B_6 Vitamin:

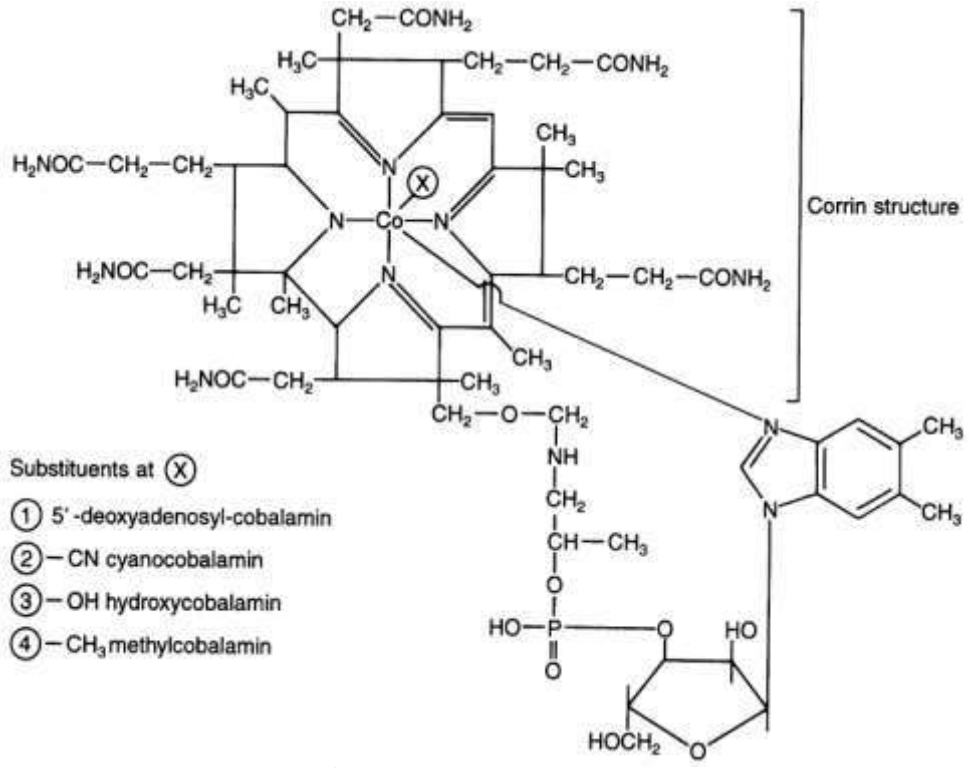
يوجد بنسب عالية في الحبوب الكاملة والبلح الجاف والموز والخميرة والبطاطس وجنين القمح والبقوليات والكبد واللحوم، ويحتاج الإنسان البالغ أن يتناول حوالي 1,3 مليجرام من فيتامين B_6 يومياً، والشكل التالي يوضح بعض المصادر الغذائية لهذا الفيتامين.

الشكل رقم (129) يوضح بعض المصادر الغذائية لفيتامين B_6، عن (Boyle and Long, 2007).

كوبال أمين Cobalamine (Vitamin B_{12}):

يعرف أيضاً بالسيانوكوبالامين، عامل نضج كرات الدم الحمراء، الفيتامين المضاد للأنيميا الخبيثة، كذلك عرف باسم فيتامين B_{12}. ويعتبر فيتامين B_{12} مهماً لإنتاج الطاقة، لأنه يساعد الدم على نقل الأوكسجين، ويحافظ على سلامة الأعصاب، ومهم جدا في تمثيل البروتين، كما يدخل في تركيب الحامض الأميني النووي DNA ومفيد في تكوين الدم، ومقاوم للتأكسد وله دور مهم في تكاثر الخلايا.

يتكون فيتامين B_{12} من جزيئين رئيسين هما: حلقة كورين نيكلوتيد الذي يحتوى على قاعدة سكر الريبوز الخماسي وحمض الفوسفوريك، وتحتوى حلقة الكورين على ذرة كوبالت بنسبة 4 % من وزن الفيتامين، ويرتبط الكوبالت بالسيانيد (لتكوين السيانوكوبالامين) كما يمكن استبدال السيانيد بمجموعة OH لتكوين هيدروكسي كوبالامين - مجموعة NO_2 لتكوين نيتريتوكوبالامين - مجموعة ماء لتكوين هيدروكوبالامين - مجموعة CH_3 لتكوين مثيل كوبالامين – مجمـــــوعة 5-deoxyadenosyl لتكوين 5-deoxyadenosylcobalamin (مرافق إنزيم B_{12}) وهى تمثل مرافق الإنزيم الأساسي للجسم



الشكل رقم (130) يوضح التركيب البنائي للصور الحيوية لـ Vitamin B_{12}.

خواص فيتامين B_{12} Vitamin:

1 - يوجد في صورة بلورات إبرية حمراء لأنه يحتوى على الكوبالت.

2 - قابل للذوبان في الماء والكحول الإيثيلي ولا يذوب في المذيبات العضوية.

3 - يتأثر بمفعول الأحماض والقاعدة والضوء والأكسدة، أما السيانوكوبالامين فانه يتحمل الأحماض والأكسدة ولكنه يتلف بالقلويات، ويفقد 30 % منه أثناء الطهي.

4 - يتحمل الحرارة في الوسط المتعادل لكن يتلف في الوسط القلوي والحامضي.

وظائف فيتامين B_{12} Vitamin: يمكن تلخيص وظائف الفيتامين بما يلي:

1 - يعمل كمرافق إنزيمي لعدد من الإنزيمات المهمة لتصنيع البروتين والدهن والأحماض النووية.

2 - يعد الفيتامين مهماً للجهاز العصبي كونه:

أ. يحافظ فيتامين B_{12} على أغلفة الميلين التي تحيط وتعزل بعض الألياف العصبية.

ب. يعتمد الجهاز العصبي على الطاقة التي مصدرها الكربوهيدرات وحدوث أي خلل في أيض الكربوهيدرات يصاحبه خلل في أداء الجهاز العصبي. لهذا يعتمد الجهاز العصبي على فيتامين B_{12} لتحويل مرافق إنزيم 1 ميثيل مالونيل الناتج من أيض بعض الأحماض الدهنية والأمينية إلى مرافق إنزيم 1 سكسنيل وهذا آخر المسارات المهمة لإنتاج الطاقة من الأحماض الأمينية ذات سلاسل الكربون الفردية العدد.

3 - يساعد فيتامين B_{12} على تحويل حامض الفوليك إلى شكله النشط حيوياً المعروف باسم حامض الفوليك رباعي الهيدروجين Tetrahydrofolate اللازم كمرافق للإنزيمات الضرورية لتكوين كرات الدم الحمراء بصورة طبيعية في نخاع العظام وعدد من الوظائف الحيوية الأخرى، (في حين يقوم حامض الفوليك بنقل مجموعة المثيل CH_3 إلى فيتامين B_{12} لتنشيطه (أي أن كل منهما بتنشيط يقوم الأخر وتحويله إلى الشكل النشط حيوياً)، وهذا ما يتضح جلياً من الأشكال (128 و 134).

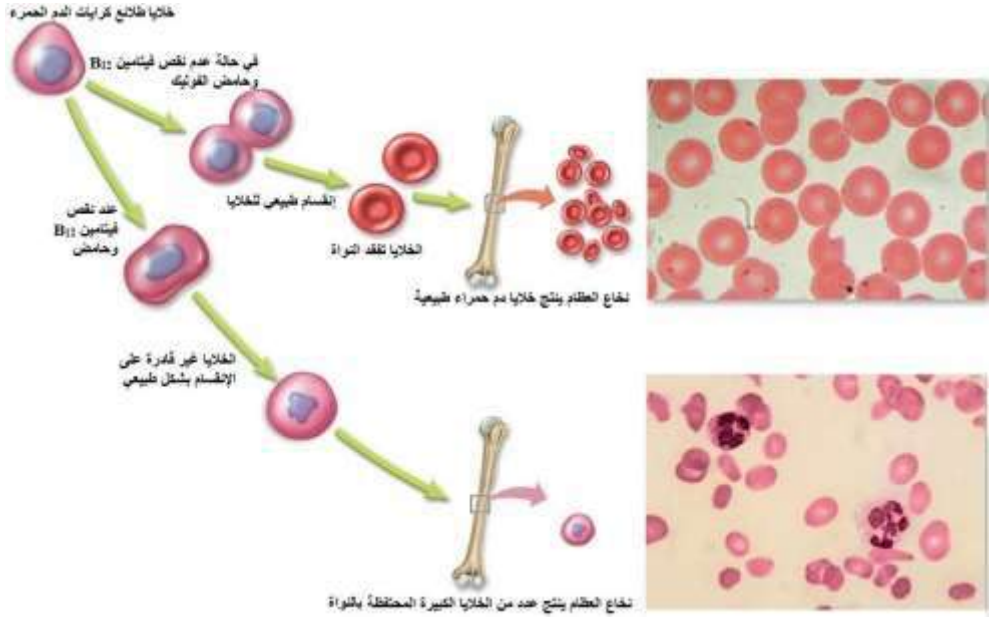
نقص فيتامين B_{12} Vitamin: تتمثل أهم أعراض نقص الفيتامين في الجسم بما يلي:

1 - حدوث خلل في الجهاز العصبي نتيجة تحلل أغلفة الميلين (أغلفة تتكون من مواد دهنية تحيط وتربط بعض الألياف العصبية ببعضها البعض) مما يؤدي إلى تخدير الشفاه وصعوبة في الاتزان أثناء المشي وبرودة الأطراف.

2 - ارتفاع تركيز حمض الميثيل مالونيك في البراز وبعض الأحماض الأمينية في البول والدم.

3 - اختلال البصر من غير علة عضوية ظاهرة، وتعرف هذه الحالة بالكمش الغذائي.

4 - الإصابة بالأنيميا الخبيثة التي تعتبر من الأعراض الأساسية لنقص فيتامين B_{12} (وكذلك حامض الفوليك)، والتي تتميز بكبر حجم كرات الدم الحمراء وانخفاض مستوى الهيموجلوبين نتيجة انخفاض مستوى فيتامين B_{12} (وحامض الفوليك)، وهذا ما يفسره الشكل التالي:



الشكل رقم (131) يوضح الإصابة بالأنيميا الخبيثة المتميزة بكبر حجم كرات الدم الحمراء نتيجة نقص فيتامين B_{12} وحامض الفوليك، عن (Schiff and Wardlaw, 2008).

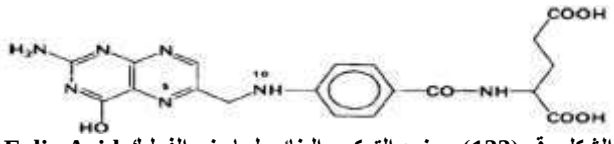
المصادر الغذائية لفيتامين Vitamin B_{12}:

يوجد بنسب متفاوتة في الأغذية الحيوانية مثل الكبد والكُلى واللحوم والبيض والدواجن والجبن والحليب، ويحتاج الإنسان البالغ أن يتناول حوالي 2,4 ميكروجرام من فيتامين B_{12} يومياً.

الشكل رقم (132) يوضح بعض المصادر الغذائية لفيتامين B_{12}، عن (Boyle and Long, 2007).

حامض الفوليك Folic Acid:

يعرف أيضاً بالفولاسين، والعامل المضاد للأنيميا. يتكون من ثلاث مركبات متصلة ببعضها هي: نواة بتريدين، حامض البارامينوبنزويك، حامض الجلوتاميك. وتكمن أهميته في كونه أساسي خلال فترات الحمل، وهو ضروري دائماً لنمو الدماغ والأعصاب وحماية الجنين من التشوهات، ومهم لتكوين خلايا الدم الحمراء، وللاستفادة من البروتين ومهم للذاكرة، وضد التوتر والقلق، تقوية الجهاز المناعي.



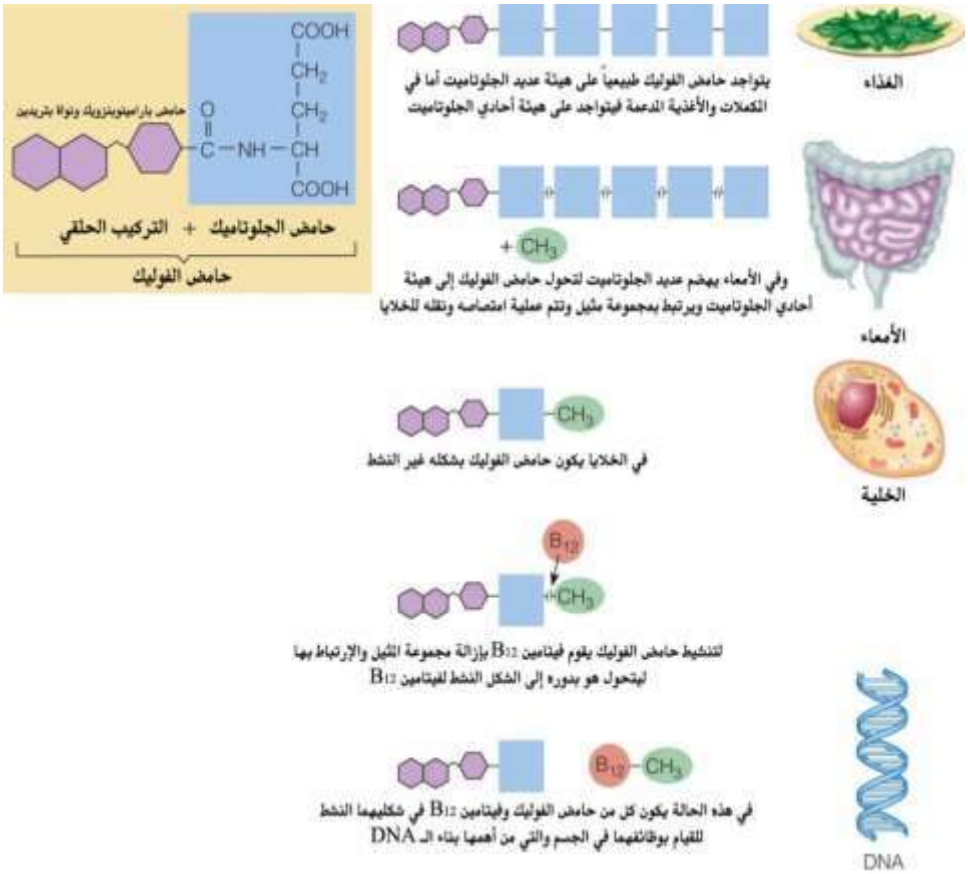
الشكل رقم (133) يوضح التركيب البنائي لحامض الفوليك Folic Acid.

خواص حامض الفوليك Folic Acid:

1 - بلورات لامعة عديمة الطعم والرائحة.
2 - يذوب بصعوبة في الماء وغير قابل للذوبان في المذيبات العضوية.
3 - يقاوم درجة الحرارة تصل إلى 100°م في الوسط القلوي والمتعادل.
4 - يتلف بسرعة بواسطة أشعة الشمس والتخزين.
5 - يتلف بالحرارة في الوسط الحامضي، ولهذا يفقد 50 % أثناء الطهي.

وظائف حامض الفوليك Folic Acid: يمكن تلخيص وظائف الفيتامين بما يلي:

1 - يتمثل الدور الأساسي لحامض الفوليك في جسم الإنسان في تكوين كرات الدم الحمراء ، حيث يعمل على تصنيع الهيم المكون لجزئيات هيموجلوبين الدم داخل نخاع العظام وبناء البريميدينات والبيورينات اللازمة لتكوين الـ DNA و RNA، وذلك بمساعدة فيتامين B_{12} حيث يقوم كل منهما بتنشيط الأخر (تحويله إلى الشكل النشط).
2 - يدخل حامض الفوليك في تكوين مرافقات الإنزيمات الفعالة فسيولوجياً التي تعرف باسم أحماض الفوليك رباعية الهيدروجين Tetrahydrofolate والتي تعمل على نقل المجموعات أحادية الكربون مثل مجموعة الميثيل والفورميمينو والميثيلين من مركب إلى آخر ومن أمثلة التفاعلات التي تستلزم مرافقات إنزيمات حمض الفوليك الآتي:
   أ. تصنيع البريميدينات والبيورينات اللازمة لتكوين الأحماض النووية (DNA و RNA) وكريات الدم الحمراء بمساعدة فيتامين B_{12} كما سبقت الإشارة إلى ذلك.
   ب. تصنيع الكولين من إيثانول أمين.
   ج. تحويل الجلايسين إلى سيرين والعكس، وتحويل الهوموسيستين إلى ميثيونين، وتحويل الهيستيدين إلى حمض الجلوتاميك، وكذلك أكسدة الفنيل الأنين إلى تيروسين.
   هـ. تصنيع الثيمين Thymine من اليوراسيل Uracil.



الشكل رقم (134) يوضح تعاضد حامض الفوليك وفيتامين B_{12} في الجسم، عن (Whitney and Rolfes, 2008).

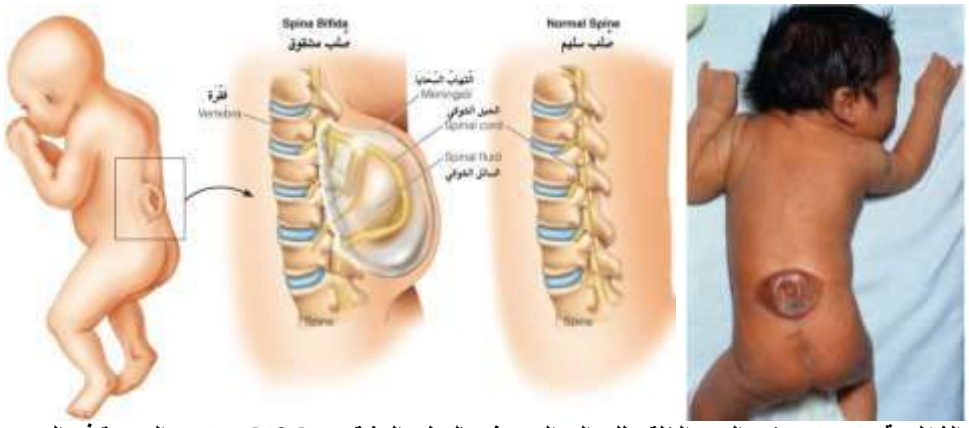
<u>نقص حامض الفوليك Folic Acid</u>: تتمثل أهم أعراض نقص الفيتامين في الجسم بما يلي:

1 - إن حامض الفوليك مهم لاكتمال نمو الأنبوب العصبي Neural Tube للجنين ولذلك فإن الأمهات الحوامل تحتاج (وحتى في الفترة التي تسبق الحمل) لتناول حامض الفوليك كلّ يوم، ونقص تناول حامض الفوليك من قِبل الأمهات الحوامل بالقدر المطلوب يودي إلى ظهور عيوب الأنبوب العصبي Neural Tube Defects، حيث لا يكتمل نمو الأنبوب العصبي للجنين، وعادة ما يرافق هذه العيوب تشوهات في البنى المجاورة (القوس الفقرية، العضلات، والجلد)، ومن أسوء هذه العيوب ما يسمى بالصلب المشقوق Spina bifida وهو عبارة عن عيب خلقي في العمود الفقري نتيجة عدم انغلاق قوسي فقرة أو فقرات من العمود الفقري، وتكون الإصابة في أي منطقة في العمود الفقري سواء الصدرية ـ القطنية أو العجزية، وفي الغالب تكون في المنطقة العجزية، ويشمل ذلك الجلد والنخاع الشوكي والعمود الفقري، ما يؤثر في الأعصاب الواصلة للأعضاء السفلية، فيؤدي ذلك إلى نقص أو انعدام وظيفتها، لاحظ الأشكال التالية:

في الأسبوع الرابع من الحمل لم يغلق الأنبوب العصبي كاملاً – لأحظ الفجوة في قمة الأنبوب العصبي

في الأسبوع السادس من الحمل يلاحظ اكتمال غلق الأنبوب العصبي بالكامل

الشكل رقم (135) مراحل نمو الأنبوب العصبي للجنين خلال مراحل الحمل، عن (Whitney and Rolfes, 2008).



الشكل رقم (136) يوضح العيب الخلقي للمواليد المعروف بالصلب المشقوق Spina bifida، الصورة في اليمين عن (Schiff and Wardlaw, 2008)، المخطط في اليسار عن (Whitney and Rolfes, 2008).

الشكل السابق يبين أن العيب الخلقي المعروف بالصلب المشقوق Spina bifida نتيجة عدم التحام الأنبوب العصبي من الجزء السفلي، أما عدم التحام الأنبوب العصبي من الجزء العلوي يؤدي الى حدوث نوع أخر من العيوب يعرف بحالة انعدام الدماغ Anencephaly.

وقد أشارت الدراسات أن تناول الأم الحامل لحامض الفوليك بمعدل 400 ميكروجرام يومياً لشهرين قبل الحمل وطيلة مدة الحمل بمعدل 600 ميكروجرام يومياً يمنع الإصابة بعيوب الأنبوب العصبي وعلى الأخص الصُلب المشقوق Spina bifida، كما ثبت أن فرط تناول الفيتامين A (Hypervitaminosis A) يمكن أن يؤدي إلى هذه المشكلة وهذا ما سبقت الإشارة إليه.

2 - الإصابة بالأنيميا التي تتميز بتضخم حجم كرات الدم الحمراء وانخفاض مستويات الهيموجلوبين وعدد كرات الدم البيضاء والصفائح الدموية. وتحدث الإصابة بهذا النوع من الأنيميا في النساء الحوامل والأطفال الرضع والمسنين، يمكن معالجتها بإعطاء جرعات من حامض الفوليك.

3 - اضطرابات في الجهاز الهضمي تؤدي إلى نعومة سطح اللسان وتغير لونه إلى اللون الأحمر الأرجواني، وكذلك الإصابة بالإسهال وسوء الامتصاص في الأمعاء.

4 - يصاحب نقص حامض الفوليك في الجسم انخفاض في مستوى الثرومبين في الدم مما يؤدي إلى بطء في تجلط الدم.

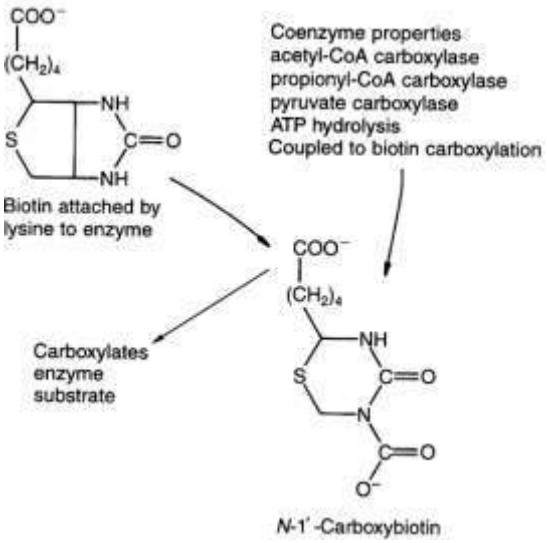
المصادر الغذائية لحامض الفوليك:

يوجد بنسب عالية في الكبد الكُلى وبذور السمسم والمكسرات وخصوصا البندق واللوز والجوز والفول السوداني، والسبانخ والبروكلي والقرنبيط والقمح والخص والفاصوليا والبيض والخميرة الجافة والجزر والمشمش والموز والشمندر والكرنب والعدس والخيار، ويحتاج الإنسان البالغ أن يتناول حوالي 400 ميكروجرام من حامض الفوليك يومياً أما للنساء الحوامل فترتفع الكمية إلى 600 ميكروجرام يومياً للوقاية من الإصابة بعيوب الأنبوب العصبي.

الشكل رقم (137) يوضح بعض المصادر الغذائية لحامض الفوليك، عن (Boyle and Long, 2007).

البيوتين Biotin:

من الفيتامينات المهمة والضرورية في مرحلة الطفولة وهو مهم جداً للأعصاب، ويساهم في المحافظة على البشرة وخلايا الجلد، وله دور فعال في المحافظة على نمو الشعر ونضارته، ويساعد الجسم في استعمال الدهون الأساسية وامتصاص السكريات وبعض الأحماض الأمينية.



الشكل رقم (138) يوضح التركيب البنائي للبيوتين Biotin.

خواص البيوتين Biotin:

1 - بلورات إبرية بيضاء اللون.

2 - يذوب في الماء والكحول والكلوروفورم والأسيتون ولكنه غير قابل للذوبان في المذيبات العضوية الأخرى.

3 - يقاوم درجة الحرارة والضوء والأحماض.

4 - يتلف بسرعة في المحاليل القلوية والعوامل المؤكسدة.

5 - يتلف بالحرارة في الوسط الحامضي، ولهذا يفقد 50 % أثناء الطهي.

وظائف البيوتين Biotin: يمكن تلخيص وظائف الفيتامين بما يلي:

1 - يعمل كمرافق إنزيمي للعديد من الإنزيمات التي تساعد على إضافة أو نزع CO_2 أو نزع مجموعة الأمين وبالتالي فهو مهم للعديد من العمليات الحيوية في الجسم.

2 - ضروري لتصنيع هرمون الإنسولين وأميليز البنكرياس والمواد المضادة بالجسم والإنزيمات الضرورية لإضافة مجموعة الفوسفات للجلوكوز حتى يستطيع أن يدخل الكبد ويخزن فيه.

3 - المحافظة على صحة وسلامة الجلد.

نقص البيوتين Biotin: تتمثل أهم أعراض نقص الفيتامين في الجسم بما يلي:

1 - ضعف الشهية وعدم الإقبال على تناول الطعام، وبالتالي الإصابة بالضعف والوهن.

2 - حدوث جفاف للبشرة، وتقصف الشعر وضعفه، وحدوث شيب مبكر.

3 - حدوث آلام في العضلات وارتخائها وإصابة الجلد بالتهابات.

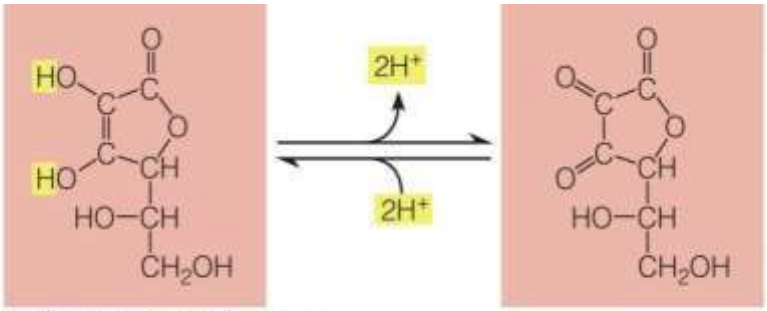
المصادر الغذائية للبيوتين Biotin:

أغنى المصادر الغذائية به هي الحليب والبيض، بعض أنواع الأسماك، الخس، والكرز والبطيخ والطماطم والبازلاء، بعض أنواع الذرة وخصوصاً الذرة الحلوة، الخميرة، الكبد والكلى، المشروم، العدس، الفاصوليا، الذرة، التفاح والبرتقال والجوز، كما أن البكتيريا التي توجد في امعاء الإنسان لها القدرة على بناء البيوتين، ويحتاج الإنسان البالغ أن يتناول حوالي 30 ميكروجرام من البيوتين يومياً، والشكل رقم (126 سابقاً) وضح بعض المصادر الغذائية للبيوتين.

فيتامين C (حامض الأسكوربيك Vitamin C (Ascorbic Acid:

يعرف أيضاً باسم فيتامين ج، وحامض الأسكوربيك والفيتامين المضاد للإسقربوط، وفيتامين C ضروري لسلامة الأوعية الدموية والعظام والأسنان، وقد يعاني الذين يفتقرون إلى هذا الفيتامين من قروح اللثة ونزف تحت الجلد، حيث يؤثر على الأنسجة الغضروفية فيحدث النزيف نتيجة ضعف الشعيرات الدموية وقد يكون النزيف سطحياً أو ربما يكون تحت الجلد أو في المفاصل وتتورم اللثة وتكون اسفنجة ضعيفة المقاومة سريعة الادماء والتقرح، ويحدث تخلخل للأسنان وتساقطها وتآكلها وخلل في تكوين العظام والغضاريف وانيميا (فقر دم) وتأخر في التئام الجروح. ويساعد فيتامين C في تكوين الكولاجين (بروتين يساعد على تماسك الأنسجة).

ويوجد فيتامين C بشكلين هما حامض الأسكوربيك Ascorbic Acid وحامض الأسكوربيك منزوع الهيدروجين Dehydroascorbic acid ويتحول أحدهما الى الآخر بسهولة، وكلا الشكلان يتميزان بفعاليتهما الفسيولوجية ضد مرض الاسقربوط، ويشبه حامض الأسكوربيك في تركيبه السكريات الاحادية لهذا يمكن تصنيعه من الجلوكوز، لاحظ الشكل التالي:



يحمي حامض الأسكوربيك خلايا الجسم من الأكسدة بمنحه للهيدروجين للجذور الحرة الضارة حيث يتحول إلى حامض الأسكوربيك منزوع الهيدروجين Dehydroascorbic acid

حامض الأسكوربيك منزوع الهيدروجين Dehydroascorbic acid يمكن أن يكتسب الهيدروجين بسهولة ليتحول إلى حامض الأسكوربيك مرة أخرى في تفاعل إنعكاسي

الشكل رقم (139) يوضح التركيب البنائي لحامض الأسكوربيك، عن (Whitney and Rolfes, 2008).

خواص فيتامين C:

1 - حامض عضوي بسيط يتشابه في تركيبه مع السكريات السداسية، يوجد في صورة بلورات ناعمة عديمة اللون ذات طعم حامضي، ويكون أكثر استقراراً عندما يوجد في هذه الصورة.

2 - يتأكسد بسرعة بالحرارة والأكسجين خصوصاً في وجود المعادن الثقيلة مثل أيونات النحاس والحديد، لهذا يفقد جزء كبير منه أثناء الطهي أو عند تعرضه للهواء، كما يتلف في الوسط القلوي وعند تعرضه للضوء.

3 - يقاوم الهدم في المحاليل الحامضية (رقم الـ pH أقل من 4) ومن الأمثلة على ذلك طهي الأطعمة في أوساط حامضية (كإضافة قطرات من حمض الستريك).

وظائف فيتامين C: يمكن تلخيص وظائف الفيتامين بما يلي:

1 - الوقاية من مرض الإسقربوط الذي يتميز بنزيف وتقرح في اللثة وشعور بالضعف وجفاف الجلد ونزيف تحت الجلد (بقع زرقاء) وبتقدم الحالة تتورم اللثة وتسقط الأسنان.

الشكل رقم (140) يوضح مرض الإسقربوط (نزف الدم وتشقق اللثة وتشوه الأسنان).

2 - تصنيع الكولاجين وهو عبارة عن مادة بروتينية غروية توجد في الأنسجة الضامة التي تربط الخلايا ببعضها البعض خصوصاً عاج الأسنان ونسيج العظام والغضاريف والعضلات والجلد وميناء الأسنان، وهو مهم بالنسبة للتركيب البنائي لهذه الأنسجة. كما أنه ضروري لالتئام الجروح والأوعية الدموية الشعرية نظراً لأنه يدخل في تركيب المواد الرابطة الضرورية لذلك. ويتميز الكولاجين عن باقي البروتينات بأنه يحتوى على كمية كبيرة من الحامض الاميني هيدروكسى برولين وهيدروكسى لايسين ولا يستطيع الجسم الحصول عليهم من الغذاء لذا يقوم الجسم من تصنيعهما بمساعدة فيتامين C الذي يعمل على إضافة مجموعة الهيدروكسيل إلى حامض البرولين وحامض اللايسين بمساعدة إنزيمات محددة وايونات الحديد. وتظهر أعراض مرض الإسقربوط نتيجة لنقص أو تهدم الكولاجين مما يؤدى إلى عدم التأم الجروح وحدوث نزف في اللثة وتحت الجلد وسهولة تكسر العظام وذلك لعدم قدرتها على الاحتفاظ بالكالسيوم والفوسفور أثناء عملية التكلس.

3 - امتصاص الحديد: حيث يزيد فيتامين C من قدرة الجسم على امتصاص الحديد من خلال جدار الأمعاء، ويوجد الحديد داخل الجسم في صورتين هما : الحديديك والحديدوز، لهذا يقوم فيتامين C بمساعدة حامض الهيدروكلوريك على إبقاء الحديد في صورة حديدوز حتى يسهل امتصاصه. ولقد وجد أن فيتامين C يرتبط مع الحديد لتكوين معقد يسهل مروره من خلال جدار الأمعاء، ويزيد فيتامين C من مخزون الحديد في أعضاء الجسم المختلفة مثل الكبد ونخاع العظام والطحال نظراً لأنه يساعد على فصل الحديد من الترانسفيرين (البروتين الحامل للحديد في الدم) واتحاده مع الفريتين وهو البروتين الذي يوجد في هذه الأعضاء.

4 - أيض الأحماض الأمينية: يعمل فيتامين C على أيض بعض الأحماض الأمينية مثل التيروسين والتربتوفان والفنيل الأنين حيث يعمل على تكوين مادة السيروتنين المهمة لنقل المنهات العصبية من الفنيل الأنين وتنظيم ضغط الدم من التربتوفان وكذلك تكوين هرمون نون ابينيفرين الضروري للتغلب على الشعور بالإجهاد من التيروسين.

5 - مضاد للأكسدة ففيتامين C يوجد في الصورة المؤكسدة والصورة المختزلة، لذا فإنه يؤكسد نفسه لحماية العناصر الغذائية الأخرى من الأكسدة داخل الجسم (العناصر الغذائية التي تدخل في تكوين الأنسجة وأغشية الخلايا) مثل فيتامين A وفيتامين E ومجموعة فيتامينات B والأحماض الدهنية غير المشبعة المتعددة. أي أنه ضروري لصحة وسلامة جميع خلايا الجسم وأعضائه.

6 - يدخل فيتامين C في عملية اختزال حامض الفوليك إلى حامض الفولينيك (حامض الفوليك رباعي الهيدروجين) النشيط فسيولوجياً، كما يساعد الجسم على تخزين كمية أكبر من حامض الفوليك، لذا يعد هذا الفيتامين مضاداً للأنيميا ذات كرام الدم المتضخمة في الرضع والأطفال.

7 - ينصح كثير من الأطباء بتناول جرعات كبيرة من فيتامين C تصل إلى جرام واحد في حالة الإصابة بأمراض البرد والحمى والرشح والإنفلونزا وغيرها لأن له القدرة على إبطال التأثير السام للهستامين، لكن لا ينصح بتناول جرعات كبيرة جدا لفترات طويلة لأنه يعمل على تكوين حصوات من نوع الاوكزالات في الكلى، كما يضعف امتصاص الجسم لفيتامين B_{12}، وتعود قدرة الفيتامين على مقاومة البرد إلى انه يساعد على أيض الفنيل الأنين والتيروسين اللذين يدخلان في تكوين هرمون الثيروكسين والأدرينالين اللازمين لتنظيم الأيض القاعدي وإنتاج الطاقة.

8 - لفيتامين C وظائف أخرى تتمثل في تصنيع السكريات المخاطية المتعددة، والأستيرولات المضادة للالتهابات بواسطة الغدة الكظرية، كما يسهل الفيتامين خروج الكوليسترول من الجسم وخفض مستواه في الدم وذلك عن طريق إفرازه مع البول وتحويله إلى أحماض الصفراء، كما يضعف فيتامين C من نشاط إنزيم الليبيز اللذي يعمل على أكسدة الدهون الزائدة في الجسم ولذلك يحمى الجسم خطر الأوزون الجوي والالدهيدات الناتجة من التدخين ويساعد على تكوين الغضاريف وعاج الأسنان.

<u>نقص فيتامين C</u>: تتمثل أهم أعراض نقص الفيتامين في الجسم بما يلي:

1 - الإصابة بمرض الإسقربوط الذي تتمثل أعرضه في ضعف عام والشعور بالتعب والإرهاق والآم في المفاصل والأرجل ونقص في الوزن وجفاف في الجلد نتيجة لتناول وجبات غذائية خالية من الفيتامين لمدة طويلة، وبتقدم الحالة يحدث نزف وتورم في اللثة وتساقط الأسنان.

2 - نزف تحت الجلد في صورة بقع دموية زرقاء تظهر حول منابت الشعر نتيجة لنقص المواد اللاحمة، ونزيف في الشبكية والملتحمة والأنف وتورم في المفاصل وصعوبة التئام الجروح نتيجة لنقص الكولاجين، يمكن معالجة هذا المرض بإعطاء المريض فيتامين C.

3 - الإصابة بنزلات البرد والزكام وعدم قدرة الجسم على تحمل درجات الحرارة المنخفضة.

4 - الإصابة بالأنيميا ذات كرات الدم المتضخمة نتيجة لعدم تحويل حامض الفوليك إلى الفولينيك.

5 - الإصابة بالأنيميا ذات كرات الدم الصغيرة وذلك لسوء امتصاص الحديد.

6 - صعوبة التئام الجروح نتيجة لعدم تكوين الكولاجين والمواد اللاحمة بين الخلايا وفى جدار الأوعية الدموية. وتشير عدد من الدراسات إلى أن نقص فيتامين C يؤدي إلى زيادة ترسبات البروتينات الدهنية من نوع Lipoprotein A على امتداد جدران الشرايين كون نقص فيتامين C سبب في تضرر جدران هذه الأوعية الدموية مما يؤدي إلى تكوين الجسم لبروتينات تقوم بإصلاح هذا الضرر تتمثل في الفيبرينوجين Fibrinogen وأبوبروتين Apoprotein الذي يتحول إلى Lipoprotein A من أجل ترميم الأوعية الدموية المتضررة أو النازفة، لكن هذه العملية تزيد من خطر الإصابة بأمراض القلب والأوعية الدموية نتيجة تكون الرواسب في جدران الشرايين. وقد وجِد أن نقص فيتامين C يؤدي إلى ارتفاع نسب الكولسترول والجليسريدات الثلاثية والبروتين الدهني (أ) Lipoprotein A والبروتينات الدهنية منخفضة الكثافة LDL وكذلك انخفاض نسبة البروتينات الدهنية مرتفعة الكثافة HDL.

<u>الإفراط في تعاطي فيتامين C</u>:

عرفنا أن نقص فيتامين C يؤدي إلى حدوث العديد من المشاكل الصحية، كذلك فإن الإفراط في تعاطي فيتامين C يتسبب بحدوث عدد من المشاكل تعرف بالتسمم بفيتامين C وتتمثل أعراضه في الآتي:

1 - اضطراب في التوازن الحامضي – القاعدي في الجسم.

2 - تكون حصوة في الكلية من نوع أكسالات بسبب تحول كميات كبيرة من فيتامين C الزائد إلى حامض أكساليك قبل خروجه مع البول.

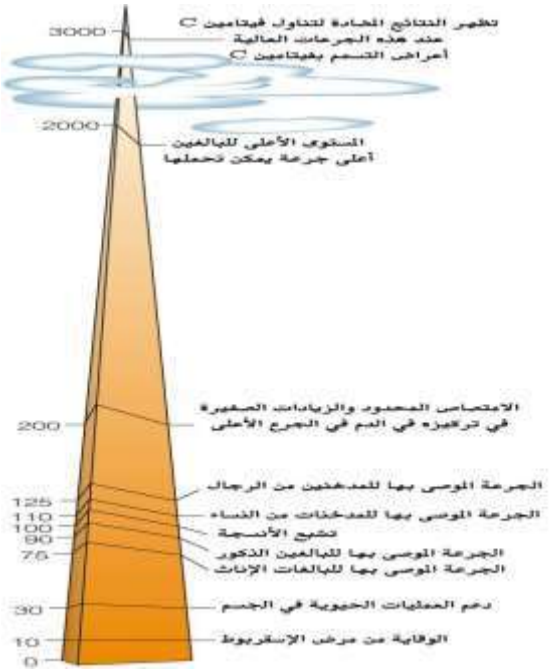
3 - الإصابة بالغثيان والإسهال والتشنجات المعدية بسبب تناول جرعات كبيرة من فيتامين C قبل الوجبة الغذائية.

4 - تلف وتهدم فيتامين B_{12}، مما يؤدي إلى الإصابة بالأنيميا.

5 - ضعف في قدرة كرات الدم البيضاء على إعطاء مناعة للجسم بسبب تكسرها.

6 - ارتفاع معدل امتصاص الحديد من خلال جدار الأمعاء، انخفاض معدل امتصاص النحاس.

أن تناول الأشخاص البالغين 1 - 2 جرام فيتامين C في اليوم يعتبر مقبولاً ومأموناً وغير سام إلا أن الجرعات التي تزيد على 2 جرام تؤدي إلى ظهور أعراض التسمم بالفيتامين، وقد تقلل فقط من فترة بقاء أو دوام نزلات البرد، ويحتاج الإنسان البالغ أن يتناول حوالي 90 مليجرام للرجال و 75 مليجرام للنساء من فيتامين C يومياً، والشكل التالي يوضح الجرع الموصى بها من فيتامين C والكميات الضرورية للوقاية من مرض الإسقربوط ودعم العمليات الحيوية في الجسم، والزيادة المطلوبة من الفيتامين للمدخنين، والجرعة الأعلى التي يمكن تحملها للبالغين وكذلك تلك التي يمكن أن تعطي نتائج عكسية كالتي أشير إليها سابقاً.



الشكل رقم (141) الجرعات الموصى بها من فيتامين C وتلك التي تعطي نتائج عكسية، عن (Whitney and Rolfes, 2008).

المصادر الغذائية لفيتامين C:

الفواكه والخضروات مثل الجوافة، البقدونس، الفلفل، والكرز والبطيخ و الأناناس، التفاح، البابايا، الخص، الكيوي، الورقيات الخضراء، الطماطم والبازلاء، التفاح، البرتقال، الليمون، البطاطا، القرنبيط، السبانخ....الخ، والشكل التالي يوضح بعض المصادر الغذائية لفيتامين C.

الشكل رقم (142) يوضح بعض المصادر الغذائية لفيتامين C، عن (Boyle and Long, 2007).

وفي ختام هذا الفصل نورد جداول المخصصات الغذائية الموصى بها يومياً RDA والمقدار الملائم المأخوذ AI من الفيتامينات، وكذلك المستوى الأعلى المأخوذ الممكنٌ احتمالُه UL لبعض الفيتامينات، للفئات المختلفة، وكذلك ملخص يوضح مساهمة جميع الفيتامينات الذائبة في الدهن أو الماء في صحة الأنسان والعمليات الحيوية التي تجري في الجسم من خلال الشكل رقم (146).

جدول رقم (21): المخصصات الغذائية الموصى بها يومياً (RDA) والمقدار الملائم المأخوذ (AI) من الفيتامينات للفئات العمرية المختلفة*

Age (yr)	Thiamin RDA (mg/day)	Riboflavin RDA (mg/day)	Niacin RDA (mg/day)[a]	Biotin AI (µg/day)	Pantothenic acid AI (mg/day)	Vitamin B_6 RDA (mg/day)	Folate RDA (µg/day)[a]	Vitamin B_{12} RDA (µg/day)	Choline AI (mg/day)	Vitamin C RDA (mg/day)	Vitamin A RDA (µg/day)[b]	Vitamin D AI (µg/day)[c]	Vitamin E RDA (mg/day)[d]	Vitamin K AI (µg/day)
Infants														
0–0.5	0.2	0.3	2	5	1.7	0.1	65	0.4	125	40	400	5	4	2.0
0.5–1	0.3	0.4	4	6	1.8	0.3	80	0.5	150	50	500	5	5	2.5
Children														
1–3	0.5	0.5	6	8	2	0.5	150	0.9	200	15	300	5	6	30
4–8	0.6	0.6	8	12	3	0.6	200	1.2	250	25	400	5	7	55
Males														
9–13	0.9	0.9	12	20	4	1.0	300	1.8	375	45	600	5	11	60
14–18	1.2	1.3	16	25	5	1.3	400	2.4	550	75	900	5	15	75
19–30	1.2	1.3	16	30	5	1.3	400	2.4	550	90	900	5	15	120
31–50	1.2	1.3	16	30	5	1.3	400	2.4	550	90	900	5	15	120
51–70	1.2	1.3	16	30	5	1.7	400	2.4	550	90	900	10	15	120
>70	1.2	1.3	16	30	5	1.7	400	2.4	550	90	900	15	15	120
Females														
9–13	0.9	0.9	12	20	4	1.0	300	1.8	375	45	600	5	11	60
14–18	1.0	1.0	14	25	5	1.2	400	2.4	400	65	700	5	15	75
19–30	1.1	1.1	14	30	5	1.3	400	2.4	425	75	700	5	15	90
31–50	1.1	1.1	14	30	5	1.3	400	2.4	425	75	700	5	15	90
51–70	1.1	1.1	14	30	5	1.5	400	2.4	425	75	700	10	15	90
>70	1.1	1.1	14	30	5	1.5	400	2.4	425	75	700	15	15	90
Pregnancy														
≤18	1.4	1.4	18	30	6	1.9	600	2.6	450	80	750	5	15	75
19–30	1.4	1.4	18	30	6	1.9	600	2.6	450	85	770	5	15	90
31–50	1.4	1.4	18	30	6	1.9	600	2.6	450	85	770	5	15	90
Lactation														
≤18	1.4	1.6	17	35	7	2.0	500	2.8	550	115	1200	5	19	75
19–30	1.4	1.6	17	35	7	2.0	500	2.8	550	120	1300	5	19	90
31–50	1.4	1.6	17	35	7	2.0	500	2.8	550	120	1300	5	19	90

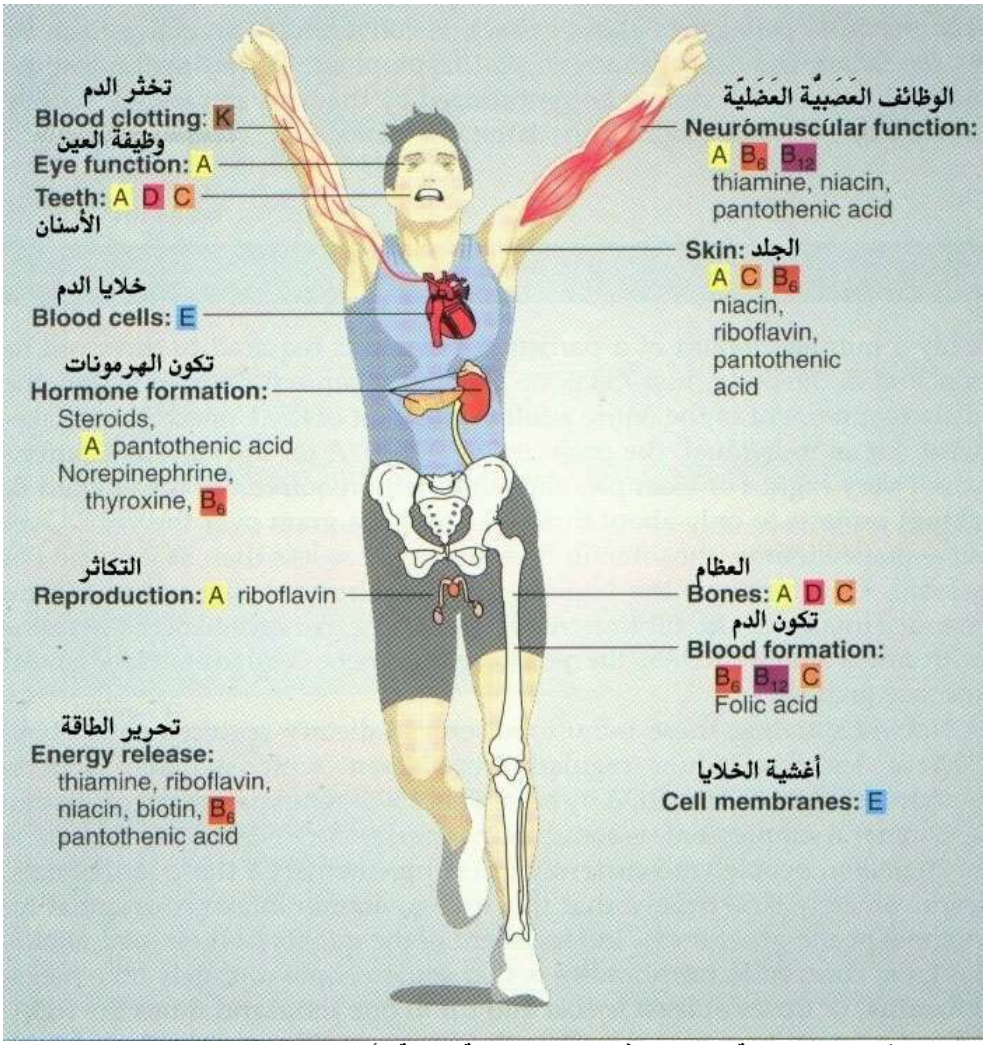
* المصدر: Dietary Reference Intakes series, National Academies Press. (1997 - 2005)

جدول رقم (22): المستوى الأعلى المأخوذ الممكنٌ احتمالُه (UL) لبعض الفيتامينات، للفئات المختلفة*

Age (yr)	Niacin (mg/day)[a]	Vitamin B_6 (mg/day)	Folate (µg/day)[a]	Choline (mg/day)	Vitamin C (mg/day)	Vitamin A (µg/day)[b]	Vitamin D (µg/day)	Vitamin E (mg/day)[c]
Infants								
0–0.5	—	—	—	—	—	600	25	—
0.5–1	—	—	—	—	—	600	25	—
Children								
1–3	10	30	300	1000	400	600	50	200
4–8	15	40	400	1000	650	900	50	300
9–13	20	60	600	2000	1200	1700	50	600
Adolescents								
14–18	30	80	800	3000	1800	2800	50	800
Adults								
19–70	35	100	1000	3500	2000	3000	50	1000
>70	35	100	1000	3500	2000	3000	50	1000
Pregnancy								
≤18	30	80	800	3000	1800	2800	50	800
19–50	35	100	1000	3500	2000	3000	50	1000
Lactation								
≤18	30	80	800	3000	1800	2800	50	800
19–50	35	100	1000	3500	2000	3000	50	1000

* المصدر : Dietary Reference Intakes series, National Academies Press. (1997 - 2005)

الشكل رقم (143) يوضح مساهمة جميع الفيتامينات الذائبة في الدهن أو في الماء في صحة الأنسان والعمليات الحيوية التي تجري في الجسم.



الشكل رقم (143) مساهمة الفيتامينات في العمليات الحيوية وصحة الأنسان، عن (Katch and McArdle, 1993).

الفصل السابع

العناصر المعدنية: المواد غير العضوية في الغذاء

Mineral Elements: Inorganic materials in Food

يحتوي جسم الإنسان على ما لا يقل عن 40 عنصر كيميائي تشكل أربعة منها وهي الكربون، والهيدروجين، والأكسجين، والنيتروجين (العناصر العضوية) حوالي 96 % من وزن جسم الإنسان، بينما تشكل العناصر المعدنية (غير العضوية) حوالي 4 % من وزن الجسم.

الوظائف العامة للعناصر المعدنية:- لكل عنصر من العناصر المعدنية وظائف محددة خاصة، إلا أنه بشكل عام يمكن حصر وظائف العناصر المعدنية في التالي:

1 - وظائف بنائية:

من العناصر المعدنية الكالسيوم والفسفور اللذان يدخلان في تركيب العظام والأسنان، اليود الذي يدخل في بناء هرمون الثايروكسين، الحديد الذي يدخل في تركيب الهيموجلوبين، الزنك الذي يدخل في تركيب بعض الإنزيمات، والكلور الذي يدخل في تركيب HCl الذي تفرزه المعدة.

2 - المحافظة على التوازن الحامضي - القاعدي في الجسم:

التغير في الرقم الهيدروجيني pH في سوائل الخلايا عن مداه الطبيعي يسبب ضرر للجسم بدأً من خلل في عمل الإنزيمات وقد يتفاقم هذا الضرر حتى يصل إلى الوفاة، وتعمل العناصر المعدنية على ثبات الرقم الهيدروجيني pH في سوائل الجسم، حيث أن بعض هذه العناصر المعدنية ذات طبيعة حامضية وبعضها الأخر ذات طبيعة قاعدية وبهذا فهي تعمل على المحافظة على التوازن الحامضي - القاعدي في الجسم وثبات الرقم الهيدروجيني pH في سوائل الخلايا.

3 - المحافظة على الضغط الأسموزي وتوازن الماء:

تقوم العناصر المعدنية بالمحافظة على توازن السوائل داخل وخارج خلايا الجسم، حيث تتواجد بعض العناصر المعدنية داخل الخلايا مثل البوتاسيوم والفوسفات، بينما الصوديوم والكلور يوجدان بتركيز عالي خارج الخلايا في السوائل المحيطة بالخلية والبلازما، ولذلك دور في الإبقاء على الأنظمة الغروية لسوائل الجسم وتنظم بعض صفاتها.

4 - نقل الإشارات العصبية والاستجابة للمؤثرات الخارجية:

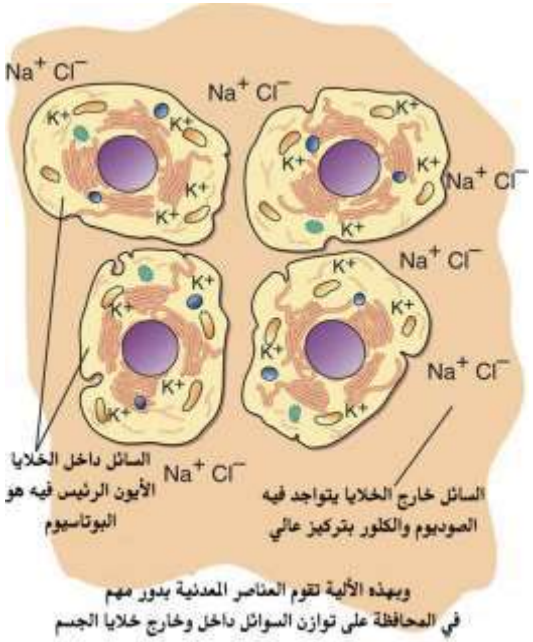
يعمل تبادل أيونات الصوديوم والبوتاسيوم عبر الأغشية الخلوية للأعصاب على نقل الإشارات العصبية من خلية عصبية إلى أخرى كنتيجة للتغير في الشحنات الكهربائية التي توجد على الغشاء الخلوي، ويعتمد ذلك أيضا على وجود الأستيل كولين Acetylcholine (الذي يستجيب للمنبهات الخارجية ويفرز عند نهاية الأعصاب Neurotransmitters وينقل التأثيرات إلى الجهاز العصبي) الذي يعتمد إطلاقه بين الألياف العصبية على عنصر الكالسيوم.

5 - انقباض وانبساط العضلات:

تقوم العضلات بوظيفتها الحركية نتيجة للتوازن بين الكالسيوم الذي يحفز انقباض العضلات وبين الصوديوم والبوتاسيوم والمغنيسيوم وجميعها تحفز انبساط العضلات.

6 - تنشيط التفاعلات الحيوية في الجسم:

تقوم بعض العناصر المعدنية بوظيفة مهمة في عمليات الأيض حيث تعمل كعوامل مرافقة Cofactors حيوية لعمل الإنزيمات، فعنصر مثل الخارصين (الزنك) ينشط ما لا يقل عن 100 إنزيم، كما أن الحديد والبوتاسيوم والمغنيسيوم والمنجنيز والنحاس والسيلينيوم والموليبدينوم تقوم بتنشيط عدد من التفاعلات الإنزيمية في الجسم.



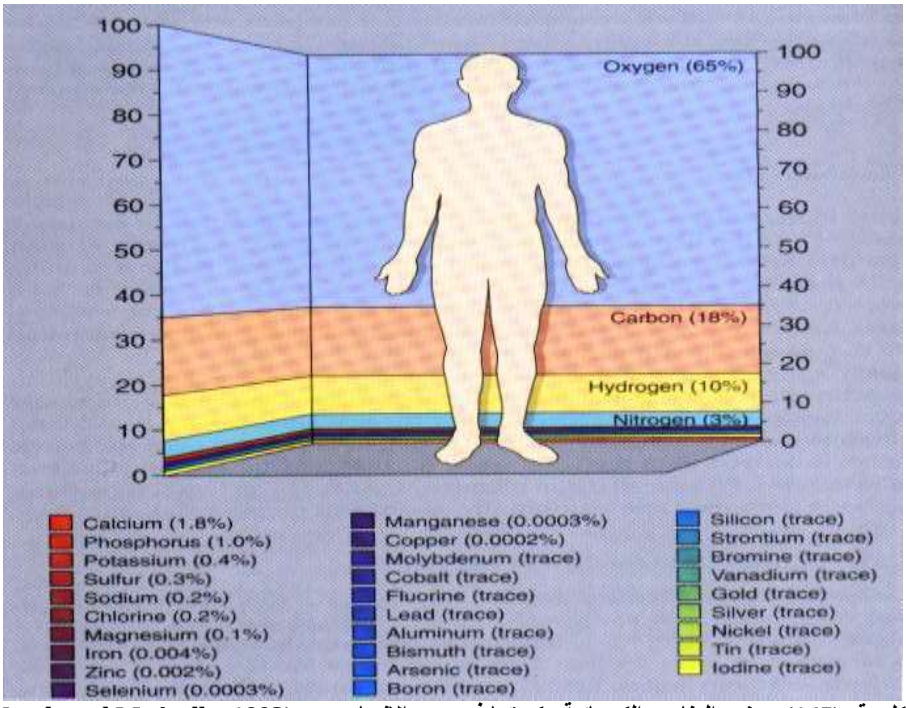
الشكل رقم (144) يوضح مساهمة البوتاسيوم (الأيون الرئيس داخل الخلايا)، والصوديوم والكلور (أيونات خارج الخلايا)، في توازن السوائل في الجسم وتنظيم الضغط الأسموزي في الخلايا، عن (Boyle and Long, 2007).

<u>تصنيف العناصر المعدنية:-</u> هناك أكثر من طريقة لتصنيف العناصر المعدنية نذكر منها:

<u>أولاً:</u> تصنيف العناصر المعدنية حسب كميتها في الجسم:

1 - العناصر المعدنية الكبرى (Major) Macro-elements: وهي العناصر المعدنية التي تصل كميتها في جسم الإنسان إلى حوالي خمسة جرامات أو أكثر (حوالي 0.1 من وزن الجسم أو أكثر) ويحتاج الإنسان منها إلى حوالي 100 مليجرام أو أكثر يومياً وتشمل الكالسيوم والفسفور والكبريت والبوتاسيوم والكلور والصوديوم والمغنيسيوم.

2 - العناصر المعدنية الصغرى (Trace) Micro-elements: وهي العناصر المعدنية التي تقل كميتها في جسم الإنسان عن خمسة جرامات.



الشكل رقم (145) يوضح العناصر الكيميائية وكميتها في جسم الإنسان، عن (Katch and McArdle, 1993).

ثانياً: تصنيف العناصر المعدنية حسب أساسيتها:

لكي يعتبر العنصر المعدني أساسياً أو ضرورياً للجسم يجب أن تتحقق فيه المعايير التالية:

1 - أن يتوفر العنصر المعدني بكميات ثابتة في أنسجة الجسم المختلفة.

2 - أن يؤدي نقصه إلى تغيرات فسيولوجية وتركيبية تظهر على هيئة أعراض واضحة.

3 - أن تقترن الأعراض المرضية الفسيولوجية أو التركيبية بتغيرات كيميائية حيوية محددة قابلة للتحسن والعودة للحالة الطبيعية عند إعطاء العنصر الناقص، مما يؤدي إلى زوال الأعراض الناتجة عن نقصه.

4 - أن تُعرف الآلية الدقيقة التي يقوم فيها العنصر المعدني بوظيفته.

5 - أن تثبت ضرورية العنصر في أكثر من نوع حيواني، من أكثر من باحث في أكثر من مختبر.

وعلى هذا الأساس تقسم العناصر المعدنية إلى عناصر معدنية أساسية أو ضرورية وعناصر معدنية شبه أساسية وعناصر معدنية غير أساسية.

1 - عناصر معدنية أساسية:

وتشمل جميع العناصر المعدنية الكبرى السبعة وهي (الكالسيوم والفسفور والكبريت والبوتاسيوم والكلور والصوديوم والمغنيسيوم) إضافة سبعة عناصر من العناصر المعدنية الصغرى وتشمل (الحديد والزنك والنحاس والمنجنيز والكوبالت واليود والموليبدينوم). وهذه العناصر المعدنية تحقق جميع المعايير المذكورة أعلاه.

2 - عناصر معدنية شبه أساسية:

تشمل العناصر المعدنية شبه الأساسية كل من الفلور والسيلينيوم والكروم والفاناديوم والقصدير والنيكل والسيليكون والزرنيخ، وقد يضاف مع هذه المجموعة عناصر الكادميوم والرصاص والسترونتيوم والباريوم والبروم والبورون. ولا تحقق هذه العناصر المعدنية سوى بعض المعايير المذكورة أعلاه.

3 - عناصر معدنية غير أساسية:

هذه المجموعة من العناصر المعدنية غير الأساسية أو الملوثات تشمل عناصر الألومنيوم والأنتيمون والبزموث والجرمانيوم والذهب والزئبق والفضة والروبيديوم والتيتانيوم. ولا تحقق هذه العناصر المعدنية من الشروط المذكورة أعلاه سوى الشرط الأول والمتمثل في وجودها في جسم الإنسان إلا أنها ومع ذلك تكون في حالة تذبذب في كميات تواجدها.

العناصر المعدنية الكبرى

الكالسيوم Calcium:

يشكل الكالسيوم 1,5 إلى 2 % من وزن الجسم، وبذلك يكون أكبر العناصر المعدنية وجوداً في جسم الإنسان، ويوجد 99 % من الكالسيوم في العظام والأسنان، بينما يتوزع الباقي في البلازما وسوائل الجسم وأنسجته الأخرى.

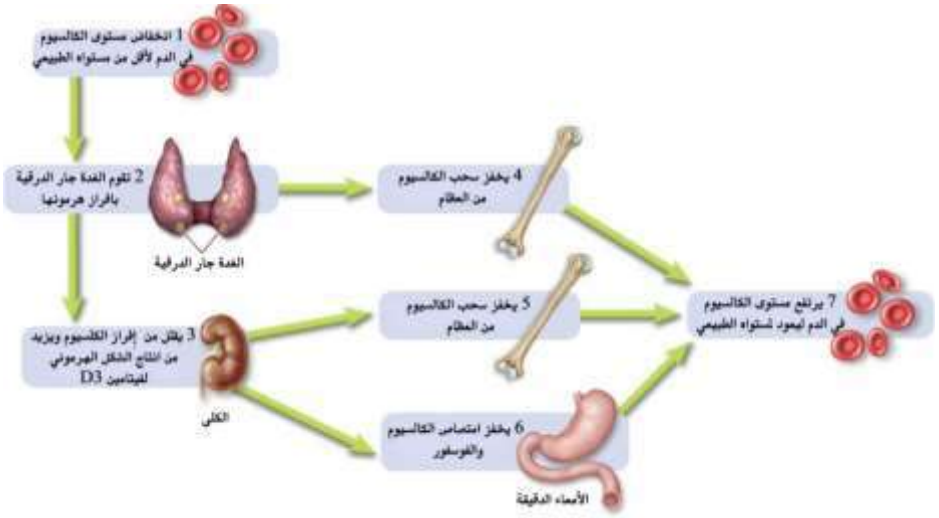
امتصاص الكالسيوم وتمثيله في الجسم:

يحدث امتصاص الكالسيوم في الأمعاء الدقيقة حيث يتم امتصاص 10 – 30 % من الكالسيوم الغذائي، وهناك عدد من العوامل التي تؤثر على محتوى الكالسيوم وامتصاصه في الجسم ومن هذه العوامل ما يلي:

1- مدى حاجة الجسم للكالسيوم: وتتحدد بعوامل النمو والحركة والظروف التي تؤدي إلى استنفاذ الكالسيوم من الجسم.

2- تركيز أيونات الكالسيوم (Ca^{++}) في السوائل خارج الخلايا: إن أي تغير في تركيز أيونات الكالسيوم في السوائل خارج الخلايا يؤدي إلى تغير كبير في امتصاصه.

3- فيتامين D: إن لفيتامين D دوراً في امتصاص الكالسيوم فهو ضروري لتكوين البروتين الناقل له في خلايا جدران الأمعاء، ولذا فان نقص فيتامين D يؤدى إلى انخفاض امتصاص الكالسيوم.



الشكل رقم (146) يوضح دور فيتامين D في تنظيم مستويات الكالسيوم في الدم، حسب حاجة الجسم للكالسيوم، عن (Schiff and Wardlaw, 2008).

4- حموضة الأمعاء: يزداد امتصاص الكالسيوم نتيجة نقص الرقم الهيدروجيني pH أي بزيادة الحموضة، ولذلك يتم معظم الامتصاص في الجزء العلوي من الأمعاء الدقيقة حيث يكون الوسط غير قلوي، أما الوسط القلوي فيقلل من الامتصاص.

5- كمية البروتينات المتناولة في الوجبة الغذائية: تؤثر البروتينات إيجاباً على امتصاص الكالسيوم، ويرجع ذلك إلى تكوين معقدات Complexes من الكالسيوم والأحماض الأمينية خاصة مع اللايسين والسيرين والأرجنين، إلا أن زيادة البروتين الغذائي تقترن أيضاٍ بزيادة طرح الكالسيوم في البول.

6- كمية الكربوهيدرات المتناولة في الوجبة الغذائية: تزيد بعض الكربوهيدرات وخاصة اللاكتوز من امتصاص الكالسيوم، وربما يكون ذلك ناتجاً عن تخمر اللاكتوز في الأمعاء مكوناً حمض اللاكتيك الذي يخفض الرقم الهيدروجيني ويحسن بالتالي امتصاص الكالسيوم، كما أن هناك احتمال تكون معقدات من الكالسيوم واللاكتوز تسهل عملية الامتصاص.

7- كمية الدهون في الوجبة الغذائية: إن زيادة الدهون في الوجبة الغذائية تقلل من نسبة الكالسيوم الممتص، ويعتقد أن الأحماض الدهنية طويلة السلسلة الكربونية هي التي تؤثر سلباً على امتصاص الكالسيوم، حيث يكون الكالسيوم مع الأحماض الدهنية الناتجة عن الهضم صابون كلسي غير ذائب، ويرى بعض الباحثين أن الأحماض الدهنية قصيرة و متوسطة السلسلة الكربونية لا تعطى التأثير نفسه، بل قد تحسن من امتصاص الكالسيوم.

8- نسبة الكالسيوم إلى الفسفور Ca/P ratio: يعتمد امتصاص الكالسيوم على نسبة الكالسيوم إلى الفسفور في الغذاء، فعند نقص النسبة عن 2 : 1 تنخفض نسبة الكالسيوم لوجود تنافس في مواقع الامتصاص بين العنصرين.

9- وجود حامض الأوكزاليك: يقلل حامض الأوكزاليك (الذي يتواجد في بعض الخضروات الورقية) من نسبة امتصاص الكالسيوم وذلك لتكون مركبات أوكزالات الكالسيوم غير الذائبة.

10- وجود حامض الفايتيك: يؤثر حامض الفايتيك (الذي يتواجد في الطبقة الخارجية من حبوب القمح) سلباً على امتصاص الكالسيوم، كما يؤثر على امتصاص غيره من العناصر ذات الأيونات الموجبة كالحديد والزنك والمغنيسيوم.

<u>الوظائف الفسيولوجية للكالسيوم في الجسم:</u> تلخص الوظائف الفسيولوجية للكالسيوم فيما يلي:

1- تكوين وبناء العظام والأسنان: يترسب الكالسيوم والفوسفات في خلايا العظام.

2- تخثر الدم: للكالسيوم دور مهم في بناء الثرومبين المهم في عملية التخثر من البروثرومبين. كما أنه يعمل على ثبات بروتين الفيبرين المتكون الذي يحول دون استمرار النزيف (وهذا ما سبق توضيحه عند الحديث عن فيتامين K).

3- انقباض العضلات: يقوم الكالسيوم بتحفيز انقباض العضلات وهذه العملية جزء من الوظيفة الحركية للعضلات.

4- نقل الإشارات العصبية: تنشط أيونات الكالسيوم إنزيم Cholinesterase المحلل لجزيئات مركب الأستيل كولين Acetylcholine إلى مركبي الكولين والخلات مما يؤدي إلى نقل الإشارات العصبية من خلية إلى أخرى.

5- نفاذية الأغشية الخلوية: يسهل الكالسيوم مرور السوائل من خلال الأغشية الخلوية، ويسهل بذلك توازن المواد بين الخلايا.

6- تنشيط الإنزيمات: فهو من العناصر المعدنية التي تنشط عداد كبير من الإنزيمات في الجسم.

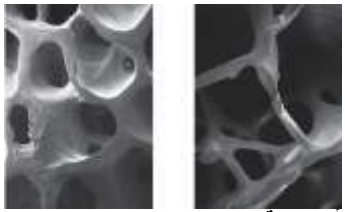
<u>أعراض نقص الكالسيوم:</u>

لابد من توفر الكالسيوم في الغذاء بكميات مناسبة للمحافظة على وضع صحي للعظام وللإبقاء على مستوى ثابت منه في الدم. وعند نقص الكالسيوم إما لقلة توفره في الغذاء أو لعدم توفره الحيوي الناتج عن قلة امتصاصه فإن إفراز الغدة فوق الدرقية يزداد لتتم المحافظة على مستواه في الدم بتركيز 9 – 11 ملجم/ 100 ملليلتر وينتج عن ذلك سحب الكالسيوم من العظام، ومن الحالات التي ينتج فيها سحب الكالسيوم من العظام الحمل والرضاعة، حيث تكون الحاجة له عالية. ومع زيادة النقص تنتج أعراض وتغيرات مرضية في الإنسان يمكن تلخيصها فيما يلي:

1- الكساح: ينتج الكساح عن نقص فيتامين D أو الكالسيوم أو كليهما في أثناء مرحلة النمو السريع في الأطفال في السنتين الأولى والثانية، يؤدى إلى أعراض مزمنة في الأطفال إذا لم يعالجوا مبكراً.

2- التكزز (التشنج): عند انخفاض نسبة الكالسيوم في الدم إلى مستوى 4 – 8 ملجم/ 100 ملليلتر أو زيادة نسبة الفوسفات إلى الكالسيوم ينتج حالة من الحركة غير المنتظمة للعضلات تؤدى إلى التشنج في الأطفال والحوامل أحياناً، وكثيراً ما تنتج هذه الحالة في الأطفال <u>عند تغيير نمط تغذية الطفل من حليب الأم إلى خلطات الرضع</u> أو عند استهلاك الحامل لكمية كبيرة جداً من الحليب. حيث أن حليب الأبقار يحتوي على نسبة ما بين الفوسفات والكالسيوم أكبر من حليب الأم، وهذا يؤدي إلى عدم توفر الكالسيوم للقيام بوظيفته في حركة العضلات الطبيعية بين الانقباض والارتخاء مما يؤدي إلى حدوث حالة التكزز (التشنج).

3- مسامية وضمور العظام (تَخَلْخُلُ العِظَام): يحدث بشكل كبير في النساء اللواتي يكن في متوسط العمر، وينتج عن صغر حجم العظام ومساميتها وسهولة كسرها وصعوبة التئام كسورها.



الشكل رقم (147) يوضح تَخَلْخُلُ العِظَام نتيجة نقص الكالسيوم (إلى اليمين)، مقارنة بعظم سليم (إلى اليسار)، عن (Whitney and Rolfes, 2008).

4- لين العظام: يحدث هذا المرض نتيجة سحب الأملاح غير العضوية من العظام وأهمها الكالسيوم والفوسفات في أثناء نقصها الغذائي أو زيادة الطلب عليها داخل الجسم كما يحدث في مرحلتي الحمل والإرضاع، وتحدث هذه الحالة في الكبار بعكس الكساح الذي يحدث في الصغار الذين لم تتكلس عظامهم تماماً. ويكون تركيز الكالسيوم في العظام قليلاً في هذه الحالة.

مصادر الكالسيوم الغذائية:

أهم المصادر الغذائية للكالسيوم الحليب (1000 ملجم من الكالسيوم في كل لتر من الحليب) ومنتجات الألبان المختلفة وهى بالإضافة إلى محتواها العالي من الكالسيوم تعتبر كلها ذوات وفرة حيوية عالية لخلوها من حمض الفايتيك وغيره من العوامل التي تقلل من امتصاص الكالسيوم. ومن المصادر المهمة أيضاً له صفار البيض والأسماك وخاصة السردين والأسماك الصغيرة المعلبة بعظامها، كما أن المكسرات والبقوليات والحبوب الكاملة والأوراق الخضراء كالخص والسبانخ تحتوي على كميات لا بأس بها من الكالسيوم، ويوصى باستهلاك 1000 ملجم من الكالسيوم في اليوم للبالغين و 1200 ملجم للحوامل والمرضعات وكذلك المسنين.

الشكل رقم (148) يوضح بعض المصادر الغذائية للكالسيوم، عن (Boyle and Long, 2007).

الفسفور Phosphorus:

يتواجد الفسفور عادة مع الكالسيوم في أهم مصادرهما الغذائية (الحليب ومنتجاته)، ونظراً لاشتراكهما في وظيفة بناء العظام والأسنان ووجود معظم كميتهما في الجسم في العظام والأسنان، وكذلك لعلاقتهما بفيتامين D وهرمون الغدة جارة الدرقية، لذا يعتبر الكالسيوم والفسفور توأمين من الناحية التمثيلية . ومع ذلك فهناك فروق وظيفية مميزة بين العنصرين.

تبلغ نسبة الفسفور حوالي 1 % من وزن الجسم أو ما يعادل حوالي نصف كمية الكالسيوم، ويوجد 80 % من كمية الفسفور في العظام، بينما تتوزع النسبة الباقية منه في أنسجة وخلايا الجسم المختلفة، وهو بذلك أكثر توزيعاً من الكالسيوم في جميع خلايا الجسم. ويبلغ تركيزه في بلازما الدم 3,0 – 4,5 ملجم/ 100 ملليلتر، ويوجد الفسفور في الجسم في صورة فوسفات، وهي إما أن تكون في شكل عضوي أو غير عضوي.

امتصاص الفسفور وتمثيله في الجسم:

يقدر امتصاص فسفور الوجبة الغذائية من الأمعاء بحوالي 70 %، إلا أن هذه النسبة تتأثر بعدة عوامل كما هو الحال في الكـالسيوم، ومن أهم هذه العوامل نسبة الكـالسيوم إلى الفسفور Ca/P ratio، فإذا زادت هذه النسبة عن 1:1 ازداد إخراج الفسفور وقل امتصاصه، والعكس صحيح، ومن العوامل الأخرى وجود فيتامين D وقد سبق شرح دور هذا الفيتامين سابقاً. وتوجد نسبة من الفسفور عل شكل حامض الفايتيك، وهو بهذه الصورة غير متاح أو قابل للهضم، كما أن هذا الحامض يؤثر سلباً على امتصاص العناصر ذات الأيونات الموجبة كالكالسيوم والحديد والزنك والمغنيسيوم، لذا لابد من تحرير الفوسفات من هذا المركب بواسطة إنزيم الفايتيز Phytase ليصبح قابلاً للهضم (كما يحدث أثناء تخمر الخبز بواسطة الخميرة).

الوظائف الفسيولوجية للفسفور في الجسم:

غالباً ما يوجد الفسفور في الجسم على شكل فوسفات PO_4، ويمكن تلخيص الوظائف الفسيولوجية للفسفور فيما يلي:

1- تكوين وبناء العظام والأسنان: كما هو الحال في الكالسيوم.

2- امتصاص الجلوكوز والجليسرول من الأمعاء وإعادة امتصاص الجلوكوز بعد ترشيحه في الكلى، تحتاج هذه العملية لوجود الفسفور.

3- ضروري لتمثل الدهون ونقلها إلى الدم على هيئة دهون فسفورية (فوسفوليبيدات).

4- ضروري لتمثل الكربوهيدرات، ولتمثيل الطاقة.

5- ضروري لتمثل البروتينات وخاصة البروتينات النووية.

6- يساعد على حفظ التوازن الحامضي - القاعدي في الجسم.

أعراض نقص الفسفور واختلال نسبة الكالسيوم إلى الفسفور:

يؤدي نقص الفسفور إلى اختلال النمو الطبيعي وضعف العضلات واختلال تكلس العظام والأسنان، كما يؤدي استعمال الأدوية لبعض الحالات المرضية كالداء السكري أيضاً إلى نقص الفوسفات في الدم، فعند استعمال الإنسولين مثلاً تزيد نسبة خزن الجلوكوز على هيئة جليكوجين ودهون، وهذا يتطلب كميات من فوسفات الدم، ولذا يعطى مرضى الداء السكري الفوسفات مع العلاج لتفادى حالة نقص فوسفات الدم المحتملة.

مصادر الفسفور الغذائية:

مصادر الفسفور الغذائية متنوعة أكثر من مصادر الكالسيوم، فهو يوجد في جميع الأنسجة الحيوانية والنباتية وبوجه عام تحتوى المصادر الغنية بالكالسيوم والبروتين على كميات جيدة من الفسفور، ومن أغنى المصادر الغذائية بالفسفور الحليب ومنتجات الألبان والبيض واللحوم والأسماك والبقوليات.

الاحتياجات اليومية من الفسفور:

هناك عوامل كثيرة تؤثر على الاحتياجات الغذائية اليومية للفسفور من أهمها: مستوى فيتامين D في الغذاء والعمر والمرحلة الفسيولوجية ونوع الغذاء، وتبلغ المخصصات اليومية للبالغين من الفسفور 700 ملجم في اليوم.

الشكل رقم (149) يوضح بعض المصادر الغذائية للفسفور، عن (Boyle and Long, 2007).

البوتاسيوم Potassium:

يحتوي جسم الإنسان البالغ على حوالي 270 جرام من البوتاسيوم، يتركز في السوائل داخل الخلايا. يعادل تركيز البوتاسيوم في البلازما 14 – 20 ملجم/ 100 ملليلتر.

امتصاص البوتاسيوم وتمثيله في الجسم:

يمتص البوتاسيوم بسهولة من الأمعاء الدقيقة، ويخرج جزء قليل منه في البراز. ويطرح معظمه عن طريق البول، مع إمكانية طرح جزء منه مع العرق، وتقوم الكلى بتنظيم إخراجه وإعادة امتصاصه حسب الحاجة إليه وهذا يعتمد على التغيرات في التوازن الحامضي القاعدي في الجسم . ويعمل هرمون الألدوستيرون على إخراجه في البول وعلى إعادة امتصاص الصوديوم.

يزداد مستوى البوتاسيوم في الدم في الحالات التالية:

1- الإصابة ببعض الأمراض مثل الفشل الكلوي والانسداد البولي، وكذلك مرض أديسون، حيث يقل أو ينعدم هرمون الألدوستيرون مما يؤدي إلى قلة تبادل الصوديوم بالبوتاسيوم في الكلى. إضافة إلى الداء السكري غير المسيطر عليه، حيث تقل كفاءة مضخة الصوديوم بسبب عدم استغلال الجلوكوز مصدراً للطاقة اللازمة لعمل هذه المضخة.

2- الانقباض العنيف للعضلات، حيث يؤدي إلى خروج البوتاسيوم إلى خارج خلايا العضلات، (مثل حالات التشنج أو الصرع). كذلك حالات تهتك الأنسجة حيث تخرج كمية كبيرة من البوتاسيوم من داخل الخلايا المتهتكة إلى الدم وفي نفس الوقت تقل كفاءة الكلى.

كما ينخفض مستوى البوتاسيوم في الدم في الحالات التالية:

1- زيادة نسبة هرمون الألدوستيرون.

2- ارتفاع مستوى الكالسيوم بالدم.

3- استعمال الأدوية المدرة للبول.

4- القيء والإسهال المستمر وكذلك استعمال المسهلات أو الملينات.

5- علاج غيبوبة ارتفاع السكر بالأنسولين بدون تناول البوتاسيوم معه.

الوظائف الفسيولوجية للبوتاسيوم في الجسم: تلخص الوظائف الفسيولوجية للبوتاسيوم فيما يلي:

1- المساعدة على توازن السوائل في الجسم وتنظيم الضغط الأسموزي داخل الخلايا.

2- حفظ التوازن الحامضي - القاعدي في الجسم.

3- سلامة وتماسك العضلات، حيث يعمل البوتاسيوم مثل الصوديوم على تنظيم نقل الإشارات الكهروكيميائية في الأعصاب، وانقباض العضلات وهو بذلك يساعد على حساسية العضلات وارتخائها، ويعاكس بذلك فعل الكالسيوم وهذا يدل على تكامل أدوارهما الفسيولوجية وذلك مهم بصورة خاصة في عضلة القلب، حتى أن أي تغيرات طفيفة في تركيز أيونات البوتاسيوم تنعكس بوضوح على منحنيات المخطط الكهربائي للقلب.

4- تمثيل الكربوهيدرات وتمثيل البروتينات.

أعراض نقص البوتاسيوم:

يؤدى نقص البوتاسيوم في غذاء الإنسان إلى الضعف وشلل العضلات، ويحدث هذا مع كثير من اضطرابات الجهاز الهضمي، التي ينتج عنها الإسهال والتقيؤ، وكذلك يحدث النقص في حالات تحلل الأنسجة وسوء التغذية واستعمال أدوية مدرة للبول مما يؤدى إلى زيادة إخراج البوتاسيوم في البول ونقصه في الدم.

مصادر البوتاسيوم الغذائية:

يتوفر عنصر البوتاسيوم في العديد من الأغذية وخاصة الأغذية النباتية، لذا قلما يحدث نقصه لدى الإنسان، ومن مصادره البقوليات والفواكه والحبوب الكاملة والخضروات الورقية واللحوم الحمراء. لا توجد مقررات يومية محددة لاستهلاك البوتاسيوم، إلا أن ما يتناوله الإنسان ويقدر بـ 2 – 4 جرام يعتبر كافياً.

الشكل رقم (150) يوضح بعض المصادر الغذائية للبوتاسيوم، عن (Boyle and Long, 2007).

الصوديوم Sodium:

يحتوي جسم الإنسان البالغ على حوالي 120 جرام ثلثها في الهيكل العظمي، والباقي في سوائل الجسم خارج الخلايا. يعادل تركيز الصوديوم في البلازما 310 – 340 ملجم/ 100 ملليلتر.

امتصاص الصوديوم وتمثيله في الجسم:

يمتص 95 % من كمية الصوديوم الذي يتناوله الشخص السليم، ويتم امتصاص معظم الصوديوم في الأمعاء الدقيقة إلا أن جزء يسير من الصوديوم يمتص في المعدة. ويطرح معظم الصوديوم في البول ويتأثر ذلك بالإفرازات الهرمونية للغدة الكظرية.

ينتقل الصوديوم بعد امتصاصه إلى الدم ثم إلى الكلى ليتخلص الجسم من الكميات الزائدة منه والتي تقدر بحوالي 90 – 99 % من صوديوم الطعام. وعند زيادة مستوي الصوديوم في الدم فإن إفراز الألدوستيرون (أحد الإفرازات الهرمونية للغدة الكظرية) يقل وتصل رسالة عصبية إلى مركز العطش في الهيبوثلامس Hypothalamus (تحت المهاد)، مما يؤدي إلى الشعور بالعطش فيتناول الإنسان كميات زائدة من الماء والسوائل لتطرح في البول ومعها كميات الصوديوم الزائدة. وفي حالة الإصابة بالإسهال والتقيؤ يفقد الجسم جزء من الصوديوم الذي لابد من تعويضه عن طريق الغذاء. كما ينخفض مستوى الصوديوم في الدم في حالات الإصابة ببعض الأمراض مثل مرض أديسون ، حيث يقل إفراز هرمون الألدوستيرون، أمراض الكُلى الشديدة، الإصابة بالداء السكري، تليف الكبد، وفشل القلب الاحتقاني.

الوظائف الفسيولوجية للصوديوم في الجسم: يمكن تلخيصها فيما يلي:

1- المساعدة على توازن السوائل في الجسم وتنظيم الضغط الأسموزي خارج الخلايا.
2- حفظ التوازن الحامضي - القاعدي في الجسم.
3- نفاذية غشاء الخلية، حيث يؤدي دور في عمل مضخة الصوديوم - بوتاسيوم (Na - K Pump) الضرورية للانتقال النشط للجلوكوز والأحماض الأمينية وبعض المركبات التي تحتاجها الخلية.
4- لـه دور فـي الإثـارة الطبيعيـة فـي العضـلات، نتيجـة لـدوره فـي التـدخل بنقـل الإشـارات الكهروكيميائية في الأعصاب، ولذلك له دور في سرعة تهيج العضلات.

أعراض نقص الصوديوم:

في الظروف العادية لا تحصل مشكلة نقص الصوديوم حيث قد يصل استهلاك الإنسان البالغ إلى حوالي 10 – 20 جرام من ملح الطعام يومياً، أي ما يعادل 4 – 8 جرام من الصوديوم، وهذه الكمية تزيد عن احتياجات الجسم، ويفرز معظمها عن طريق البول على شكل كلوريد وفوسفات الصوديوم. ولكن عند تصبب العرق الشديد نتيجة الطقس الحار أو بسبب الحمى والإجهاد وعند الإصابة بالإسهال فإن الجسم يفقد كميات من الصوديوم بشكل كبير وبكميات أعلى مما يتناوله، وإذا لم يعوض هذا الفقد بتناول الملح فإن النتيجة تكون نقص الصوديوم في الجسم وما يتبع ذلك من تشنجات عضلية خاصة في عضلة القلب وضعف عام وصداع وشعور بالغثيان.

مصادر الصوديوم الغذائية:

يتواجد الصوديوم في الأغذية الحيوانية أكثر من الأغذية النباتية الغنية بالبوتاسيوم، ومن مصادره ملح الطعام، والأغذية المملحة، كما أن بعض الخضروات كالشمندر والحزر والسبانخ تحتوى على مقادير لا بأس بها من الصوديوم.

الاحتياجات اليومية من الصوديوم:

لا يوجد تحديد دقيق لاحتياجات الفرد اليومية من الصوديوم ولا يحدث نقصه في الظروف العادية كما سبق وأن ذُكر، ويبدو أن استهلاك 5 جرام من ملح الطعام في اليوم (أي ما يعادل 2,4 جرام من الصوديوم) تكفي لسد احتياج الجسم من الصوديوم، وينصح بمضاعفة هذا الرقم في البلاد الحارة أو عند القيام بأعمال شاقة تزيد من تصبب العرق.

التسمم بالصوديوم:

من الممكن أن تكون الجرعات الكبيرة من الصوديوم والمكونة من عدة جرامات لكل كيلوجرام من وزن الجسم سامة ومميتة، كما أن الأطفال يتسممون بأخذهم جرعات أقل من ذلك بكثير وذلك لأن الكلى عندهم ليست مكتملة النمو والتطور ومحدودة القدرة على التخلص من الصوديوم.

الشكل رقم (151) مصادر الصوديوم في بعض الأغذية الطبيعية والمصنعة، عن (Boyle and Long, 2007).

المغنيسيوم Magnesium:

تقدر كميته في جسم الإنسان البالغ بحوالي 25 جرام، 60 – 70 % منها توجد مرتبطة مع الكالسيوم والفسفور في أملاح العظام، بينما تتوزع النسبة الباقية منه في سوائل وأنسجة الجسم الأخرى، ويوجد المغنيسيوم في الدم بصورة رئيسية في كريات الدم الحمراء، ويعادل تركيزه في البلازما 1,4 – 2,5 ملجم/ 100 ملليلتر وتحتوى العضلات على كمية من المغنيسيوم أعلى من كمية الكالسيوم، بينما يحتوى الدم على كمية كالسيوم أعلى من كمية المغنيسيوم.

امتصاص المغنيسيوم وتمثيله في الجسم:

يُمتص المغنيسيوم في الأمعاء الدقيقة بنسبة 45%، ويخرج مع البراز حوالي 55% منه، وتوجد علاقة وثيقة بين المغنيسيوم والكالسيوم من حيث نسبة الامتصاص والإفراز في البول فهناك علاقة عكسية بين امتصاص هذين العنصرين، فارتفاع نسبة المغنيسيوم في الدم تؤدى إلى زيادة إفراز الكالسيوم، وزيادة تناول الكالسيوم تؤدى إلى زيادة إفراز المغنيسيوم في البول.

الوظائف الفسيولوجية للمغنيسيوم في الجسم:

ينشط المغنيسيوم العديد من الإنزيمات وخاصة إنزيمات تمثيل الكربوهيدرات والبروتينات، كما أنه منشط وعامل مساعد في ريبوزومات الخلية، إضافة إلى أنه مهم في عمل الجهازين العضلي والعصبي، كما يعمل المغنيسيوم مع الكورتزون على تنظيم فوسفات الدم.

أعراض نقص المغنيسيوم:

نظراً لدور المغنيسيوم في تنشيط العديد من الإنزيمات فإن نقصه ينعكس على العديد من الوظائف الحيوية في الجسم، حيث يؤدى نقصه إلى حدوث تشنجات وتكزز ناتجة عن خلل في عمل الأعصاب التي تؤثر على العضلات، كما أن نقص المغنيسيوم يؤدى إلى توسع الأوعية الدموية وما ينتج عنه من انخفاض في ضغط الدم وتورد في الجلد، كما ينتج عن نقص المغنيسيوم حالة من التشنجات والتكزز قد تنتهي بالموت. وبالرغم من قلة حدوث نقص المغنيسيوم في الإنسان إلا أن هذه الحالة تحدث أحياناً عند الأشخاص الذين يتناولون المشروبات الكحولية، وفى الأشخاص الذين يعانون من التقيؤ والإسهال لفترات طويلة، كما لوحظت أعراض نقص المغنيسيوم لدى الأطفال الذين يتناولون الحليب لمدة طويلة جداً بدون تغذيتهم بأغذية مكملة.

مصادر المغنيسيوم الغذائية:

يتواجد المغنيسيوم في الكثير من الأغذية الحيوانية والنباتية، إلا أن الأغذية النباتية بشكل عام تكون أغنى من الأغذية الحيوانية بهذا العنصر المعدني وذلك لأنه يدخل في تركيب الكلوروفيل، وتعتبر معظم الخضروات الورقية والحبوب مصادر جيدة له، كما يوجد المغنيسيوم بكميات أقل في الحليب ومنتجات الألبان واللحوم.

الاحتياجات اليومية من المغنيسيوم:

تقدر الحاجة اليومية للمغنيسيوم حسب المقررات الأمريكية بحوالي 280 – 350 ملجم للبالغين في اليوم وحوالي 300 ملجم/ يوم للحوامل وبحدود 350 ملجم/ يوم للمرضعات.

الشكل رقم (152) يوضح بعض المصادر الغذائية للمغنيسيوم، عن (Boyle and Long, 2007).

الكلور Chlorine:

يحتوي جسم الإنسان البالغ على حوالي 140 جرام من الكلور، وهو الأيون الرئيسي السالب في السوائل خارج الخلايا. يعادل تركيز الكلور في البلازما 370 ملجم/ 100 ملليلتر، ويفرز الكلور كمكون لحامض الهيدروكلوريك HCl الذي تفرزه المعدة.

امتصاص الكلور وتمثيله في الجسم:

يمتص الكلور بسهولة في الأمعاء الدقيقة، ويتم لم خراجه من الجسم بصورة رئيسية عن طريق الكلى وبواسطة هرمون الألدوستيرون الذي ينظم مستوياته في الجسم بصورة ثانوية مرتبطاً بتنظيم إخراج وإعادة امتصاص الصوديوم في نفرونات الكلى، ويضيع جزء من الكلور عن طريق العرق والتقيؤ والإسهال.

الوظائف الفسيولوجية للكلور في الجسم:

يمكن تلخيص الوظائف الفسيولوجية للكلور فيما يلي:

1- **المساعدة على توازن السوائل في الجسم وتنظيم الضغط الأسموزي خارج الخلايا.**
2- **حفظ التوازن الحامضي - القاعدي في الجسم.**
3- **حموضة المعدة، كونه مكون لحامض الهيدروكلوريك HCl الذي تفرزه المعدة.**

مصادر الكلور الغذائية والاحتياجات اليومية منه:

من مصادره ملح الطعام، والأغذية المملحة، ولا يوجد تحديد دقيق لاحتياجات الفرد اليومية من الكلور. كما لا توجد أعراض واضحة ناتجة عن نقص الكلور في الغذاء.

الكبريت Sulfur:

يوجد الكبريت في الجسم بصورتين الأولى عضوية وهو الكبريت الموجود في تركيب البروتينات (مثل بروتينات الجلد والشعر) وكذلك المركبات المحتوية على الكبريت مثل فيتامينات B_1 والبيوتين وحمض الليبويك وكذلك في هرمون الإنسولين وغيرها. أما الصورة الثانية فهو الكبريت غير العضوي المكون بصورة رئيسية من كبريتات الصوديوم والمغنيسيوم والبوتاسيوم.

امتصاص الكبريت وتمثيله في الجسم:

يمتص الكبريت غير العضوي في خلايا الأمعاء الدقيقة، أما الكبريت العضوي وأهم صوره الأحماض الأمينية فيمتص وينتقل في صورة المركبات التي يدخل في تركيبها، ويتناسب إخراج الكبريت من الجسم مع كمية البروتين في الغذاء وعمليات الهدم في أنسجة الجسم.

الوظائف الفسيولوجية للكبريت في الجسم:

يدخل الكبريت في تركيب الأنسجة من خلال دخوله في مركبات كثيرة مهمة للجسم (سبق الإشارة إلى أمثلة منها) كما يقوم الكبريت بدور مهم في تنشيط بعض الإنزيمات التي تتطلب مجموعة السلفهيدريل (SH) للقيام بوظائفها. وهناك دور مهم لمركبات الكبريت فهي تدخل في عملية إبطال مفعول المواد السامة في الجسم، فهي ترتبط في صورة كبريتات بالمواد السامة لتتحول إلى شكل جديد أو مخلفات تمثيلية غير سامة، ثم تطرح عن طريق البول.

أعراض نقص الكبريت:

لا يتوقع حدوث أعراض نقص للكبريت نظراً لتوفر مصادره وخاصة الأحماض الأمينية التي توفر للجسم ما يحتاجه من الكبريت.

مصادر الكبريت الغذائية والاحتياجات اليومية منه:

من مصادره الأحماض الأمينية والبروتينات، ولا يوجد تحديد دقيق لاحتياجات الفرد اليومية منه نظراً لتوفره بكميات كافة في غذاء الإنسان.

العناصر المعدنية الصغرى

الحديد Iron:

تقدر كميته في جسم الإنسان البالغ بحوالي 4 جرام، ثلثي هذه الكمية يتواجد في الهيموجلوبين، أما الكمية الباقية فتوجد في الترانسفيرين وهو البروتين الناقل للحديد كما يوجد في نخاع العظام والكبد والطحال على هيئة فريتين، إضافة إلى دخوله في تركيب بعض الإنزيمات.

امتصاص الحديد وتمثيله في الجسم:

ينظم مستوى الحديد في بلازما الدم بواسطة العلاقة المعقدة بين امتصاص الحديد ونقله وخزنه، فالحديد يدخل الجسم غالباً في شكل متأكسد (حديديك Fe^{+3}) يتم اختزاله إلى حديدوز Fe^{+2} في المعدة بفعل حموضتها ليمتص بهذا الشكل في المعدة والاثنى عشر، وتقدر نسبة الامتصاص بحوالي 10 – 30 % من كمية الحديد المتناولة. وهناك عدد من العوامل التي تؤثر على محتوى الحديد وامتصاصه في الجسم ومن هذه العوامل ما يلي:

1- مدى حاجة الجسم للحديد.
2- حامض الأسكوربيك (فيتامين C): الذي يقوم باختزال الحديديك Fe^{+3} إلى حديدوز Fe^{+2}.
3- حامض HCl الذي تفرزه المعدة: يقوم باختزال الحديديك Fe^{+3} إلى حديدوز Fe^{+2}.
4- وجود كمية من مناسبة الكالسيوم: تعمل على الارتباط بالمواد التي تؤثر على امتصاص الحديد مثل حامض الأوكزاليك وحامض الفايتيك.
5- وجود الفوسفات وحامض الأوكزاليك وحامض الفايتيك: تؤثر هذه المواد سلباً على امتصاصه.
6- يحدث انخفاض في نسبة امتصاص الحديد عند الاصابة ببعض الامراض مثل السيلياك Celiac والتهابات وأمراض المعدة وتليف البنكرياس والقولون والكبد والاسهال والامراض المعدية.

الوظائف الفسيولوجية للحديد في الجسم: تُلخص الوظائف الفسيولوجية للحديد فيما يلي:

1- يدخل في تركيب الهيموجلوبين.
2- مهم لعملية التأكسد الخلوي حيث يدخل في تركيب الانزيمات التنفسية في الميتوكوندريا.
3- يعتقد أن للحديد دور في مجموعة من الوظائف الأخرى، مثل تصنيع الكولاجين وإزالة الدهون الزائدة من الدم، وإنتاج الأجسام المضادة في الجسم وإبطال مفعول بعض المركبات السامة.

أعراض نقص الحديد:

يعتبر نقص الحديد من المشكلات الصحية الرئيسة في أماكن مختلفة من العالم، وخاصة لدى الأطفال، ذلك أن الطفل لا يحزن في جسمه كمية كبيرة من الحديد أثناء الحمل، كما أن حليب الأم لا يحتوي على كميات عالية من الحديد، كما يحدث فقر الدم أيضاً مقترناً بأمراض سوء الامتصاص، وبعد استئصال أجزاء من المعدة أو من الأمعاء الدقيقة، كما يحدث المرض عند المراهقين حاجتهم إلى الحديد للنمو، ولتعويض المفقود منه في دم الحيض عند النساء.

وينتج عن نقص الحديد مرض فقر الدم المتميز بصغر كريات الدم الحمراء وانخفاض كمية الهيموجلوبين فيها، فقد تخفض كمية الهيموجلوبين إلى مستويات بين 5 – 9 جرام/ 100 ملليلتر بدلاً من القيمة الطبيعية التي تتراوح بين بين 13 – 16 جرام/ 100 ملليلتر، كما ينخفض مستوى الحديد إلى أقل من 40 ملجم/ 100 ملليلتر وينخفض عدد كريات الدم الحمراء من معدل يتراوح بين 4,8 – 5,5 مليون خلية إلى قيم بين 3 – 4 مليون خلية لكل ملليمتر مكعب ويصاحب هذه التغيرات في الغالب شحوب اللون واصفرار الوجه والاجهاد والدوار وضيق التنفس.

ومن الاعراض الاخرى لنقص الحديد الاضطرابات الهضمية، الخمول، التعب، ضيق النفس، خفقان سريع للقلب، الحكة، هشاشة وتفلطح الاظافر حيث تكون مُخَدَّدة، متقصفة وتظهر على هيئة الملعقة، التهاب وتشققات مؤلمة في زوايا الفم، تورم وحرقان في اللسان، جفاف الفم والحلق، صعوبة البلع، جفاف وهشاشة وتساقط الشعر. وعند الاطفال يسبب التعب الدائم، فقدان الشهية، تأخر النمو العقلي وزيادة خطر الاصابة بالأمراض.

الشكل رقم (153) علامة تفلطح الاظافر الدالة عن نقص الحديد حيث تظهر مُخَدَّدة، متقصفة على هيئة الملعقة، عن (Mahan and Escott-Stump, 2008).

<u>زيادة الحديد في الجسم:</u>

تؤدي زيادة الحديد في الجسم إلى تراكم الحديد في الأنسجة والأعضاء مما يسبب انتاج جذور حرة، فترسب الحديد في الكبد يسبب اضرار للكبد بدرجات مختلفة من الخطورة، من الممكن ان تصل الى حد الاصابة بتليف الكبد Cirrhosis. أما ترسبه في البنكرياس فتؤدي الى انخفاض في افراز هرمون الانسولين، مما يؤدي الى حدوث الداء السكري. أما ترسب الحديد في القلب يحدث تغيير في ادائه الوظيفي، يتطور إلى فشل القلب الاحتقاني. في حين أن ترسب الحديد في المفاصل يؤدي الى التورم وتقييد الحركة. كما انه من المحتمل حصول ضرر في القدرة الجنسية.

وينتج زيادة الحديد في الجسم في الحالات التالية:

1- الإصابة بداءُ صباغ الدم الهيموكروماتوسيس Hemocromatosis الوراثي، وهو اضطراب ناجم عن فرط امتصاص الجسم للحديد الغذائي وتراكمه في أعضاء الجسم المختلفة كالقلب، الكبد والبنكرياس والتسبب في تسممها والاصابة بالأورام الخبيثة، واضطراب نظم القلب وتشمع الكبد. وتتم معالجة هذه الحالة بإعطاء عقاقير دوائية ترتبط بالحديد وتُشكل معقداً يتم طرحه عن طريق البول او البراز مثل Desferrioxamine.

2- الإصابة بداءُ الهيموسيدرين Hemosiderosis، أي زيادة نسبة الحديد المحمول على البروتين (التَّحميل المُفرِط بالحَديد)، وهو عبارة عن اضطرابات في أيض الحديد يترتب عليها زيادة تخزينه في الكبد بصفة اساسية في صورة هيموسيدرين غير قابل للذوبان بالإضافة الى تخزينه في الطحال ونخاع العظام والبنكرياس.

3 - زيادة تناول الحديد (200 ملجم/ يوم أو أكثر) أو زيادة تحلل كريات الدم الحمراء، كما هو الحال عند الإصابة بالملاريا، أو عند طهي الطعام في أواني مصنوعة من الحديد.

مصادر الحديد الغذائية الاحتياجات اليومية منه:

يوجد الحديد في العديد من الأغذية النباتية والحيوانية وتختلف نسبة الامتصاص والاستفادة منه فهي في الأغذية النباتية أقل منها في الأغذية الحيوانية، ومن أغنى مصادره الخميرة الحافة واللحوم وبخاصة الحمراء منها والكبد والكلى والأغذية البحرية وصفار البيض والحبوب والبقوليات والمكسرات والخضروات الورقية الخضراء والفواكه المجففة كالمشمش والتين والعنب، وعادة ما تحتوى الوجبات اليومية المتنوعة التي يتناولها الإنسان على 12 – 15 ملجم من الحديد، وهى كمية تغطى احتياجات الذكور والبالغين من الحديد، ولكنها لا تغطي احتياجات الإناث البالغات والبنات في سن المراهقة.

وتختلف حاجة الإنسان اليومية إلى الحديد حسب مراحل الحياة والظروف المختلفة التي يعيشها، وقد قدرت اللجنة المشتركة لمنظمة الصحة العالمية والأغذية والزراعة احتياجات الذكور من الحديد بكميات تراوح بين 15 – 24 ملجم يومياً، والإناث بين 16 – 29 ملجم يومياً ذلك لأن المرأة البالغة تفقد الحديد عن طريق دم الحيض بكميات تعادل 2 ملجم يومياً، أما الأطفال الرضع فإن مخزون الحديد يكفيهم لفترة 4- 6 أشهر بعد الولادة ولذا يفضل إعطاؤهم أغذية تحتوي على الحديد ، مثل صفار البيض ابتداء من الشهر السادس.

الشكل رقم (154) يوضح بعض المصادر الغذائية للحديد، عن (Boyle and Long, 2007).

الزنك (الخارصين) Zinc:

تكمن أهمية الزنك في معالجة حالات قصر القامة وتأخر البلوغ ويأتي الزنك في المرتبة الثانية بعد الحديد ضمن العناصر المعدنية الصغرى من حيث كميته في الجسم إذ تصل كميته إلى 1,3 – 2,3 جرام في جسم الإنسان البالغ وهو موزع على أعضاء وأنسجة مختلفة أهمها العظام والكبد والكلى والبنكرياس والرئتان والعضلات والعينان وإفرازات البروستاتا والحيوانات المنوية، ويوجد 75 % من الزنك الموجود في الدم في كريات الدم الحمراء ويتراوح مستواه في مصل الدم بين 70 – 125 ملجم/ 100 ملليلتر.

امتصاص الزنك وتمثيله في الجسم:

ويمتص الزنك في الجزء العلوي من الأمعاء الدقيقة مرتبطاً ببروتين يدعى ميتالوثيونين وهو يتحكم (حسب تركيزه بالزنك) بكمية الامتصاص. ويمتص ما مقداره 10 – 20 % فقط من كمية الزنك في الوجبة الغذائية العادية بينما يخرج الباقي مع البراز ويخرج جزء قليل مع البول وجزء أقل مع العرق. وهناك عدد من العوامل التي تؤثر على محتوى الزنك وامتصاصه في الجسم ومن هذه العوامل ما يلي:

1- حاجة الجسم له.

2- كمية الزنك في الغذاء.

3- وجود حامض الفايتيك.

4- كمية الألياف في الغذاء: حيث ترتبط بالزنك وتقلل من امتصاصه.

5- المصدر الغذائي للزنك: الأغذية الحيوانية يكون امتصاص الزنك فيها أعلى من الأغذية النباتية.

6- الإصابة بأمراض طفيلية وأمراض سوء الامتصاص: تقلل من امتصاص الزنك.

الوظائف الفسيولوجية للزنك في الجسم وأعراض نقصه:

الزنك ضروري لجميع أنسجة الجسم، فهو يدخل في تنشيط كثير من الإنزيمات كما أنه ضروري للنمو والنضج الجنسي وكذلك لشفاء والتئام الجروح، إضافة إلى أنه ضروري لتكوين المناعة الخلوية حيث تحتوي الغدد اللمفاوية وكريات الدم البيضاء على تركيزات عالية من الزنك، كما أن الزنك ضروري لحاستي الذوق والشم ويؤدي نقصه إلى خلل حاد في هاتين الحاستين.

مصادر الزنك الغذائية والاحتياجات اليومية منه:

يوجد في الأغذية البحرية واللحوم الحمراء والكبد وصفار البيض والكلى والبقوليات والعدس والحبوب الكاملة.

وتقدر احتياجات الإنسان اليومية من الزنك بحوالي 5 ملجم للأطفال في السنة الأولى ثم تزيد إلى 10 ملجم للأطفال حتى سن العاشرة أما البالغين 12 ملجم للإناث و 15 ملجم للذكور وللحوامل والمرضعات.

الشكل رقم (155) يوضح بعض المصادر الغذائية للزنك، عن (Boyle and Long, 2007).

النحاس Copper:

هناك علاقة وثيقة بين النحاس والحديد من حيث التشابه في الخواص والتمثيل وبعض الوظائف، فالعنصران ضروريان لبناء الهيموجلوبين بالرغم من أن الحديد يدخل في تركيب الهيموجلوبين بينما لا يدخل النحاس في تركيبه. ويوجد النحاس في جسم الإنسان البالغ بكميات تتراوح بين 100 – 150 ملجم موزعة بشكل رئيس على العظام والعضلات والكبد والدماغ والجهاز العصبي المركزي والكلى، كما توجد كمية قليلة منه في بروتينات الدم، ويتراوح مستواه في مصل الدم بين 130 – 230 ملجم/ 100 ملليلتر. ويقدر مخزون النحاس في كبد الطفل الحديث الولادة بحوالي 5 – 10 مرات من مخزونه في كبد الكبار، إلا أنه سرعان ما يصل إلى الرقم الطبيعي في الأشهر الثلاثة الأولى بعد الولادة.

الوظائف الفسيولوجية للنحاس في الجسم:

النحاس من العناصر المعدنية الضرورية لعمل كثير من الإنزيمات، كما أنه ضروري في عمليات تمثيل الطاقة، وضروري لتكوين الهيموجلوبين، ويبدو أن له دور في تحسين امتصاص الحديد من خلايا جدر الأمعاء وتحريكه من الكبد إلى البلازما واستعماله في بناء الهيموجلوبين والوقاية من فقر الدم. كما أن له دور في تكوين العظام وأنسجة الدماغ وصحة وسلامة أغلفة الخلايا العصبية.

أعراض نقص النحاس:

لا يحدث نقص النحاس عادة في الإنسان، ومع هذا فقد شوهدت حالات مرض الكلى، كما أن الأطفال الذين يعتمدون في تغذيتهم على الحليب فقط يكونون عرضة لنقص النحاس، ذلك لأن محتوى الحليب من النحاس منخفض.

التسمم بالنحاس:

يحدث التسمم بالنحاس أحياناً لدى عمال المناجم، أو نتيجة استعمال أواني نحاسية غير مبيضة، ويصاحب ذلك ارتفاع مستوى النحاس في الدم والأنسجة الأخرى كالكبد.

مصادر النحاس الغذائية والاحتياجات اليومية منه:

يوجد النحاس في البقوليات والكاكاو والمكسرات والحبوب والفطر. وتقدر احتياجات الإنسان اليومية من النحاس بحوالي 1 – 2 ملجم للأطفال و 2 ملجم للبالغين و3 ملجم للحوامل والمرضعات.

اليود Iodine:

يحتوي جسم الإنسان على كمية من اليود تتراوح بين 15 – 23 ملجم يتركز ثلاث أرباعها في الغدة الدرقية. وتكمن أهمية اليود في كونه منظم لنمو وتطور الجسم من خلال تنشيطه لهرمون الثايروكسين ويودي نقصه إلى الإصابة بتضخم الغدة الدرقية ولذلك تنص التشريعات على إضافته إلى ملح الطعام. والشكل التالي يوضح حالة الإصابة بتضخم الغدة الدرقية الناتج عن نقص اليود.

الشكل رقم (156) الإصابة بتضخم الغدة الدرقية الناتج عن نقص اليود، عن (Whitney and Rolfes, 2008).

مصادر اليود الغذائية والاحتياجات اليومية منه:

يوجد في الأغذية البحرية والخضروات والنباتات المزروعة في تربة غنية باليود كما يوجد في ملح الطعام المدعم، وتقدر احتياجات الإنسان اليومية من اليود بحوالي 40 – 120 ملجم للأطفال دون سن العاشرة أما البالغين 150 ملجم مع زيادة قدرها 25 ملجم للحوامل و 50 ملجم المرضعات.

المنجنيز Manganese:

المنجنيز عامل مرافق مهم لكثير من الإنزيمات في الجسم، بالرغم من أن كميته الكلية في جسم الإنسان البالغ لا تتجاوز 10 ملجم، ويتركز في الجسم بصورة خاصة في الكبد والكليتين والعظام والغدة النخامية. وتتلخص وظائف المنجنيز الفسيولوجية بتمثيل الكربوهيدرات ودخوله تركيب الكربوهيدرات المخاطية الضرورية لتكوين الغضاريف، كما أنه يقوم بأدوار في تمثيل البروتينات والدهون وتكوين اليوريا ولذلك فهو يقي الجسم من التسمم بالأمونيا. وبالنسبة للاحتياجات اليومية منه لاحظ جدول المخصصات الغذائية الموصى بها يومياً (RDA) والمقدار الملائم المأخوذ (AI) من المعادن للفئات العمرية المختلفة.

الفلور Fluoride:

للفلور دور في الوقاية من تسوس الأسنان، ويتركز الفلور في الجسم في العظام والأسنان، حيث يدخل في تركيب بلورات العظام (الأباتيت Apatite)، ويتراوح تركيزه فيها من 0,02 – 0,05 % ويمتص حوالي 90 % من الفلور في الغذاء، وتتأثر نسبه امتصاصه بمستوى العناصر المعدنية الأخرى في الوجبة الغذائية، كما تتأثر هذه النسبة بمحتوى الدهن.

ويكون الفلور طبقة فلور الأباتيت Fluoroapatite وهي مادة صلبة بلورية في الأسنان تقاوم التحلل بالبكتيريا أكثر من طبقة هيدروكسي الأباتيت Hydroxyapatite الموجود في الأسنان، وهذا يحدث أيضا في الكبار كما يترسب الفلور أيضاً في العظام وبما أن طبيعة خلايا العظام الديناميكية على عكس طبيعة خلايا الأسنان الثابتة لذلك تظهر أهمية الفلور للأسنان خاصة أثناء الطفولة، فالتغذية السليمة وإضافة الفلور لماء الشرب بنسبة جزء في المليون يوفر الحماية الكاملة ضد تسوس الأسنان عند الأطفال. ويؤدي نقص الفلور إلى تكوين طبقة ضعيفة من العاج Enamelللأسنان مما يسهل تسوسها. أما زيادة الفلور في مياه الشرب عن 5 أجزاء في المليون تؤدي إلى التَّسَمُّمُ بالفلور في الأسنان وذلك بظهور بقع كلسية ملونة صفراء أو بنية في الأسنان (تبقع المينا Mottled enamel) يتبعها ظهور حفر Pitting في الأسنان (كما هو الحال لبعض سكان مدينة تعز)، كذلك يحدث تصلب العظام والغضاريف Sclerosis. وبالنسبة للاحتياجات اليومية منه لاحظ جدول المخصصات الموصى بها يومياً (RDA) والمقدار الملائم المأخوذ (AI) من المعادن للفئات المختلفة.

الموليبدينوم Molybdenum:

كمية الموليبدينوم في جسم الإنسان قليلة جداً وتقدر بحوالي 9 ملجم تتركز في الكبد والكلى وكريات الدم والغدد الكظرية، والموليبدينوم مهم حيوياً كونه يدخل في تركيب إنزيمين مهمين للجسم، ولا يحدث نقص الموليبدينوم في الإنسان. وبالنسبة للاحتياجات اليومية منه لاحظ جدول المخصصات الموصى بها يومياً (RDA) والمقدار الملائم المأخوذ (AI) من المعادن للفئات العمرية المختلفة.

السلينيوم Selenium:

السيلينيوم هو واحد من مجموعة من المواد المغذية التي تعرف بفعلها المضادة للأكسدة، مثل فيتامين A وفيتامين E وفيتامين C والمواد الفينولية وغيرها من المواد التي تساعد على حماية الخلايا والأنسجة من التلف بسبب الأكسدة بفعل الجذور الحرة Free radicals التي تتولد في الجسم بفعل الملوثات الكيميائية والإشعاع عوادم السيارات ودخان التبغ وغيرها من الملوثات، وبذلك يقي السلينيوم من بعض الأمراض مثل السرطان وأمراض القلب كما يساعد السلينيوم في نمو الخلايا كما يحمي من تأكسد الدهون وتزنخها في الجسم.

تحتوي جميع أنسجة الجسم فيما عدا الأنسجة الدهنية، على كمية ضئيلة جدا من السلينيوم وأكبر تركيز للسيلينيوم في الجسم في الكبد والكليتين والطحال والخصيتين والقلب ويحتوي الكبد على حوالي 15 ملغم من السلينيوم بينما تحتوي البلازما على حوالي 150 ميكروجرام/ لتر. ونادراً ما يحدث نقص السلينيوم في الإنسان، لكن قد تحدث أعراض تسمم بالسلينيوم في بعض المناطق في العالم تحتوى تربتها على تركيزات عالية من السلينيوم حيث يرتفع تركيزه في النباتات المزروعة في هذه المناطق، أما المصادر الغذائية للسلينيوم فتعتبر الأغذية البحرية والكبد من أغنى المصادر للسلينيوم تليها اللحوم أما الحبوب والبذور فهي تختلف في احتوائها على العنصر ويعتمد تركيزه على نسبته في التربة أما الخضروات والفواكه فتعتبر مصادر فقيرة بالسلينيوم. أما بالنسبة للاحتياجات اليومية منه لاحظ جدول المخصصات الغذائية الموصى بها يومياً (RDA) والمقدار الملائم المأخوذ (AI) من المعادن للفئات العمرية المختلفة.

الكروم Chromium:

يحتوي جسم الشخص البالغ على حوالي 5 مليجرام من الكروم، حيث يوجد بتركيزات مرتفعة في الشعر والطحال والخصيتين وكذلك بتركيزات منخفضة في القلب والبنكرياس والرئتين والمخ، وللكروم دورا هاما في التمثيل الغذائي للكربوهيدرات فيساعد في ربط الإنسولين بالمستقبلات الخاصة به الموجودة في غشاء الخلايا وبذلك يزيد من فاعليته في تنظيم العديد من عمليات الأيض للكربوهيدرات كما قد يخفض الكروم من نسبة الكوليسترول الكلي في الدم وكذلك البروتينات الدهنية منخفضة الكثافة والجليسريدات الثلاثية ويرفع من مستوى البروتينات الدهنية عالية الكثافة في الدم.

ويؤدى نقص الكروم إلى ظهور حالة تشابه أعراض داء السكري حيث تتميز بعدم القدرة على الاستفادة من الجلوكوز طبيعيا.

ويوجد الكروم بنسب مختلفة في مجموعة واسعة من الأغذية الحيوانية و النباتية، وكذلك في مياه الشرب، وتعتبر اللحوم والحبوب الكاملة والأجبان والكبد مصادر جيدة للكروم، في حين يعد الحليب والدقيق الأبيض والخبز والسمك والخضروات الورقية والأرز المقشور والسكر المكرر والدقيق المكرر من المصادر الفقيرة به. أما بالنسبة للاحتياجات اليومية منه لاحظ جدول المخصصات الموصى بها يومياً (RDA) والمقدار الملائم المأخوذ (AI) من المعادن للفئات العمرية المختلفة.

الكوبالت Cobalt:

يحتوي فيتامين B_{12} على الكوبالت بنسبة 4 % ولذا فقد اعتبر عنصراً ضرورياً للإنسان، ومع هذا لم يثبت أن الإنسان يستطيع الاستفادة منه في تكوين هذا الفيتامين، ولم تحدد الحاجة إليه في تغذية الإنسان كعنصر مستقل عن الحاجة إلى فيتامين B_{12} وهو يوجد بكميات قليلة في الكبد.

أما بالنسبة للعناصر المعدنية شبه الأساسية الأخرى والتي تشمل كل من الفاناديوم والقصدير والنيكل والسيليكون والزرنيخ، الكادميوم والرصاص والسترونتيوم والباريوم والبروم والبورون، وكذلك العناصر المعدنية غير الأساسية والتي تشمل عناصر الألومنيوم والأنتيمون والبزموث والجرمانيوم والذهب والزئبق والفضة والروبيديوم والتيتانيوم، فلا يتسع المجال للحديث عنها هنا ويمكن العودة للمراجع المتخصصة لمزيد من الاطلاع والمعلومات.

وفي ختام هذا الفصل نورد جداول المخصصات الغذائية الموصى بها يومياً (RDA) والمقدار الملائم المأخوذ (AI) من العناصر المعدنية، وكذلك المستوى الأعلى المأخوذ الممكنٌ احتمالُه (UL) لبعض العناصر المعدنية، للفئات المختلفة.

جدول رقم (23): المخصصات الغذائية الموصى بها يومياً (RDA) والمقدار الملائم المأخوذ (AI) من العناصر المعدنية للفئات العمرية المختلفة*

Age (yr)	Sodium AI (mg/day)	Chloride AI (mg/day)	Potassium AI (mg/day)	Calcium AI (mg/day)	Phosphorus RDA (mg/day)	Magnesium RDA (mg/day)	Iron RDA (mg/day)	Zinc RDA (mg/day)	Iodine RDA (µg/day)	Selenium RDA (µg/day)	Copper RDA (µg/day)	Manganese AI (mg/day)	Fluoride AI (mg/day)	Chromium AI (µg/day)	Molybdenum RDA (µg/day)
Infants															
0–0.5	120	180	400	210	100	30	0.27	2	110	15	200	0.003	0.01	0.2	2
0.5–1	370	570	700	270	275	75	11	3	130	20	220	0.6	0.5	5.5	3
Children															
1–3	1000	1500	3000	500	460	80	7	3	90	20	340	1.2	0.7	11	17
4–8	1200	1900	3800	800	500	130	10	5	90	30	440	1.5	1.0	15	22
Males															
9–13	1500	2300	4500	1300	1250	240	8	8	120	40	700	1.9	2	25	34
14–18	1500	2300	4700	1300	1250	410	11	11	150	55	890	2.2	3	35	43
19–30	1500	2300	4700	1000	700	400	8	11	150	55	900	2.3	4	35	45
31–50	1500	2300	4700	1000	700	420	8	11	150	55	900	2.3	4	35	45
51–70	1300	2000	4700	1200	700	420	8	11	150	55	900	2.3	4	30	45
>70	1200	1800	4700	1200	700	420	8	11	150	55	900	2.3	4	30	45
Females															
9–13	1500	2300	4500	1300	1250	240	8	8	120	40	700	1.6	2	21	34
14–18	1500	2300	4700	1300	1250	360	15	9	150	55	890	1.6	3	24	43
19–30	1500	2300	4700	1000	700	310	18	8	150	55	900	1.8	3	25	45
31–50	1500	2300	4700	1000	700	320	18	8	150	55	900	1.8	3	25	45
51–70	1300	2000	4700	1200	700	320	8	8	150	55	900	1.8	3	20	45
>70	1200	1800	4700	1200	700	320	8	8	150	55	900	1.8	3	20	45
Pregnancy															
≤18	1500	2300	4700	1300	1250	400	27	12	220	60	1000	2.0	3	29	50
19–30	1500	2300	4700	1000	700	350	27	11	220	60	1000	2.0	3	30	50
31–50	1500	2300	4700	1000	700	360	27	11	220	60	1000	2.0	3	30	50
Lactation															
≤18	1500	2300	5100	1300	1250	360	10	14	290	70	1300	2.6	3	44	50
19–30	1500	2300	5100	1000	700	310	9	12	290	70	1300	2.6	3	45	50
31–50	1500	2300	5100	1000	700	320	9	12	290	70	1300	2.6	3	45	50

* المصدر: Dietary Reference Intakes series, National Academies Press. (1997 - 2005)

جدول رقم (24): المستوى الأعلى المأخوذ الممكنٌ احتمالُه (UL) لبعض العناصر المعدنية، للفئات المختلفة*

Age (yr)	Sodium (mg/day)	Chloride (mg/day)	Calcium (mg/day)	Phosphorus (mg/day)	Magnesium (mg/day)[d]	Iron (mg/day)[b]
Infants						
0–0.5	—[a]	—[a]	—	—	—	40
0.5–1	—[a]	—[a]	—	—	—	40
Children						
1–3	1500	2300	2500	3000	65	40
4–8	1900	2900	2500	3000	110	40
9–13	2200	3400	2500	4000	350	40
Adolescents						
14–18	2300	3600	2500	4000	350	45
Adults						
19–70	2300	3600	2500	4000	350	45
>70	2300	3600	2500	3000	350	45
Pregnancy						
≤18	2300	3600	2500	3500	350	45
19–50	2300	3600	2500	3500	350	45
Lactation						
≤18	2300	3600	2500	4000	350	45
19–50	2300	3600	2500	4000	350	45

* المصدر : Dietary Reference Intakes series, National Academies Press. (1997 - 2005)

الفصل الثامن

المـــاء: ســـــــر الحيـــــــــاة

Water: Secret of life

اعتبر الماء في تقسيم العناصر الغذائية إلى مجموعات عنصراً غذائياً ضرورياً للحياة ولابد من تزويد الجسم به مع الأغذية، فالماء مهم جداً للحياة، وصدق الله العظيم إذ يقول في محكم كتابه ﴿أَوَلَمْ يَرَ الَّذِينَ كَفَرُوا أَنَّ السَّمَاوَاتِ وَالْأَرْضَ كَانَتَا رَتْقاً فَفَتَقْنَاهُمَا وَجَعَلْنَا مِنَ الْمَاء كُلَّ شَيْءٍ حَيٍّ أَفَلَا يُؤْمِنُونَ﴾ صدق الله العظيم [الأنبياء: 30].

ويشكل الماء نسبة عالية من تركيب الجسم إذ تبلغ نسبته حوالي 90 – 95 % من وزن الجنين و 70 – 75 % من وزن المولود و 60 – 65 % من وزن جسم الإنسان البالغ، ويقوم الماء بوظائف عديدة في الجسم ولا يمكن أن تستمر الحياة بدونه. ويمكن تلخيص الوظائف الأساسية للماء فيما يلي:

1- **يدخل الماء في تركيب جميع الخلايا والأنسجة، وتختلف نسبته من نسيج جسمي إلى أخر.**
2- **الماء ضروري لتنظيم حرارة الجسم، وذلك راجع إلى خاصية ارتفاع حرارته النوعية وهي الأعلى بين المواد المعروفة، ولذا فالماء يساهم في تثبيت درجة حرارة الجسم رغم التباين الكبير في كمية الحرارة أو الطاقة التي تنطلق أثناء أكسدة المكونات الغذائية المختلفة في عمليات التحول الناتجة عن التمثيل الغذائي، فعلى سبيل المثال تكفي الحرارة الناتجة عن تمرين مدته بضع دقائق لإتلاف بروتين العضلات، ولكن بوجود الماء تتسرب الحرارة الناتجة لتنتقل من مكان التفاعل إلى أماكن أخرى في الجسم.**
3- **يعمل الماء على تعديل حرارة الجسم بحيث لا تحدث فروق عالية بينها وبين حرارة الجو المحيط، فتناول كميات كبيرة من الماء البارد تساعد على انخفاض حرارة الجسم وتناول الماء الساخن أو المشروبات الساخنة يؤدى إلى ارتفاع حرارة الجسم أول الأمر ثم يتصبب العرق الأمر الذي يقلل من حرارة الجسم في النهاية، ويقدر ما يفرزه الجسم من العرق بمعدل نصف لتر يوميا وتزداد هذه الكمية في حالة ارتفاع درجة الحرارة والإجهاد العضلي.**
4- **يعتبر الماء عاملاً مهماً في عمليات الهضم المختلفة، حيث يكون ضروري لجميع العمليات الكيميائية الهضمية التي هي في الواقع تفاعلات تحلل مائي.**
5- **الماء ضروري كوسيلة لنقل للعناصر الغذائية في عمليات الهضم والامتصاص والتمثيل وطرح الفضلات، وذلك بفعل خاصية الذوبان لهذه العناصر والمواد الناتجة عن تمثيلها في الماء، فالأملاح المعدنية واليوريا تحتاج إلى الماء لتخفيفها وطرحها من الجسم عن طريق الكلى والتي تنتقل إليها هذه المواد عن طريق الدم الذي يشكل الماء الجزء الغالب فيه.**

6- للماء تأثير ميكانيكي على الأنسجة، فهو يعطيها المرونة والقوة مسهلاً بذلك حركة العضلات والأعضاء والمفاصل المختلفة.

وهناك ماء ناتج عن عمليات التأكسد الخلوي للعناصر الغذائية المنتجة للطاقة (يسمى ماء الأيض Metabolic water)، وماء الأيض يقوم بوظائف الماء المبينة أعلاه.

<u>موازنة الماء في الجسم:</u>

يفقد الجسم كميات كبيرة من الماء يجب تعويضها للوصول إلى حالة توازن للماء في الجسم، ويحتاج الإنسان (بصورة عامة) واحد ملليلتر من الماء لكل سعر من الطاقة المستهلكة، أي أنه عند تقديرنا لحاجة الفرد لـ 2550 سعر حراري نقول أنه يلزمه حوالي 2550 ملليلتر من الماء وهكذا يكون حساب مقدار كمية الماء اللازمة استناداً إلى كمية الطاقة السُعرية المطلوبة الفرد، ويحصل الإنسان على حاجته من الماء من المصادر الثلاثة التالية:

1- ماء الشرب والأغذية السائلة كالحليب والحساء والمشروبات كالشاي والقهوة.

2- الماء الموجود في الأغذية، وتختلف الأغذية في نسب الماء الذي تحتويه، فالحليب يحتوي على 87 % من حجمه ماء، والبيض 75 %، والخبز 30 %، والخيار 96 %.

3- ماء الأيض Metabolic water.

<u>أما فقد الماء في الجسم فيتم بالطرق التالية:</u>

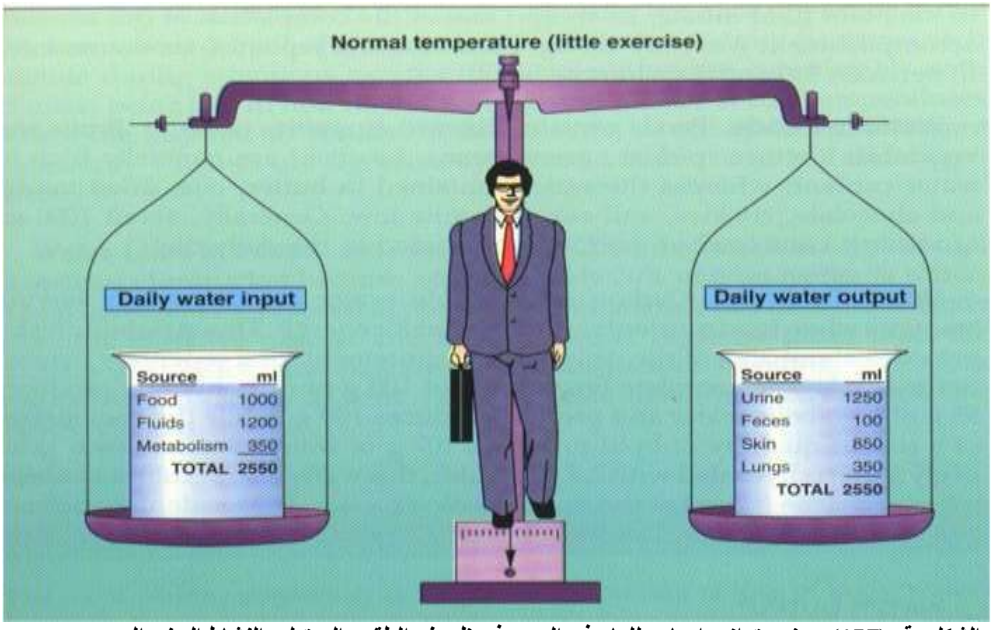
1- عن طريق البول، يتراوح مقدار ما يفقده الجسم من الماء عن طريق البول بما يقدر بـ 600 إلى 2000 ملليلتر في اليوم ويعتمد هذا المقدار على طبيعة الغذاء والظروف البيئية المحيطة، فالأغذية المحتوية على نسب عالية من الأملاح والبروتينات تزيد من نسبة الماء المفقود عن طريق البول كما ويؤدي ارتفاع درجة الحرارة في الجسم إلى زيادة فقد الماء بواسطة التبخر والعرق وانخفاض نسبة المفقود منه عن طريق البول.

2- عن طريق البراز، يفقد الجسم كمية من الماء عن طريق البراز تتراوح بين 50 إلى 200 ملليلتر في اليوم، وتزيد هذه النسبة بزيادة نسبة الألياف وخاصة البكتين في الغذاء.

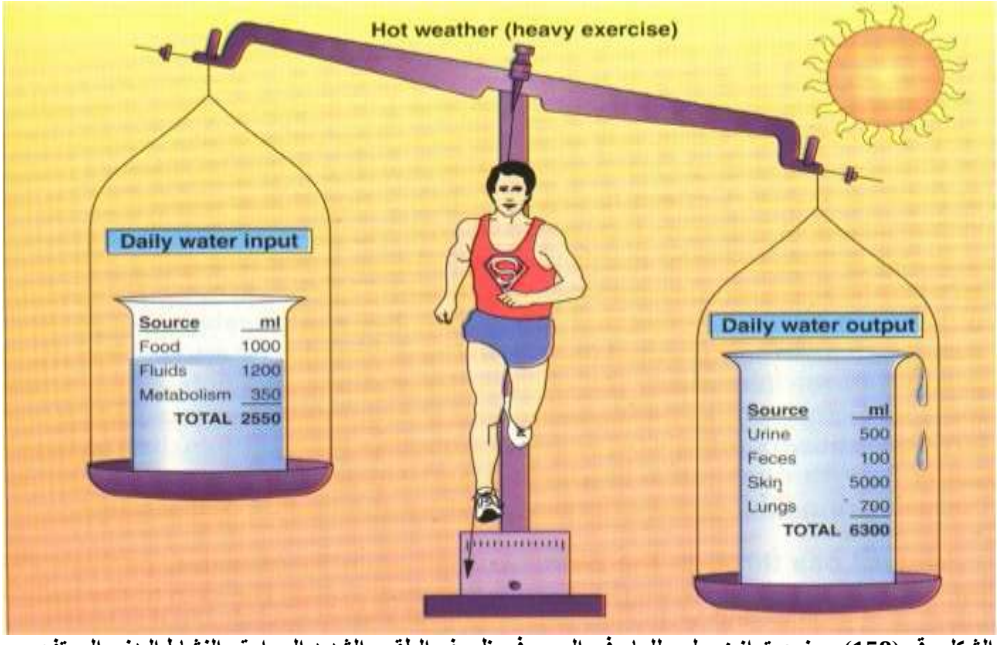
3- عن طريق العرق، تتباين نسبة الماء المفقود من الجسم عن طريق العرق بشكل كبير ويعتمد ذلك على حرارة الطقس والنشاط البدني، ويتراوح مقدار ما يفقده الجسم من الماء عن طريق العرق بين 50 إلى 5000 ملليلتر في اليوم.

4- عن طريق التنفس، يتراوح مقدار ما يفقده الجسم من الماء عن طريق هواء الزفير بين 350 إلى 700 ملليلتر في اليوم ويعتمد هذا المقدار على درجة حرارة الجو والرطوبة النسبية.

5- عن طريق الغدد الثديية، يصل مقدار ما يفقده الجسم من الماء عن طريق الحليب أثناء فترة الرضاعة لدى المرضعات إلى 900 ملليلتر في اليوم ولذلك فعلى المرضعات تناول كميات من الماء والسوائل لتعويض هذا الفقد والمساعدة على إدرار الحليب.



الشكل رقم (157) يوضح توازن ايجابي للماء في الجسم في ظروف الطقس المعتدل والنشاط البدني المحدود، عن (Katch and McArdle, 1993).



الشكل رقم (158) يوضح توازن سلبي للماء في الجسم في ظروف الطقس الشديد الحرارة والنشاط البدني المرتفع، وفي هذه الحالة ينبغي تناول كميات من الماء تقدر بـ 3,75 لتر إضافية من الماء لتعويض الماء المفقود في هذه الظروف بهدف تحاشي المشاكل التي قد تحدث نتيجة نقص الماء، عن (Katch and McArdle, 1993)،.

المشاكل الناتجة عن نقص الماء في الجسم:

إذا ما فقد الجسم كميات كبيرة من الماء ولم يتم تعويضها فإنه يعاني من مجموعة من التغيرات يمكن تلخيصها فيما يلي:

1- زيادة في سرعة النبض وارتفاع في درجة حرارة الجسم.

2- زيادة سرعة التنفس.

3- الإحساس بالوخز والخدر في أصابع اليدين والقدمين.

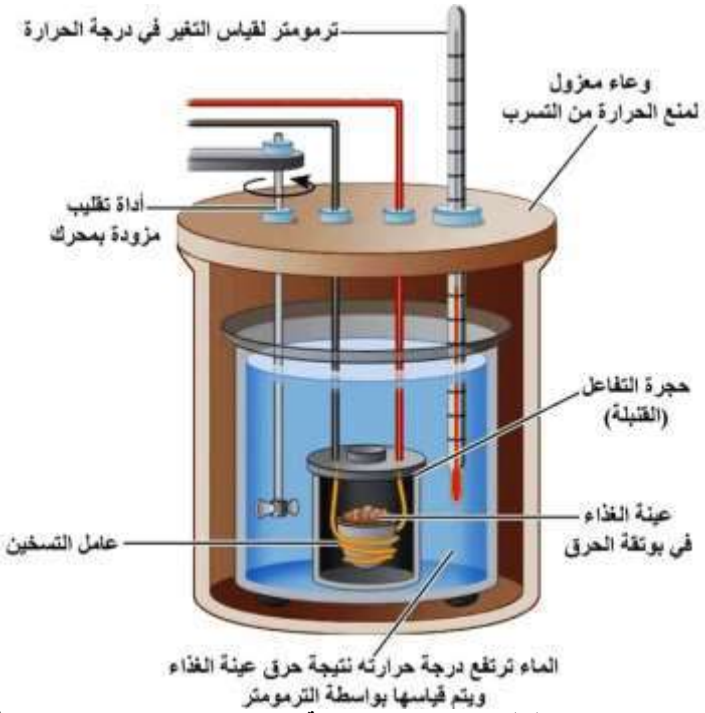
4- زيادة تركيز الدم ونقصان كميته وصعوبة جريانه في الدورة الدموية.

وكنتيجة لنقص حجم الدم وصعوبة جريانه في الدورة الدموية تحصل صعوبة في التنفس وغثيان وفقدان للشهية وإعياء وصعوبة في حركة العضلات، وهنا يعاني الإنسان من إنهاك في القوى ناتج عن حالة الجفاف، ويمكن تدارك هذه الحالة بتناول السوائل، أما إذا ما تطورت حالة الجفاف حتى يفقد الجسم ما نسبته 10 % من وزنه نتيجة فقد ماء الجسم فهذا يؤدي إلى ارتفاع درجة حرارة الجسم بشكل خطير مما يؤدي إلى رفع درجة حرارة بعض الأنسجة الحساسة مما يؤدي إلى الوفاة.

الفصل التاسع

الطاقة الغذائية: وقود الحياة Energy: Fuel of Life

الطاقة Energy هي القدرة التي تمكن الجسم من القيام بالعمليات الحيوية التي تحافظ على الحياة، ولقياس الطاقة الحرارية في النظام المتري للمقاييس تُستعمل وحدة تدعى السُّعْر الحراري Calorie، والسُّعْر الحراري هو كمية الطاقة اللازمة لرفع درجة جرام واحد من الماء درجة واحدة مئوية. ويتم قياس كمية الحرارة الناتجة عن الأغذية المختلفة عند احتراقها بأداة تُسمَّى المِسعر أي مقياس السعرات الحرارية، وبذلك تظهر كمية الطاقة التي يطلقها غذاء معيّن عندما يستهلكه الجسم استهلاكًا كاملاً.



الشكل رقم (159) يوضح شكل تخطيطي للمِسعر (مسعر القنبلة) المستخدم لقياس السعرات الحرارية للأغذية، عن (Whitney and Rolfes, 2008).

والطاقة لا تعد من العناصر الغذائية ولكنها تنتج من ثلاثة من العناصر الغذائية وهي الكربوهيدرات والبروتينات والدهون، وكمية الطاقة المنتجة منها في الجسم هي يعادل 4 سّعرات حرارية لكل جرام واحد من الكربوهيدرات والبروتينات وما يعادل 9 سّعرات حرارية تقريباً لكل جرام واحد من الدهون.

يمكن تقسيم العناصر الغذائية من حيث إنتاجها للطاقة إلى ثلاثة أقسام هي:

أ- العناصر الغذائية المنتجة للطاقة بشكل رئيسي وهي الكربوهيدرات التي يتمثل دورها الأساسي في التغذية كمصادر للطاقة.

ب- عناصر غذائية يتمثل دورها الأساسي في بناء تجديد خلايا الجسم وكذلك في تنظيم العمليات الحيوية فيه ولكن الفائض منها يستعمل لإنتاج الطاقة، وتشمل البروتينات والدهون وبعض السكريات الخماسية مثل سكر الريبوز الذي يدخل في تركيب الأحماض النووية.

ج- عناصر غذائية لا تنتج الطاقة ولكنها ضرورية لتحرير الطاقة من العناصر الغذائية المنتجة كونها تشكل أجزاء من المركبات المعقدة الضرورية في إنتاج وتمثيل الطاقة مثل الإنزيمات والهرمونات، وهذه العناصر تتمثل في الفيتامينات والأملاح المعدنية بالإضافة إلى الماء الضروري لإتمام جميع التفاعلات الكيميائية في الجسم.

وفي حالة عدم توفر القدر الكافي من الطاقة (نتيجة الجوع أو الصيام أو تناول سُعرات حرارية أقل من حاجة الجسم) فإن الجسم يعتمد على أنسجته الداخلية للحصول على القدر الكافي منها مما يؤدي إلى تحلل وتهدم هذه الأنسجة مما يؤدي إلى فقدان لوزن الجسم، أما إذا طالت هذه الفترة فقد يؤدي ذلك إلى الوفاة في نهاية الأمر.

أما إذا تناول الإنسان كمية كافية من الغذاء فان الطاقة الناشئة عن هذا الغذاء يستخدمها أولاً في القيام بالعمليات الحيوية التي تحافظ على الحياة والزائد منها يخزن (كما سبق وأن أُشير إلى ذلك) على هيئة جلايكوجين (كميات محدودة) والفائض على هيئة أنسجة دُهنية وبالتالي زيادة وزن الجسم، وقد يكون ذلك بشكل كبير بحيث تصل نسبة الدهون المخزنة في الجسم إلى 70 % من وزن الجسم في حالات البدانة المفرطة.

والسؤال الذي يطرح نفسه هنا هو كيف نحسب كمية الطاقة (عدد السعرات الحرارية) التي يحتاجها جسم الإنسان لكي يقوم بالعمليات الحيوية التي تحافظ على الحياة بدون زيادة تودي إلى السمنة أو نقص يؤدي إلى الإضرار بأنسجة الجسم وفقدان الوزن؟

وقبل الدخول في تفاصيل إجابة هذا السؤال لابد من معرفة العوامل المؤثرة على استهلاك الجسم للطاقة؟ وهل يحصل جسم الإنسان على الطاقة الكلية الموجودة في الغذاء؟

<u>احتياجات الجسم من الطاقة:</u> إن كمية الطاقة التي يستهلكها الجسم تحددها ثلاث عوامل هي:

1- معدل الأيض الأساسي Basal Metabolic Rate (BMR).

2- النشاط البدني Physical Activity.

3- التأثير الديناميكي النوعي للغذاء Specific Dynamic Effect (SDE).

1- معدل الأيض الأساسي Basal Metabolic Rate (BMR): هو كمية الطاقة التي يستهلكها الجسم في القيام بالعمليات اللاإرادية اللازمة للمحافظة على الحياة مثل عمل القلب والدورة الدموية وفعاليات التنفس والنشاطات الأيضية داخل الخلايا وعمل الكُلى والتخلص من الفضلات والمحافظة على درجة حرارة الجسم (كمية الطاقة التي يحتاجها الجسم ليقوم بوظائفه في أثناء الراحة). ويمثل الجزء الأكبر من الطاقة التي يصرفها الجسم إذ تُشكل أكثر من نصف السعرات الحرارية الكلية.

هناك عوامل تؤثر على معدل الأيض الأساسي مثل العمر (فهو يصل إلى أقصاه في عمر 18 شهر ثم يبدأ بالانخفاض خلال مرحلة الطفولة المبكرة، بعدها يرتفع قليلاً في مرحلة المراهقة، ثم يعاود الهبوط بعدها)، وكذلك الجنس فهو لدى الذكور أعلى من الإناث (نسبة الأنسجة الدهنية في جسم الأنثى أعلى من الذكر وبالتالي فكتلة الأنسجة العضلية لديها أقل، وعلى ذلك فإن الفعاليات الأيضية تكون عند الذكور أعلى)، وهناك عوامل أخرى مثل الحالة الصحية وإفراز الغدد الصماء والمُناخ والحالة التغذوية وحجم الجسم وتركيبه.....الخ.

ويتم تعين معدل الأيض الأساسي (BMR) في ظروف قياسية تخضع للتحكم الكامل، حيث أن الحالة الفسيولوجية ودرجة الحرارة وحالات التوتر العصبي وغيرها من العوامل يمكن أن تؤثر على الأيض حتى وإن كان الجسم في حالة راحة، وتُجرى تجارب تعين معدل الأيض الأساسي على الأفراد الذين توقفوا عن تناول الطعام لمدة 12 ساعة على الأقل (بحيث تكون عملية هضم وامتصاص الطعام قد تمت) وأن يكون الفرد مستلقياً على ظهره مسترخياً في غرفة مريحة تم ضبط درجة حرارتها. وقد جرت العديد من المحاولات بغية التوصل إلى قياس معدل الأيض الأساسي، ومن ذلك ما توصل له كليبر Kleiber عام 1947م حيث أشار إلى أن معدل الأيض الأساسي (BMR) له علاقة بوزن الجسم بالكيلوجرام مرفوعاً للأس ¾ وسمى ذلك بحجم الجسم التمثيلي، وقد وجد أن الوحدة الواحدة من حجم الجسم التمثيلي (1 كجم^{¾}) تحتاج إلى 70 سُعر حراري من الطاقة لمدة 24 ساعة، وعليه فإن الطاقة اللازمة لعمليات التمثيل الأساسية في اليوم لرجل وزنه 75 كيلوجرام = 70 × (الوزن بالكيلوجرام)^{¾} = 70 × 75^{¾} = 1784 سُعر حراري.

كما يمكن أن تحسب الطاقة اللازمة لعمليات التمثيل الأساسية (بشكل تقريبي بسيط) بفرض أن كل كيلوجرام من وزن الجسم يحتاج في كل ساعة إلى سُعر حراري واحد للذكر و 0.9 سُعر حراري للأنثى، وبالتالي عند الحساب التقريبي للطاقة اللازمة لعمليات التمثيل الأساسية

في اليوم الواحد نستخدم المعادلة التالية: (1 سٌعر × الوزن بالكيلوجرام × 24 ساعة) وذلك للذكور، أما في حالة الإناث فتكون المعادلة (0,9 سٌعر × الوزن بالكيلوجرام × 24 ساعة)، لذلك إذا أردنا أن نحسب بشكل تقريبي الطاقة اللازمة لعمليات التمثيل الأساسية في اليوم لرجل وزنه 75 كيلوجرام وامرأة وزنها 55 كيلوجرام على سبيل المثال، فإن الطاقة اللازمة لعمليات التمثيل الأساسية للرجل = 1 × 75 × 24 = 1800 سُعر حراري. أما الطاقة اللازمة لعمليات التمثيل الأساسية للمرأة = 0,9 × 55 × 24 = 1188 سُعر حراري.

وهناك معادلة أخرى أكثر دقة (لأخذها الوزن والطول والعمر بعين الاعتبار) تدعى معادلة هاريس- بندكت Harris-Benedict لحساب الطاقة اللازمة لعمليات التمثيل الأساسي وهي:

$$\text{للرجال} = 66.5 + (W \times 13.8) + (H \times 5.0) - (A \times 6.76)$$

$$\text{للنساء} = 655 + (W \times 9.56) + (H \times 1.85) - (A \times 4.68)$$

حيث أن W يعني الوزن بالكيلوجرام، H يعني الطول بالسنتيمتر، A يعني العمر بالسنوات وفي حساباتنا اللاحقة سوف نعتمد على معادلة هاريس- بندكت.

2- <u>النشاط البدني Physical Activity</u>: يقصد به النشاطات العضلية التي يمارسها الشخص مثل الأعمال المنزلية والمكتبية والأنشطة الرياضية وغيرها، يأتي هذا العامل في المركز الثاني من حيث كمية السعرات الحرارية التي يصرفها الجسم (بعد معدل الأيض الأساسي BMR) لكن هناك استثناء في حالة الأشخاص شديدي النشاط مثل الرياضيين المحترفين أو العاملين في مهن عضلية كالحدادة حيث تكون الطاقة المصروفة على النشاط الفيزيائي أعلى من تلك المصروفة على معدل الأيض الأساسي.

ولحساب كمية الطاقة المصروفة على النشاط الفيزيائي (بشكل تقريبي غير دقيق)، قُسمت الأنشطة الفيزيائية (العضلية) إلى أربع مجموعات كالتالي:

- النشاطات العضلية التي لا تحتاج إلى حركة أو جهد عضلي مثل قيادة السيارة أو الكتابة....الخ (شخص دائم الجلوس)، وهذه تمثل 20 % من معدل الأيض الأساسي.
- النشاطات العضلية الخفيفة مثل الأعمال المنزلية البسيطة والتدريس والمشي البطيء (شخص قليل النشاط)، وهذه تمثل 30 % من معدل الأيض الأساسي.

- **النشاطات العضلية المتوسطة مثل المشي السريع وأعمال التمريض وقيادة الدراجة الهوائية بسرعة متوسطة (شخص متوسط النشاط)، وهذه تمثل 40 % من معدل الأيض الأساسي.**
- **النشاطات العضلية الشاقة مثل أعمال البناء والجري السريع والسباحة ولعب كرة القدم (شخص مرتفع النشاط)، وهذه تمثل 50 % من معدل الأيض الأساسي.**

وكما ذُكر سابقاً أن هذه القواعد لا تنطبق على الأشخاص شديدي النشاط (الرياضيين المحترفين أو العاملين في مهن عضلية كالحدادة) كون الطاقة المصروفة على النشاط الفيزيائي أعلى من تلك المصروفة على معدل الأيض الأساسي.

مثال: أحسب الطاقة المنصرفة في عمليات النشاط الفيزيائي في اليوم لرجل قليل النشاط يبلغ من العمر 45 سنه يبلغ وزنه 75 كيلوجرام وطوله يبلغ 178 سنتيمتر.

أولاً نحسب الطاقة اللازمة لعمليات التمثيل الأساسية في اليوم لهذا الرجل حسب معادلة هاريس- بندكت وهي = 66.5 + (13.8 × 75) + (5.0 × 178) – (6.76 × 45) وهي = 66.5 + 1035 + 890 – 304.2 = 1687.3 سُعر حراري.

وبالتالي فالطاقة المنصرفة في عمليات النشاط الفيزيائي لهذا الرجل = 1687.3 × 30 % = 506,19 سُعر حراري.

3- التأثير الديناميكي النوعي للغذاء Specific Dynamic Effect (SDE): يقصد به الزيادة في طاقة الأيض الأساسي فوق مستوى السكون (الراحة) بسبب تناول الطعام ويسمى ذلك بالتأثير الديناميكي النوعي للغذاء أو التأثير الحراري الناشئ عن الغذاء، ولذلك سبق وأن ذُكر أنه عند قياس معدل الأيض الأساسي (BMR) يكون ذلك بعد توقف الأفراد عن تناول الطعام لمدة 12 ساعة على الأقل، وذلك بسبب أنه بمجرد تناول الطعام ترتفع معدلات إنتاج الحرارة فوق مستوى السكون. ومما تجدر الإشارة إليه أن تناول البروتينات بمفرده يسبب زيادة كبيرة في معدل الأيض الأساسي مقدارها 20 % في المتوسط لمعظم أنواع البروتينات (مع تباين بسيط من بروتين لأخر)، بينما تناول الكربوهيدرات أو الدهون يسبب زيادة بسيطة في معدل الأيض الأساسي مقدارها 6 % للكربوهيدرات و 4 % للدهون. وبشكل عام يقدر التأثير الديناميكي النوعي للغذاء بحوالي 10 % من احتياجات الطاقة (الطاقة اللازمة لعمليات التمثيل الأساسية + الطاقة المنصرفة في عمليات النشاط الفيزيائي).

مثال: أحسب احتياجات الطاقة الكلية / اليوم لنفس الرجل قليل النشاط المذكور في المثال السابق.

لحساب احتياجات الطاقة الكلية (الطاقة اللازمة لعمليات التمثيل الأساسية + الطاقة المنصرفة في عمليات النشاط الفيزيائي + طاقة التأثير الديناميكي النوعي للغذاء) لهذا الرجل يجب أن نعرف أولاً الطاقة اللازمة لعمليات التمثيل الأساسية في اليوم وقد قمنا في مثال سابق بحسابها فوجدناها = 1687,3 سُعر حراري. ثم حسبنا الطاقة المنصرفة في عمليات النشاط الفيزيائي لهذا الرجل وقد وجدناها = 506,19 سُعر حراري، ثم يجب أن نحسب طاقة التأثير الديناميكي النوعي للغذاء والتي تشكل تقريباً 10 % من احتياجات الطاقة، إذاً مجموع الطاقة الكلية بدون طاقة التأثير الديناميكي النوعي للغذاء = 1687,3 + 506,19 = 2193,49 سُعر حراري، وبالتالي فإن طاقة التأثير الديناميكي النوعي للغذاء = 2193,49 × 10 % = 219,349 سُعر حراري.

إذاً يمكننا حساب الطاقة الكلية اللازمة لهذا الشخص اعتماداً على المعلومات المذكورة في ما سبق وهي = 1687,3 + 506,19 + 219,349 = 2412,839 سُعر حراري

القيمة السُعرية للأغذية Energy Value of Food:

لمعرفة القيم السُعرية للأغذية (فعلياً) يجب علينا معرفة ما يلي:

1- **الطاقة الكلية Gross Energy**: هي الحرارة الناشئة عن احتراق المادة الغذائية احتراقاً كاملاً (حرارة الاحتراق)، وقد أشارت الدراسات أن حرق جرام واحد من الكربوهيدرات (بواسطة المُسعر) يعطي 4,15 سعر حراري، والجرام الواحد من البروتينات يعطي 5,65 سعر حراري، أما الجرام الواحد من الدهون فيعطي 9,45 سعر حراري.

2- **الطاقة المهضومة Digestible Energy**: لا يستفيد الجسم من كل القيم الحرارية الكلية للغذاء بل هناك فقد في الهضم وذلك لان الجسم يفقد جزء من طاقة المادة الغذائية على صورة مواد غير مهضومة تخرج البراز على صورة مركبات غذائية غير مهضومة والجزء المتبقي يسمى بالطاقة المهضومة. ولذلك يجب تعديل قيم الطاقة التي نحصل عليها من احتراق المواد الغذائية بواسطة المُسعر وذلك بضرب تلك القيم بمعامل الهضم Coefficient of digestibility والذي يحمل القيم التالية: 98 % للكربوهيدرات، 92 % للبروتينات، 95 % للدهون، وعلى ذلك تصبح القيم لحرق جرام واحد من الكربوهيدرات (4,15 × 0,98 = 4,065 سعر حراري)، أما حرق جرام واحد من البروتينات (5,65 × 0,92 = 5,198 سعر حراري)، في حين أن حرق جرام واحد من الدهون (9,45 × 0,95 = 8,978 سعر حراري).

3- الطاقة القابلة للتمثيل Metabolisable Energy: عملياً لا يستفيد الجسم من جميع الطاقة المهضومة بل يفقد جزء أخر منها مع البول، ويتم تقدير الطاقة القابلة للتمثيل بطرح الجزء الحراري الذي يفقد من القيمة الحرارية المهضومة للمادة الغذائية في عمليات التمثيل الغذائي ويظهر في البول. (الطاقة القابلة للتمثيل = الطاقة المهضومة - الطاقة المفقودة مع البول).

وقد عرفنا سابقاً أن الجهاز البولي يقوم بالتخلص من الفضلات النيتروجينية السامة الناتجة من تمثيل البروتين، وعليه نجد أن قيم الطاقة القابلة للتمثيل لكل من الكربوهيدرات والدهون لا يطرأ عليها أي تغير حيث لا يفقد منها أي جزء مع البول، لكن في حالة البروتينات والتي عند استخدامها كمصدر للطاقة فإن الأحماض الأمينية تفقد مجموعة الأمين على هيئة فضلات نيتروجينية مع البول، وعند تقدير محتوي النيتروجين في البول نتوصل إلى أن ما يقارب 7,9 سُعر حراري لكل جرام من البول يعادل 1,25 سُعر حراري لكل جرام من البروتين، وهذه الطاقة تمثل ما يتم فقده مع البول لذلك يجب طرح هذه القيمة من الطاقة المهضومة للبروتين، وعليه تكون قيمة الطاقة القابلة للتمثيل للبروتينات (بحسابها بالمعادلة الموضحة أعلاه) تساوي (5,198 - 1,25 = 3,948 سعر حراري).

4- صافي الطاقة Net Energy: وهي القيمة الحرارية التي يستفيد منها الجسم فعلاً من الغذاء بعد طرح الطاقة المفقودة مع البراز (الطاقة غير المهضومة) والطاقة الطاقة المفقودة مع البول من الطاقة الكلية، وبالتالي فإن جرام واحد من الكربوهيدرات يعطي 4,065 (تقريباً 4) سُعر حراري، والجرام الواحد من البروتينات يعطي 3,948 (تقريباً 4) سُعر حراري، أما الجرام الواحد من الدهون فيعطي 8,978 (تقريباً 4) سعر حراري.

توازن الطاقة Energy Balance:

لابد من تحقيق حالة من التوازن بين كمية الطاقة المتناولة (مصادر الطاقة) و كمية الطاقة المستهلكة (أوجه صرف الطاقة)، وهنا يبرز مصطلح توازن الطاقة Energy Balance والذي يقصد به كمية الطاقة السُعرية المتبقية بعد طرح قيم الطاقة المستهلكة من قيم الطاقة المتناولة مع الغذاء بحسب المعادلة التالية:

توازن الطاقة = الطاقة المتناولة (مصادر الطاقة) – الطاقة المستهلكة (أوجه صرف الطاقة)

وتوجد ثلاث حالات لتوازن الطاقة في الجسم هي:

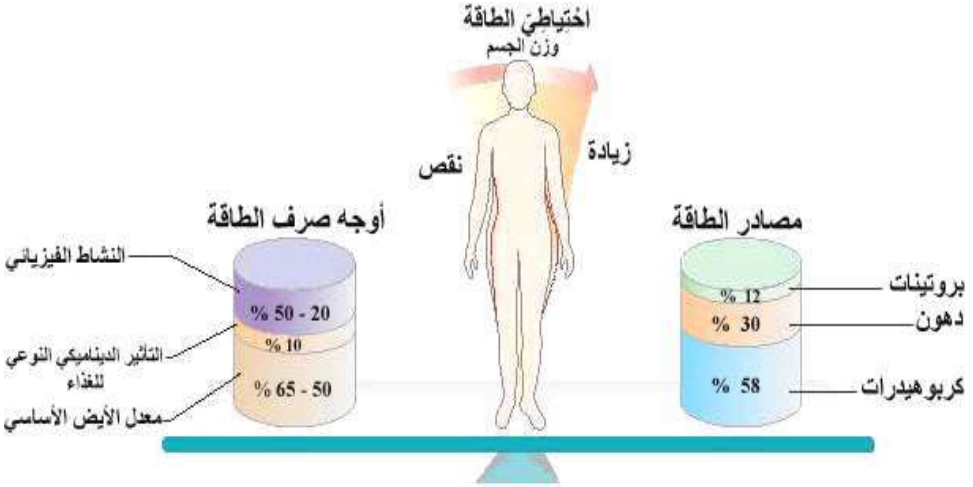
1- توازن الطاقة السلبي Negative Energy Balance: وهي الحالة التي تكون فيها كمية الطاقة المُتناولة عن طريق الغذاء أقل من كمية الطاقة المستهلكة في النشاطات الحيوية المختلفة المشار إليها سابقاً، وهذه الحالة تؤدي إلى نقص وزن الجسم نتيجة استنزاف الطاقة المخزنة في أنسجة الجسم.

2- **توازن الطاقة الإيجابي Positive Energy Balance**: وهي الحالة التي تكون فيها كمية الطاقة المُتناولة عن طريق الغذاء أعلى من كمية الطاقة المستهلكة في النشاطات الحيوية المختلفة، مما يؤدي إلى زيادة في وزن الجسم والسمنة Obesity نتيجة تخزين الطاقة في الجسم على شكل أنسجة دهنية. وقد وجد أن تناول مقدار 250 سُعر حراري من الطاقة زيادة عن حاجة الجسم خلال شهر يؤدي إلى زيادة في الوزن تقدر بكيلوجرام خلال هذه الفترة.

3- **توازن الطاقة المتعادل Equilibrium Energy Balance**: هي الحالة التي تكون فيها كمية الطاقة المُتناولة عن طريق الغذاء مساوية لكمية الطاقة المستهلكة في النشاطات الحيوية المختلفة، وهذه الحالة لا يحدث أي تغير في وزن الجسم دلالة على استفادة الجسم من الطاقة السُعرية للأغذية بشكل مناسب.

وللوصول إلى حالة التغذية السليمة (التغذية المتوازنة Adequate Nutrition)، نحرص على تحقيق توازن الطاقة المتعادل Equilibrium Energy Balance،

أن كل من توازن الطاقة السلبي وتوازن الطاقة الإيجابي قد يتسببان في مشكلات تغذوية، لكن قد نسعى أحياناً إلى تحقيق حالة من توازن الطاقة السلبي رغبة في إنقاص الوزن في حالات البدانة والسمنة، كما أنه في حالات معينة نحرص على أن يكون ميزان الطاقة موجباً خصوصاً في مرحلة الطفولة والمراهقة وكذلك في حالات الحمل والرضاعة أو في حالة الحرص على تعويض الأنسجة المصابة أو المتهتكة بعد العمليات الجراحية أو في معالجات إصابات الحروق والجروح الكبيرة حرصاً على بناء أنسجة جديدة (مع إضافة قدر مناسب من أغذية البناء والتجديد).



الشكل رقم (160) يوضح مصادر الطاقة وأوجه صرفها وتأثير ذلك على أنسجة الجسم (وزن الجسم واحتياطي الطاقة المخزنة على هيئة أنسجة دهنية)، عن (Despopoulos and Silbernagl, 2003).

والشكل التالي يوضح حالات توازن الطاقة المشار إليها سابقاً.

الشكل رقم (161) يوضح حالات توازن الطاقة: المتعادل (أعلى)، الإيجابي (وسط)، والسلبي (أسفل).

وتعطي العديد من المراجع المتخصصة في تغذية الإنسان إرشادات مهمة في جانب توازن الطاقة واستهلاك العناصر الغذائية المنتجة للطاقة، وهذه الإرشادات يمكن تلخيصها فيما يلي:

1- تناول فقط كمية السُعرات الحرارية التي يحتاجها جسمك وذلك لتجنب زيادة وزنك (نتيجة الإفراط في كمية السُعرات المتناولة) أو انخفاض وزنك (نتيجة نقص كمية السُعرات المتناولة).

2- خطط وجبتك الغذائية بحيث تشمل العناصر الغذائية المنتجة للطاقة بالنسب التالية:

الكربوهيدرات: 45 - 65 % من السُعرات الكلية المتناولة

- على أن تكون غالبيتها من الكربوهيدرات المعقدة والحرص على الإقلال من السكريات البسيطة

البروتينات: 10 - 35 % من السُعرات الكلية المتناولة

الدهون: 20 - 35 % من السُعرات الكلية المتناولة

- يكون ثلثها من الدهون المُشبعة وثلثها من أحادية عدم التشبع وثلثها من عديدة عدم التشبع

وحسب العديد من المراجع يمكن أن يكون توزيع العناصر الغذائية المنتجة للطاقة بالنسب التالية:

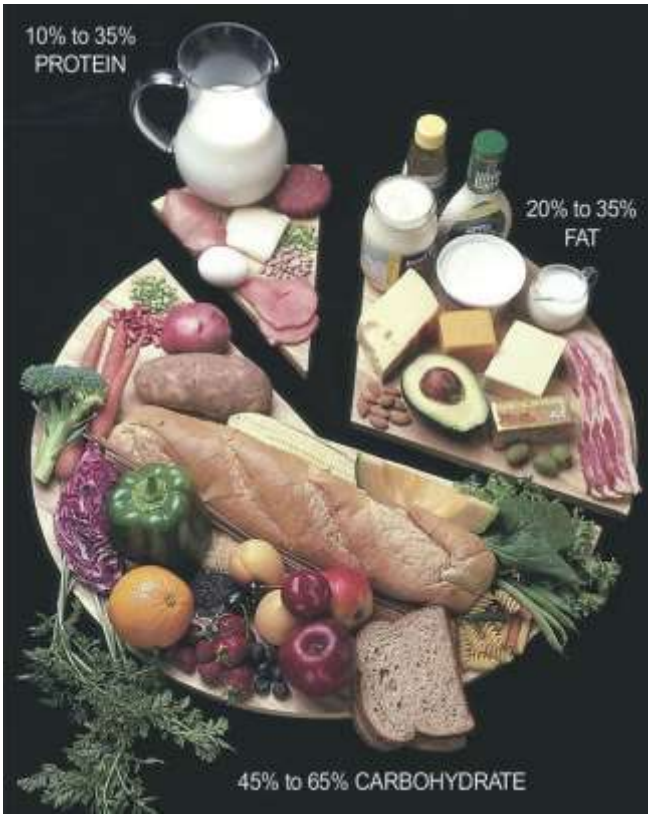
الكربوهيدرات:	**58 % من السُعرات الكلية المتناولة**
- منها كربوهيدرات متعددة:	**48 % من السُعرات الكلية المتناولة**
- منها سكريات أحادية وثنائية:	**10 % من السُعرات الكلية المتناولة**
البروتينات:	**12 % من السُعرات الكلية المتناولة**
الدهون:	**30 % من السُعرات الكلية المتناولة**
- منها دهون مُشبعة	**10 % من السُعرات الكلية المتناولة**
- منها دهون غير مُشبعة أحادية	**10 % من السُعرات الكلية المتناولة**
- منها دهون غير مُشبعة متعددة	**10 % من السُعرات الكلية المتناولة**

3- من النسب السابقة يجب مراعاة زيادة مخصصات الكربوهيدرات المعقدة والسكريات من مصادرها الطبيعية بحيث تمد الجسم بما يقارب نصف احتياجاته من السُعرات الحرارية، مع تخفيض تناول السكريات المصنعة والمكررة إلى حوالي عُشر كمية السعرات الحرارية المُتناولة. كما ينبغي تقليل الاستهلاك الكلي للدهون إلى حوالي 20 - 35 % من السعرات الحرارية المُتناولة، على أن يكون ثلث كميتها من الدهون المُشبعة والثلث الثاني من الدهون غير المُشبعة الأحادية (أحادية عدم التشبع) أما الثلث الأخير فيكون من الدهون غير المُشبعة المتعددة (عديدة عدم التشبع).

4- خفض كمية الكولسترول المُتناول إلى ما لا يزيد عن 300 مليجرام في اليوم، كما يجب خفض كمية الملح المُتناول إلى ما لا يزيد عن 5 جرام في اليوم.

ويوضح الشكل رقم (162) نسب مساهمة العناصر الغذائية المنتجة للطاقة (الكربوهيدرات، الدهون والبروتينات) في كمية الطاقة الكلية للوجبة الغذائية اليومية.

أما الجدول رقم (25) فيوضح متطلبات الطاقة المقدرة EER والمقدار الملائم المأخوذ AI والمخصصات الغذائية الموصى بها يومياً RDA للعناصر الغذائية للفئات العمرية المختلفة (والتي تعني كمية العنصر الغذائي التي تساعد الجسم على القيام بوظائفه الطبيعية او تمنع حصول عرض لحالة نقص من هذا العنصر الغذائي) وهذه المخصصات مقرة من قبل المجلس الوطني للبحث العلمي National Research Council في الولايات المتحدة الأمريكية.



الشكل رقم (162) يوضح نسب مساهمة العناصر الغذائية المنتجة للطاقة في كمية الطاقة الكلية للوجبة الغذائية اليومية، عن (Boyle and Long, 2007).

وكانت قد نشرت الطبعة الأولى من الغذائية الموصى بها يومياً RDA للعناصر الغذائية عام 1943م أثناء الحرب العالمية الثانية بهدف تقديم مقاييس قياسية كدليل للغذاء الجيد. ومنذ ذلك الوقت وكنتيجة للدراسات والأبحاث المستمرة، أمكن تحديد احتياجات معظم العناصر الغذائية للإنسان بناء على المعلومات العلمية المتوفرة من الأبحاث بحيث تكون كافية لإمداد معظم الأفراد الأصحاء (حوالي 98% من السكان) باحتياجاتهم الغذائية خلال مراحل العمر المختلفة وحسب الجنس والحالة الفيزيولوجية (مراحل الحمل والإرضاع والنمو). وهذه المستويات تجري مراجعتها وتحديثها دورياً منذ أكثر من خمسين عاماً بناءً على آخر الأبحاث.

وسوف نورد هنا المخصصات الغذائية الموصى بها يومياً RDA للفئات العمرية المختلفة من الماء والعناصر الغذائية المنتجة للطاقة (الكربوهيدرات، الدهون والبروتينات)، أما ما يخص الفيتامينات والعناصر المعدنية فقد سبق الإشارة لها في أواخر الفصلين السادس والسابع.

جدول رقم (25): متطلبات الطاقة المقدرة (EER) والمخصصات الموصى بها يومياً (RDA) والمقدار الملائم المأخوذ (AI) من العناصر الغذائية للفئات العمرية المختلفة*

Age (yr)	Reference BMI (kg/m²)	Reference height, cm (in)	Reference weight, kg (lb)	Water a AI (L/day)	Energy EERb (kcal/day)	Carbohydrate RDA (g/day)	Total fiber AI (g/day)	Total fat AI (g/day)	Linoleic acid AI (g/day)	Linolenic acid c AI (g/day)	Protein RDA (g/day)d	Protein RDA (g/kg/day)
Males												
0–0.5	—	62 (24)	6 (13)	0.7[e]	570	60	—	31	4.4	0.5	9.1	1.52
0.5–1	—	71 (28)	9 (20)	0.8[f]	743	95	—	30	4.6	0.5	13.5	1.5
1–3[g]	—	86 (34)	12 (27)	1.3	1046	130	19	—	7	0.7	13	1.1
4–8[g]	15.3	115 (45)	20 (44)	1.7	1742	130	25	—	10	0.9	19	0.95
9–13	17.2	144 (57)	36 (79)	2.4	2279	130	31	—	12	1.2	34	0.95
14–18	20.5	174 (68)	61 (134)	3.3	3152[h]	130	38	—	16	1.6	52	0.85
19–30	22.5	177 (70)	70 (154)	3.7	3067[h]	130	38	—	17	1.6	56	0.8
31–50				3.7	3067[h]	130	38	—	17	1.6	56	0.8
>50				3.7	3067[h]	130	30	—	14	1.6	56	0.8
Females												
0–0.5	—	62 (24)	6 (13)	0.7[e]	520	60	—	31	4.4	0.5	9.1	1.52
0.5–1	—	71 (28)	9 (20)	0.8[f]	676	95	—	30	4.6	0.5	13.5	1.5
1–3[g]	—	86 (34)	12 (27)	1.3	992	130	19	—	7	0.7	13	1.1
4–8[g]	15.3	115 (45)	20 (44)	1.7	1642	130	25	—	10	0.9	19	0.95
9–13	17.4	144 (57)	37 (81)	2.1	2071	130	26	—	10	1.0	34	0.95
14–18	20.4	163 (64)	54 (119)	2.3	2368	130	26	—	11	1.1	46	0.85
19–30	21.5	163 (64)	57 (126)	2.7	2403[i]	130	25	—	12	1.1	46	0.8
31–50				2.7	2403[i]	130	21	—	12	1.1	46	0.8
>50				2.7	2403[i]	130	21	—	11	1.1	46	0.8
Pregnancy												
1st trimester				3.0	+0	175	28	—	13	1.4	+25	1.1
2nd trimester				3.0	+340	175	28	—	13	1.4	+25	1.1
3rd trimester				3.0	+452	175	28	—	13	1.4	+25	1.1
Lactation												
1st 6 months				3.8	+330	210	29	—	13	1.3	+25	1.1
2nd 6 months				3.8	+400	210	29	—	13	1.3	+25	1.1

* المصدر: Dietary Reference Intakes series, National Academies Press. (1997 – 2005)

الباب الثالث

التغذية التطبيقية

Applied Nutrition

الفصل العاشر

التغذية الصحية: التخطيط لحمية غذائية صحية

Healthy Nutrition: Planning a Healthy Diet

التخطيط لحمية غذائية صحية:

إن التخطيط للتغذية الصحية يرتبط بالإلمام بالمبادئ الأساسية لحاجات الجسم الغذائية، وكذلك العناصر المغذية المتوفرة في كل نوع من أنواع الغذاء، هناك عدد من المبادئ التي يجب مراعاتها عند التخطيط لحمية غذائية صحية وتتلخص فيما يلي:

1 - **الكفاية Adequacy: تعني تناول الغذاء بالكمية والنوعية المناسبة بحيث يمد الجسم بالطاقة الكافية والعناصر الغذائية التي تحقق الأهداف المذكورة أعلاه وتحقيق مفهوم التغذية المتوازنة التي تتناسب مع الحالة الغذائية والصحية والفئة العمرية.**

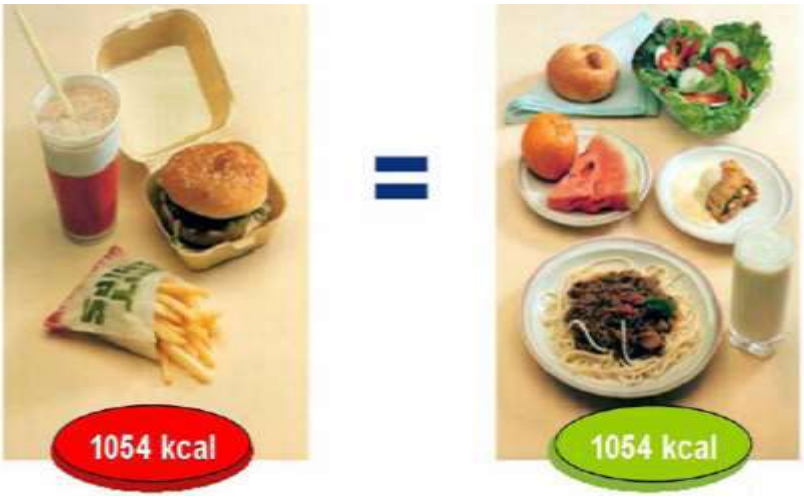
2 - **التوازن Balance: يعني التوازن بين العناصر الغذائية والطاقة (بحيث لا تطغى أحدهما على الأخرى) وتناول ما يكفي منها بدون زيادة أو نقصان بما يضمن تحقيق مفهوم التغذية المتوازنة Adequate Nutrition.**

3 – **التحكم في السعرات الحرارية Calorie control: بحيث تكون السعرات الحرارية المتناولة مساوية للسعرات الحرارية التي تغطي احتياجات الطاقة الكلية المنصرفة، بما يضمن التوازن بين كمية الطاقة المتناولة (مصادر الطاقة) و كمية الطاقة المستهلكة (أوجه صرف الطاقة)، وهذا ما سبق التأكيد إليه في الفصل السادس.**

4 - **الاعتدال Moderation: الاعتدال في تناول الأغذية الحاوية على نسبة عالية من الدهن (الأغذية الدسمة)، وكذلك تلك الحاوية على نسبة عالية من السكر (الحلويات)، وهذه النوعيات من الأغذية في الغالب تكون من الأغذية المحببة لدى الكثيرين لكن تناولها بإفراط يتسبب في كثير من المشاكل الصحية أهمها البدانة، لذا يجب تناولها باعتدال وبما يحقق جميع مبادئ التخطيط لحمية غذائية صحية.**

5 - **تكثيف العناصر الغذائية Nutrient density: هو مصطلح يصف تلك الأغذية التي تزود الجسم بالمزيد من العناصر الغذائية الصغرى (المغذيات الصغرى- ونقصد بها الفيتامينات والعناصر المعدنية التي تتواجد بنسب صغيره جداً) وفي المقابل تزود الجسم بكميات قليلة من السعرات الحرارية بحيث لا تضيف إليه سعرات حرارية زائدة عن الحد المطلوب، وهذا المبدئ من مبادئ التخطيط لحمية غذائية صحية يُلزمنا باختيار هذه الأنواع من الأغذية (أي تناول الغذاء الذي يمدنا أكبر قدر من العناصر الغذائية بأقل سعرات حرارية ممكنة).**

6 - **التنوع Variety**: إن تناول نفس النوعية من الغذاء يوماً بعد يوم يؤدي إلى تناول نفس العناصر الغذائية المتواجدة في هذه الأغذية وحرمان الجسم من العناصر الغذائية الأخرى غير المتواجدة في هذه الأغذية، كما قد يؤدي ذلك إلى الملل وعدم الرغبة في تناول هذه الأغذية، ولتجنب ذلك يجب الحرص على التنوع في تناول أنواع الأغذية المختلفة.



الشكل رقم (163) الوجبة في يمين الصورة تحقق المبادئ التي يجب مراعاتها عند التخطيط لحمية غذائية صحية، بعكس الوجبة في يسار الصورة.

وقد حرص خبراء التغذية على توفير وسائل المساعدة الضرورية لضمان تحقيق مبادئ التخطيط لحمية غذائية صحية وقد تمثل ذلك في وسائل إرشادية للتخطيط لوجبات غذائية صحية من خلال ما يعرف بمرشد الغذاء **Food Guide** الذي هو وسيلة لتقسم الأغذية إلى مجاميع الغذاء يتم من خلالها مساعدة أخصائي التغذية أو ربة المنزل....إلخ، على التخطيط الأمثل للوجبات الغذائية المتكاملة. أن من المحاولات المبكرة لتقسم الأغذية إلى مجاميع الغذاء كانت في عام 1943م، خلال الحرب العالمية الثانية حيث أصدرت وزارة الزراعة إرشادات غذائية قسمت الأغذية إلى مجاميع عُرفت بالمجاميع الغذائية الأساسية السبعة (Basic 7 Food Groups) لضمان استقرار الحالة الغذائية وقت الحرب كاستجابة لتقنين الأغذية آنذاك، وهذه مجاميع هي:

1 - مجموعة الخضروات الورقية الخضراء والصفراء: والأغذية في هذه المجموعة غنية بفيتامين A كما تحتوى على الحديد والكالسيوم والألياف الغذائية. ويجب أن يحتوى غذاء الإنسان البالغ على 100 جرام من هذه الأغذية يومياً.

2 - مجموعة الفواكه الحمضية (البرتقال والليمون...الخ) والطماطم والملفوف الطازج: والأغذية في هذه المجموعة تحتوي على كميات مناسبة من فيتامين C. ويجب أن يحتوى غذاء الإنسان البالغ على 100 جرام من هذه الأغذية يومياً.

3 - البطاطس والخضروات والفواكه الأخرى (غير المصنفة في المجموعتين السابقتين): وتوفر كميات مناسبة من الكربوهيدرات والفيتامينات والعناصر المعدنية المختلفة والألياف الغذائية. ويجب أن يحتوى غذاء الإنسان البالغ على 200 جرام من هذه الأغذية يومياً.

4 - مجموعة الحليب ومنتجاته. وتمد هذه المجموعة الجسم بالكالسيوم والفوسفور والبروتينات. ويجب أن يحتوى غذاء الإنسان البالغ على كميات مناسبة من هذه المجموعة يومياً.

5 - مجموعة اللّحوم والأسماك والبيض والبقوليات والمكسرات: وتحتوى هذه المجموعة على كميات مناسبة من البروتينات. ويجب أن يحتوى غذاء الإنسان البالغ على 100 جرام من هذه الأغذية يومياً.

6 - مجموعة الخبز والحبوب ومنتجاتها: وتحتوى هذه المجموعة على كميات مناسبة من الكربوهيدرات. ويجب أن يحتوى غذاء الإنسان البالغ على الكمية المناسبة من هذه المجموعة يومياً وفقاً لعمر الشخص وحالته الفسيولوجية وجهده البدني.

7 - مجموعة الزبدة و المارجرين المدعم بفيتامين A.

الشكل رقم (164) المجاميع الغذائية الأساسية السبعة (Basic 7 Food Groups).

تلتها تقسيم الأغذية إلى أربعة مجاميع أساسية Basic 4 Food Groups من قِبل وزارة الزراعة الأمريكية في العام 1956م، وقد تم تحديد حجم ووزن الحصة الغذائية بناءً على العمر والجنس والحالة الفيسيولوجية (الحمل، الإرضاع، النمو) لهذه المجاميع، والمجاميع هي:

1 - مجموعة الحليب ومنتجاته وتشمل: الحليب والزبادي والجبن....الخ وهذه المجموعة الغذائية تعتبر غنية بالبروتينات والكالسيوم وبعض الفيتامينات مثل B_2 و B_{12} و (A و D في حالة الحليب المدعم). وتتراوح الحصص الموصى بها في اليوم من 2 إلى 5 حصص حسب العمر والجنس والحالة الفيسيولوجية، (الحصة الواحدة من هذه المجموعة يمكن أن تكون كوب من الحليب 245 جرام أو كوب من الزبادي أو 28 جرام أو ما يساوي 4 إلى 5 ملاعق من الحليب المجفف أو قطعة من الحبن بوزن 28 جرام).

وتكون الحصص الموصى بها للأطفال 2 إلى 3 حصص، المراهقون 4 إلى 5 حصص، البالغون 2 إلى 3 حصص، الحوامل والمرضعات 4 إلى 5 حصص.

2 - مجموعة اللّحوم وبدائلها وهي تشمل: اللحوم والدواجن والأسماك والبيض والبقوليات والمكسرات. وتعتبر هذه المجموعة غنية بالبروتينات والفيتامينات (على الأخص B_1 و B_3 و B_{12} و A و D) والحديد وبعض العناصر المعدنية الأخرى مثل الزنك والفوسفور والمغنيسيوم. وينصح بتناول من 2 إلى 3 حصص من هذه الأغذية في اليوم. (الحصة الواحدة من هذه المجموعة يمكن أن تكون 56 إلى 85 جرام من اللحوم خالية الدهن أو لحوم الدواجن أو الأسماك، كما يمكن أن تكون بيضة واحدة أو ½ كوب من البقوليات الجافة المطهية "حوالى 100 جرام" أو ملعقتين من زبدة الفول السوداني).

3 - مجموعة الخضروات والفواكه وتشمل: الفواكه والخضراوات الطازجة بأنواعها، وهى غنية بمختلف الفيتامينات والعناصر المعدنية والألياف الغذائية، وينصح بتناول 4 حصص في اليوم من أغذية هذه المجموعة. (الحصة الواحدة من هذه المجموعة يمكن أن تكون كوب من الخضروات الورقية الخضراء أو كوب من أنواع أخرى من الخضروات المطهية أو ½ كوب من الخضروات غير المطهية. كما يمكن أن تكون ثمرة فاكهة (برتقال، تفاح، موز.....الخ) متوسطة الحجم أو كوب من الفواكه المقطعة أو ½ كوب من الفواكه المجففة كالزبيب والمشمش المجفف أو 3/4 كوب من عصير الفواكه).

4 - مجموعة الخبز والحبوب وتشمل: الحبوب بأنواعها كالأرز والذرة والقمح ومنتجات الحبوب مثل: المعجنات والمكرونة وغيرها من الأغذية المصنوعة من الحبوب وينصح بتناول 4 حصص في اليوم من هذه المجموعة، (الحصة الواحدة من هذه المجموعة يمكن أن تكون قطعة من الخبز بوزن 28 جرام أو ما يعادل ربع رغيف خبز أو 28 جرام من الحبوب الجاهزة للأكل أو ½ كوب من الحبوب أو الارز أو المعكرونة المطبوخة).

وقد أوصى خبراء التغذية أن تشمل الوجبة اليومية كميات كافية من كل تلك المجاميع الغذائية (حسب الحصص المحددة يوميًا من كل مجموعة من هذه المجاميع) فهذه المجاميع الغذائية تمد الجسم بالمواد الغذائية اللازمة لبنائه و نموه و لا تحل أي مجموعة منها محل الأخرى لان لكل واحدة منها فائدة وقيمة غذائية مختلفة، وقد استمر العمل بهذه المجاميع والحصص الموصى بها لكل مجموعة منذ العام 1956م حتى عام 1979م حيث تم تعديل الحصص الموصى بها لكل مجموعة من تلك المجاميع فقد أثبتت الدراسات المسحية أن الاعتماد الكلي في تخطيط الوجبات الغذائية على نظام الأربعة مجاميع الأساسية Basic 4 Food Groups (وفقاً للحصص الموصى بها سابقاً) يمكن أن يؤدي إلى نقص بعض العناصر الغذائية مثل الحديد والزنك والمغنيسيوم وبعض الفيتامينات مثل فيتامين E و B_6. لذا تمت مراجعة الحصص السابقة وتم تعديلها وفقاً للآتي:

1 - زيادة حجم حصة اللّحوم (والتي كانت بين 56 إلى 85 جرام) بحيث تصبح 85 جرام كاملة.

2 - بقاء حصة مجموعة اللّحوم وبدائلها 4 حصص بحيث تكون حصتان من اللّحوم (170 جرام) وحصتان من البقوليات والمكسرات (كوب واحد أو 200 جرام).

3 - إضافة حصة واحدة من الزيوت لتزويد الجسم فيتامين E ولتساعد على امتصاص فيتامين A في الأمعاء.

4 - بقاء حصة مجموعة الخضروات والفواكه كما هي (4 حصص) لكن توزع بحيث تكون حصة للفواكه الغنية بفيتامين C وحصة للخضروات الورقية الخضراء وحصتان من الخضروات والفواكه الأخرى.

5 - لا تعديل على حصص مجموعتي الحليب ومنتجاته والخبز والحبوب ومنتجاتها.

وبشكل عام فقد حقق هذا التعديل معالجات لمشاكل النقص في المخصصات الغذائية وخصوصاً العناصر الغذائية المذكورة سابقاً وفقاً للمخصصات الغذائية الموصى بها يومياً RDA للفئات العمرية المختلفة باستثناء الحديد للمرأة الحامل.

وفي عام 1992م قامت وزارة الزراعة الأمريكية بتعديل مجاميع الأغذية الأربعة الأساسية (المعدلة في عام 1979م) لتصبح ست مجاميع نتيجة لفصل مجموعة الخضروات والفواكه إلى مجموعتين الأولى للخضروات والثانية للفواكه وذلك بسبب أن وضع الخضروات والفواكه في مجموعة واحدة يجعل الغالبية العظمى من الناس يتناولون مجموعة على حساب الأخرى (في الغالب تفضيل الفاكهة على الخضروات)، في حين يجب أن يحصلوا على حصص كافية من الخضروات والفواكه. كما قامت بوضع الأغذية الحاوية على نسب عالية من الدهون المشبعة وكذلك السكر المضاف ضمن مجموعة جديدة بحيث تشمل الدهون والحلويات.

وبذلك أصبح عدد مجاميع الأغذية ست مجموعات تشمل ما يلي:

1 - مجموعة الخبز والأرز والحبوب ومنتجاتها.

2 - مجموعة الخضروات.

3 - مجموعة الفواكه.

4 - مجموعة الحليب ومنتجاته.

5 - مجموعة اللّحوم والأسماك والبيض والبقوليات.

6 - مجاميع أُخرى مثل الزيوت والدهون والأغذية الحاوية على السكر المضاف (الحلويات).

وقد قدمت وزارة الزراعة الأمريكية في العام 1992م دليلاً ارشادياً للتخطيط لوجبة غذائية صحية من خلال مخطط ارشادي أسمته الهرم الإرشادي الغذائي Food Guide Pyramid.

والهرم الغذائي Food Pyramid عبارة عن رسم تخطيطي على هيئة هرم يكون بمثابة المرشد الذي يدلنا على الكميات الصحية التي يجب تناولها من الأغذية، ويحتوي على المجموعات الغذائية الرئيسية (المذكورة أعلاه) التي يجب على كل شخص الالتزام بها يوميا، بحيث ترتب تلك المجموعات حسب درجة احتياج الجسم لها.

الشكل رقم (165) الهرم الغذائي Food Pyramid المنشأ من قبل وزارة الزراعة الأمريكية في العام 1992م.

وكما يتضح من الشكل أعلاه، يتكون الهرم الغذائي من مجموعات متدرجة من الأغذية كالتالي:

1 - <u>مجموعة الخبز والأرز والحبوب ومنتجاتها</u>: تكون في قاعدة هذا الهرم مما يعني أنها أكبر المجموعات مساحة، وهذه المجموعة تزود الجسم بمصدر الطاقة الرئيس المتمثل بالكربوهيدرات كما تزودنا بالألياف وبعض الفيتامينات والعناصر المعدنية وينصح بتناولها بمقدار يتراوح بين 6 إلى 11 حصة.

2 - مجموعة الخضروات: تحتل هذه المجموعة (مع مجموعة الفواكه) المنطقة الموجودة أعلى مجموعة الخبز والأرز والحبوب ومنتجاتها، وهي تزود الجسم بالعديد من الفيتامينات والعناصر المعدنية والألياف المهمة وينصح بتناولها بمقدار يتراوح بين 3 إلى 5 حصص.

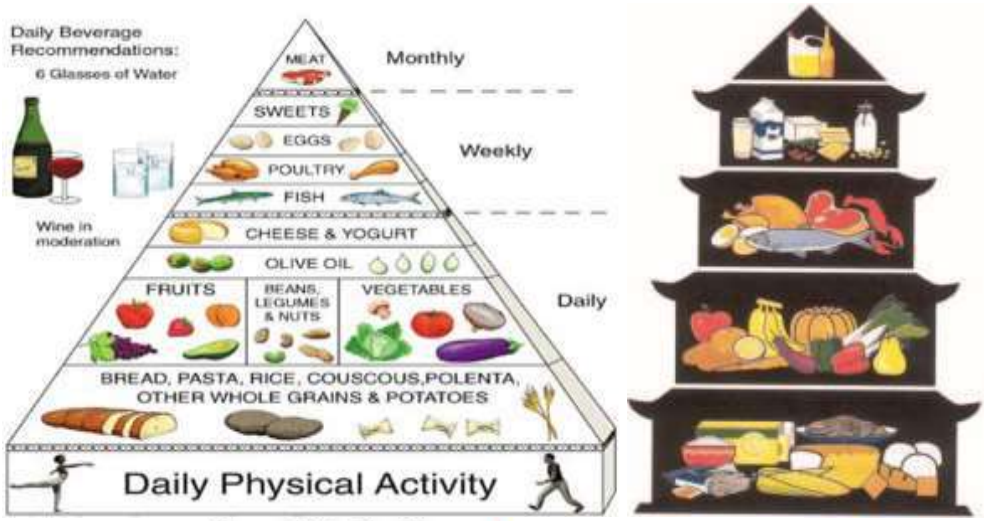
3 - مجموعة الفواكه: كما أشرنا أن هذه المجموعة (مع مجموعة الخضروات) تحتل المنطقة الموجودة أعلى مجموعة الحبوب ومنتجاتها، وهذه المجموعة تزود الجسم بالسكريات البسيطة المهمة كمصر للطاقة إضافة إلى العديد من الفيتامينات والعناصر المعدنية والألياف المهمة وينصح بتناولها بمقدار يتراوح بين 2 إلى 4 حصص.

4 - مجموعة الحليب ومنتجاته: تعتبر هذه المجموعة مصدر غني بالكالسيوم إضافة إلى احتوائها على البروتين والعديد من الفيتامينات والعناصر المعدنية الأخرى، ويحتوي الحليب وبعض منتجاته على سكر اللاكتوز المصدر الوحيد للسكر الأحادي الجالاكتوز الذي يعتبر احد مكونات السيربروسيدات المكونة للميلين Myelin (الغلاف الواقي المحيط بالليفات العصبية ويحمي قابليتها على نقل الرسائل العصبية) الذي يعتبر أساسي للوظيفة الطبيعية للأعصاب، ولذلك فهذه المجموعة مهمة في التغذية في مراحل النمو والحمل والإرضاع، لكن قد يعاني البعض من حالة عدم تحمل اللاكتوز فيتم استبدال الحليب ومنتجاته الحاوية على اللاكتوز بالزبادي أو الجبن لخلوهما منه، وينصح بتناول هذه المجموعة بمقدار يتراوح بين 2 إلى 3 حصص.

5 - مجموعة اللّحوم والأسماك والبيض والبقوليات: تحتوي على اللّحوم والدواجن والأسماك والبيض والبقوليات الجافة، وهي مصدر مهم للبروتين والعديد من الفيتامينات والعناصر المعدنية خصوصاً الحديد والزنك، وينصح بتناولها بمقدار يتراوح بين 2 إلى 3 حصص.

6 - مجموعة الدهون والزيوت والحلويات: وهي تمثل الجزء العلوي الصغير من الهرم، وتشمل هذه المجموعة زيوت السلطات والطهي والقلي والزبد والسمن النباتي والحلويات والأغذية المحلاة بالسكر مثل المربيات والجلي والعصائر المحلاة والمشروبات الغازية، وينصح خبراء التغذية بتناول أغذية تلك المجموعة باعتدال وبكميات قليلة، لسعراتها الحرارية المرتفعة وقلة قيمتها الغذائية وهي تصنف على أنها من الأغذية منخفضة القيمة الغذائية Junk Food.

وهناك العديد من وسائل المساعدة الأخرى الشبيهة بالهرم الغذائي Food Pyramid مثل الهرم الغذائي الأسيوي، وهرم دول البحر الأبيض المتوسط، وهرم Mayo Clinic الصحي، والهرم النيوزيلاندي.....الخ (الشكل التالي يوضح بعض منها)، وجميعها تعتبر وسائل إرشادية للتخطيط لوجبات غذائية صحية.



الشكل رقم (166) يوضح وسائل المساعدة الأخرى الشبيهة بالهرم الغذائي مثل الهرم الغذائي الأسيوي، وهرم دول البحر الأبيض المتوسط (على الترتيب في الأعلى)، وهرم Mayo Clinic الصحي، في الأسفل.

وقد استمر العمل بالهرم الغذائي Food Pyramid حتى العام 2005م حين قدمت وزارة الزراعة الامريكية هرم جديد ملون اعتمد في اسسه على توصيات هيئة التغذية فيها، وذلك من خلال موقع على الإنترنت يحمل الاسم www.MyPyramid.gov أنشأته الوزارة بحيث يسمح للأفراد حساب الاحتياجات والبدائل الغذائية ويعطي إرشادات غذائية ومعلومات إضافية خاصة باختيار وتحضير الغذاء معتمدا على عدة عوامل مثل النوع (ذكر أم أنثى) وكذلك العمر والوزن والطول ومستوى النشاط اليومي (وهذا ما لم يكن ممكناً باستخدام الهرم الغذائي القديم). والشكل التالي يوضح صفحة هذا الموقع على شبكة الإنترنت.

الشكل رقم (167) يوضح صفحة الموقع الإلكتروني (www.MyPyramid.gov) على شبكة الإنترنت.

ويرمز كل لون في هذا الهرم الجديد الى مجموعة غذائية محددة، ويؤكد هذا الهرم على ضرورة التوازن بين الغذاء والنشاط البدني من خلال اضافة رسم لشخص يصعد سلم مضاف لهذا الهرم وهو يشير بإصبعه الى قمة الهرم (كرمز لتشجيع النشاط البدني)، وقد سمي هذا الهرم الغذائي (المعدل) الجديد باسم (هرمي MyPyramid). وهرمي عبارة عن مخطط تظهر فيه المجموعات الغذائية على شكل ألوان ترمز لتلك المجموعات وفيه:

1 - اللون البرتقالي يرمز لمجموعة الحبوب ومنتجاتها.

2 - اللون الأخضر يرمز لمجموعة الخضروات.

3 - اللون الأحمر يرمز لمجموعة الفواكه.

4 - اللون الأصفر يرمز لمجموعة الزيوت والدهون.

5 - اللون الأزرق يرمز لمجموعة الحليب ومنتجاته.

6 - اللون البنفسجي يرمز لمجموعة اللحوم والبقوليات.

ولهرمي MyPyramid خصوصية تتمثل في أن مقدار ما يتم تناوله من الغذاء يجب أن يرتبط بالنشاط البدني اليومي المبذول، فالشخص الذي يصعد درج الهرم يذكر المستهلكين بضرورة الحرص على النشاط البدني بشكل يومي، وأن الرياضة أيضا ضرورية مع الغذاء الجيد لتحقيق الصحة من خلال شعار (Steps to a healthier you) خطوات لتكون أكثر صحة.

كذلك يؤكد الهرم الجديد على مبدأ التنوع Variety من خلال أن كل لون في الهرم يمثل مجموعة من مجاميع الأغذية المختلفة ويوضح عرض واتساع اللون النسبة التي يجب تناولها بالنسبة للمجموعات الأخرى (وهذا ظاهر من خلال تعدد الألوان في الهرم). كما يؤكد على أن جميع مجاميع الأغذية على درجة واحدة من الأهمية كونها متساوية في تجاورها في الهرم وليست الواحدة فوق الأخرى (بعكس الهرم السابق)، لذلك يجب اختيار الأغذية من جميع المجاميع للحصول على غذاء صحي ومتوازن. ويمثل عرض واتساع اللون لكل مجموعة من مجاميع الأغذية النسبة التي يجب تناولها بالنسبة للمجاميع الأخرى، فالكميات المتناولة الأكبر تكون لمجوعة الحبوب والخضروات والفواكه والحليب نتيجة لعرض المساحة الملونة الموضحة في حين أن أقل الكميات المتناولة تكون لمجوعة الزيوت والدهون.

إن اتساع عرض اللون لكل مجموعة من مجاميع الأغذية في قاعدة الهرم على أهمية اختيار الأغذية التي تزود الجسم بأكبر قدر من العناصر الغذائية بأقل سعرات حرارية ممكنة، أي الأغذية ذات الكثافة في العناصر الغذائية في كل مجموعة من هذه المجاميع، في حين يدل تضيقه عند القمة على أنه يجب الإقلال من اختيار الأغذية التي تعتبر أقل جودة وتحوي سعرات حرارية زائدة عن الحد المطلوب (أي ضرورة تحاشي الأغذية الحاوية على نسبة عالية من الدهون المشبعة والسكريات المضافة)، فمثلاً تجد الحبوب الكاملة في قاعدة اللون البرتقالي بينما يكون الخبز الأبيض في قمته، وفي مجموعة الفاكهة يكون التفاح الطازج قاعدة اللون الأحمر بينما فطيرة التفاح في قمته، وفي مجموعة الحليب تجد الحليب والألبان خالية أو قليلة الدسم في قاعدة اللون الأزرق أما الحليب والألبان كاملة الدسم والآيسكريم والقشدة فتكون في قمته.

الشكل رقم (168) يوضح الهرم الغذائي المعدل (هرمي MyPyramid) المنشأ في العام 2005م.

المجموعات الغذائية في هرمي:

1 - مجموعة الحبوب: وهذه المجموعة مصدر للكربوهيدرات (مصدر الطاقة الرئيس)، وتعتبر مصدر للألياف وبعض الفيتامينات والعناصر المعدنية. ومن أهم التوصيات لهذه المجموعة أن يتناول الفرد على الأقل ثلاث أونصات (85 جرام) من الحبوب الكاملة (غير منزوعة النُخالة)، وعند شراء منتجات الحبوب يتم التأكد من وجود كلمة (كاملة) قبل أسم الحبوب.

2 - مجموعة الخضروات: وهذه المجموعة مصدر للألياف والفيتامينات والعناصر المعدنية. ومن أهم التوصيات لهذه المجموعة التنوع في تناول الخضروات بحيث يحرص الفرد على تناول تشكيلة واسعة من الخضار يومياً تشمل الخضروات ذات اللّون الأخضر الغامق، والمزيد من الخضروات ذات اللون البرتقالي، وتناول حبوب الفاصوليا والبازلاء.

3 - مجموعة الفواكه: وهذه المجموعة مصدر للفيتامينات والعناصر المعدنية والألياف. ومن أهم التوصيات المجموعة التركيز على تناول الفواكه والتقليل من تناول عصير الفاكهة.

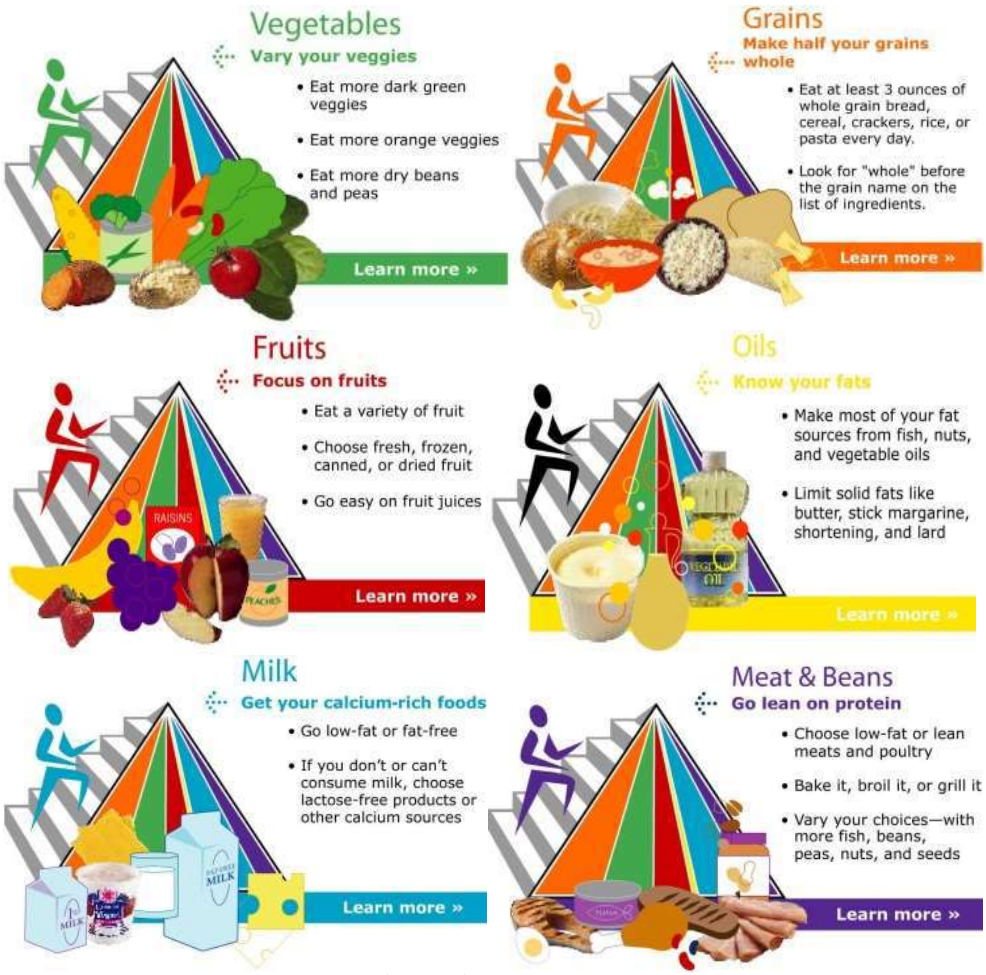
4 - مجموعة الزيوت والدهون: وهذه المجموعة مصدر للأحماض الدهنية الأساسية والفيتناميات الذائبة في الدهن. ومن أهم التوصيات لهذه المجموعة الحصول على القدر الأكبر من الحصة الغذائية لهذه المجموعة من الأسماك والمكسرات والزيوت النباتية، والحرص على تجنب الدهون المشبعة الصلبة.

5 - مجموعة الحليب ومنتجاته: وهذه المجموعة مصدر للبروتينات والفيتامينات والعناصر المعدنية وعلى الأخص الكالسيوم. ومن أهم التوصيات لهذه المجموعة الحرص على اختيار منتجات الألبان خالية أو منخفضة الدهن، وعند إصابة الشخص بحالة عدم تحمل اللاكتوز فيتم استبدال الحليب ومنتجاته الحاوية على اللاكتوز بالزبادي أو الجبن أو بعض المواد الغذائية الأخرى الغنية بالكالسيوم مثل السمسم والصويا.

6 - مجموعة اللحوم والبقوليات: وهذه المجموعة تعد مصدر رئيس للبروتينات وبعض الفيتامينات والعناصر المعدنية. ومن أهم التوصيات لهذه المجموعة التنوع في تناول البروتينات من عدة مصادر نباتية وحيوانية، واختيار اللحوم قليلة الدهن، وأيضاً الحرص على اختيار طرق الطهي الصحية كالطهي بالبخار في المقام الأول أو السلق أو الشوي.

النشاط البدني في هرمي:

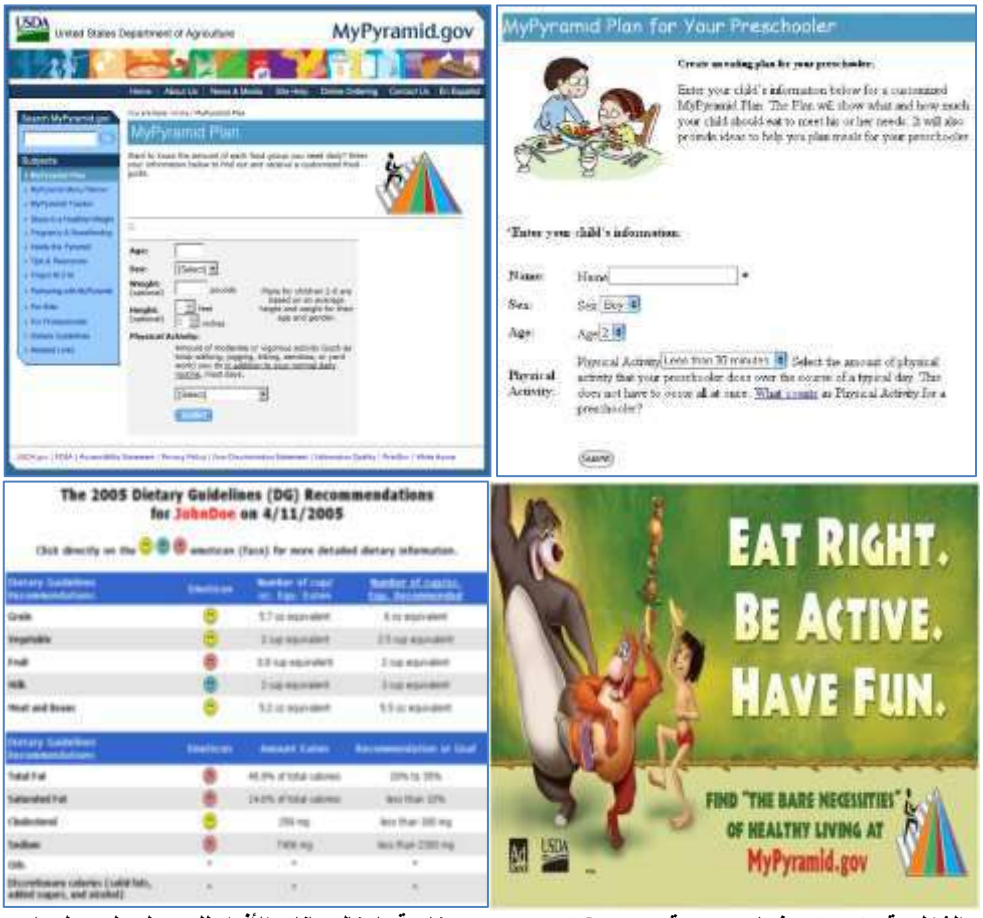
يهدف الهرم الغذائي الجديد (هرمي MyPyramid) إلى إيجاد توازن بين الغذاء المتناول والنشاط البدني المبذول، فكلما زادت كمية الغذاء المتناول والسعرات الحرارية المستهلكة كلما زادت الحاجة لنشاط بدني أكبر، حيث يوصى بالقيام نشاط بدني للحفاظ على صحة جيدة يومياً أو في معظم أيام الأسبوع لمدة 30 دقيقة على الأقل، وترتفع الفترة لمدة 60 دقيقة عند القيام بخفض الوزن أو منع زيادة الوزن مع التقدم بالعمر، وتتراوح المدة اللازمة للمحافظة على الوزن المثالي للجسم عند الأطفال والمراهقين من 60 إلى 30 دقيقة.



الشكل رقم (169) يوضح المجموعات الغذائية المختلفة في هرمي MyPyramid.

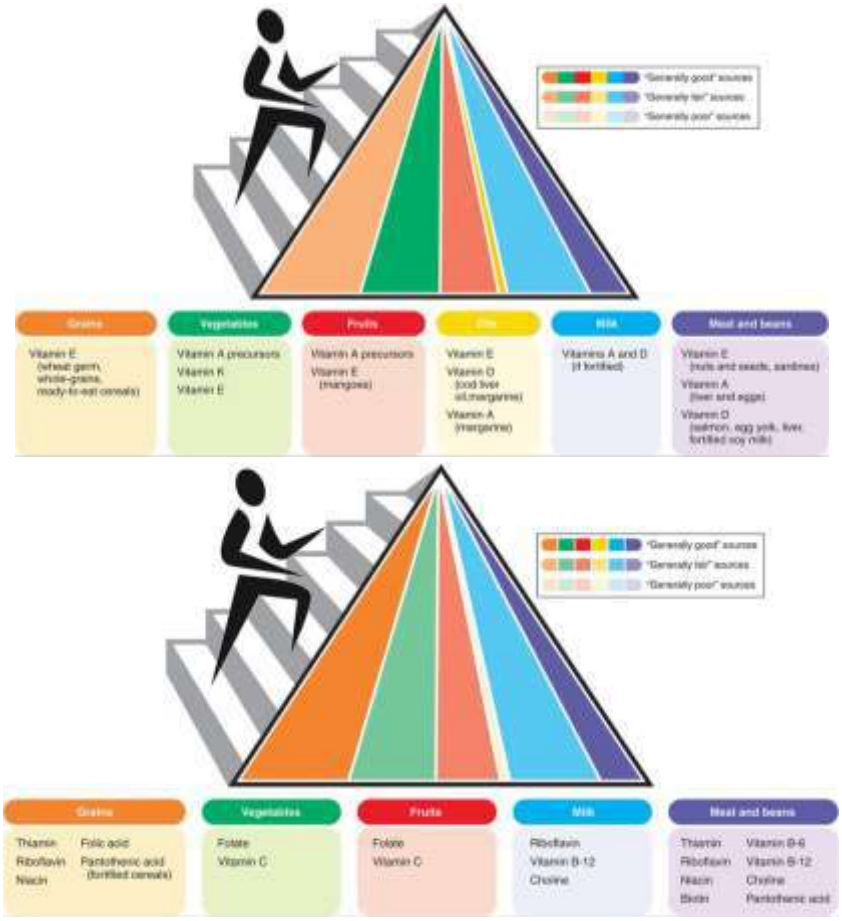
الشكل رقم (170) النشاط البدني في هرمي MyPyramid.

ويتيح الهرم الغذائي (من خلال موقعه على الإنترنت) للأفراد إدخال بياناتهم المتعلقة بالنوع (ذكر أم أنثى) وكذلك العمر والوزن والطول ومستوى النشاط البدني اليومي للتعرف على احتياجاتهم وحصصهم اليومية من المجموعات الغذائية المذكورة أعلاه استناداً إلى تلك العوامل (النوع، العمر، الوزن، الطول، ومستوى النشاط البدني)، والشكل التالي يوضح صفحة هذا الموقع الخاصة بإدخال تلك البيانات والصفحات التالية التي تقدم للفرد احتياجاته وحصصه اليومية من المجموعات الغذائية وبعض الإرشادات والنصائح المهمة.

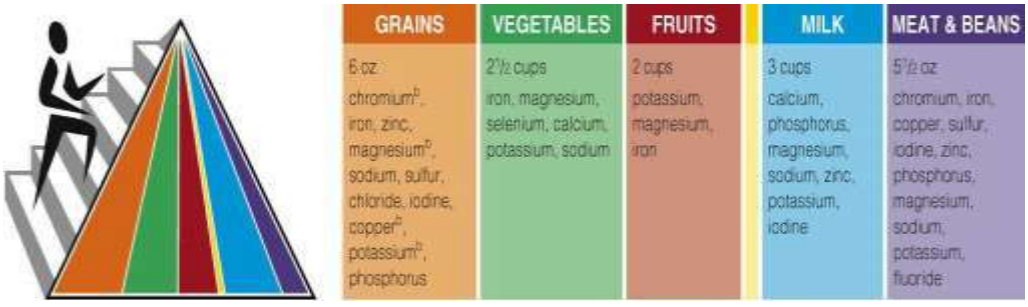


الشكل رقم (171) صفحات من موقع هرمي MyPyramid خاصة بإدخال بيانات الأفراد للحصول على معلومات حول احتياجاتهم وحصصهم اليومية من المجموعات الغذائية وبعض الإرشادات والنصائح المهمة.

وقد عمدت الكثير من المراجع المتخصصة في علم التغذية إلى اعتماد الهرم الجديد (هرمي MyPyramid) كوسيلة لتوضيح العديد من الحقائق التغذوية كتوضيح محتوى المجاميع الغذائية المختلفة من الفيتامينات والعناصر المعدنية أو عدد وحجم الحصص التي يجب تناولها من هذه المجاميع...الخ وهذا ما توضحه الأشكال التالية:

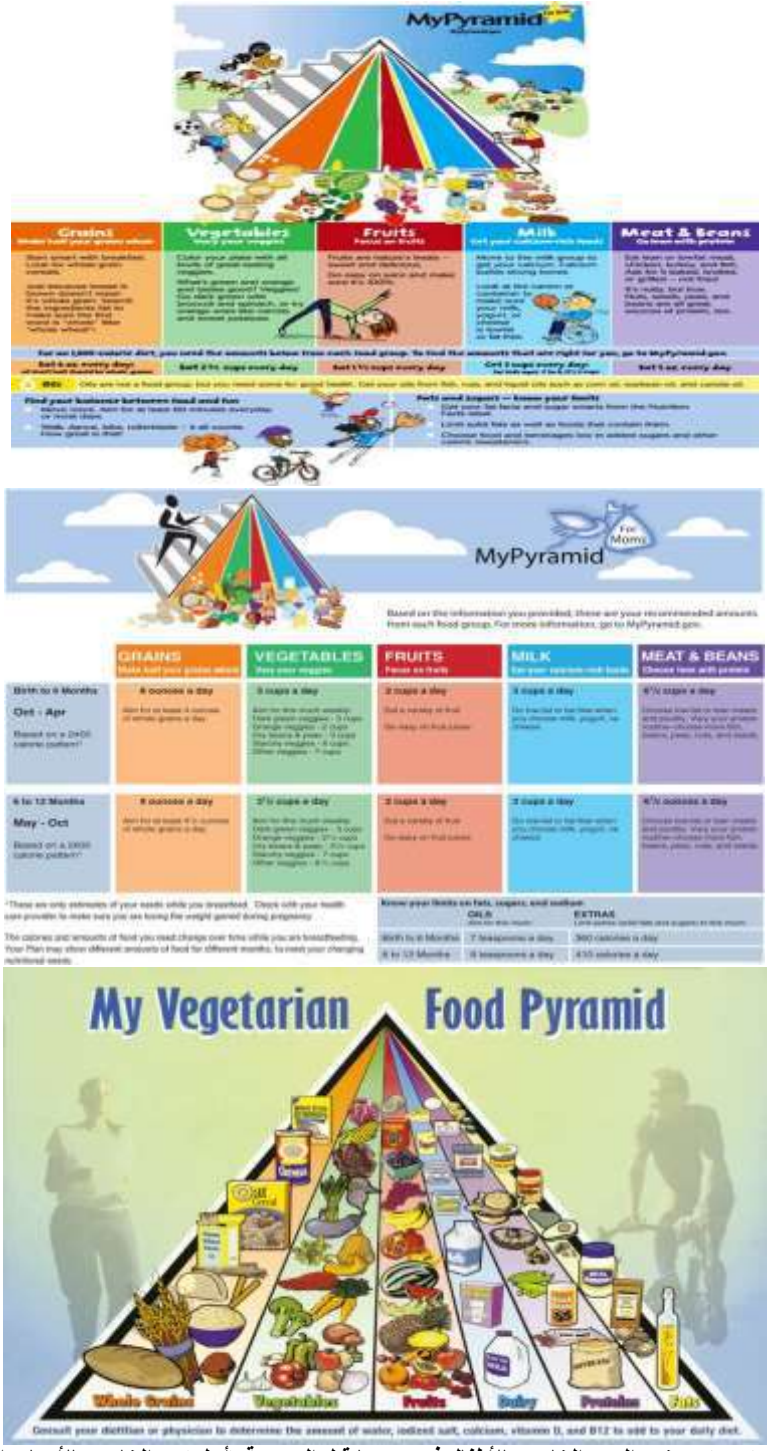


الشكل رقم (172) يوضح محتوى المجاميع الغذائية المختلفة في الهرم الجديد من الفيتامينات الذائبة في الدهن (أعلى)، والفيتامينات الذائبة في الماء (أسفل)، عن (Schiff and Wardlaw, 2008).



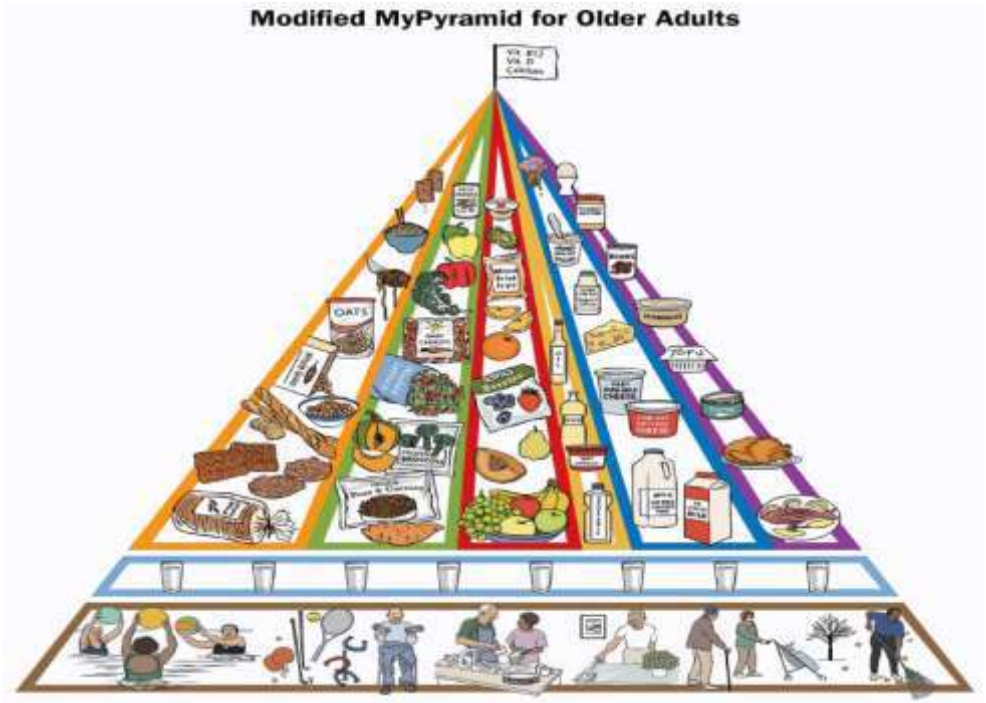
الشكل رقم (173) يوضح محتوى المجاميع الغذائية المختلفة في الهرم الجديد من العناصر المعدنية، والحصص التي يجب تناولها من هذه المجاميع، عن (Boyle and Long, 2007).

وقد اقتُبس من هذا الهرم العديد من الوسائل الإيضاحية (الأهرامات الأخرى) للفئات العمرية المختلفة مثل الهرم الخاص بالأطفال في سن ما قبل المدرسة والهرم الخاص بالأمهات المرضعات وكذلك الهرم الخاص بالنباتيين....الخ، وهذا ما يوضحه الشكل التالي:



الشكل رقم (174) يوضح الهرم الخاص بالأطفال في سن ما قبل المدرسة (أعلى)، والخاص بالأمهات المرضعات (وسط)، والخاص بالنباتيين (أسفل).

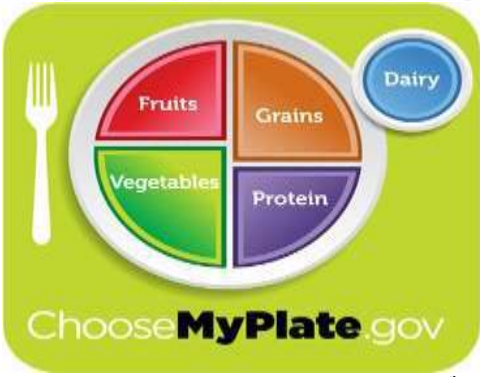
كما اقتُبس من هذا الهرم في أواخر عام 2007م هرم جديد سُمي الهرم الغذائي المعدل لكبار السن Modified Food Pyramid for Older Adults، وقد قدم هذا الهرم إرشادات بطريقة مُبسطة لكبار السن الذين قد يجدوا بعض الصعوبات في الحصول على المعلومات من خلال الإنترنت، كما قدم مقترحات لمجموعة من الأغذية من ناحية الكمية الكلية في اليوم، هذه المقترحات مصحوبة بنصائح عن كيفية الوصول للهدف الموصى به.



الشكل رقم (175) يوضح الهرم الغذائي المعدل لكبار السن Modified Food Pyramid for Older Adults.

إن قاعدة هذا الهرم تشير إلى صور لمجموعة متنوعة من الأنشطة والتي تؤكد ضرورة التمارين و الأنشطة المنتظمة لكبار السن، تعلوها صور لثمانية أكواب من الماء لتذكير كبار السن بضرورة المحافظة على تناول السوائل والمياه لتجنب الجفاف، وفي أعلى قمة الهرم يوجد عَلَم يذكر باحتمال احتياج كبار السن إلى كميات إضافية من الكالسيوم و فيتامين D و B_{12} على هيئة مكملات نتيجة زيادة الاحتياج لهذه العناصر مع تقدم العمر، كما قدم هذا الهرم مقترحات لكل مجموعة من مجاميع الأغذية من ناحية الكمية الكلية في اليوم (مع التركيز في كل مجموعة على الأغذية الغنية بالفيتامينات والمعادن والمواد المغذية الأخرى حتى لا تؤثر نقص كمية الغذاء المتناول من قِبل كبار السن على النسب الضرورية من هذه المغذيات الدقيقة، كما تم التركيز على وفرة الألياف في هذه الأغذية المقترحة لضمان حركة الأمعاء بصورة جيدة وعدم التسبب في أي مشاكل بالهضم) وذلك من خلال إرشادات مُقدمة بطريقة مُبسطة وواضحة.

ونتيجة لكل ما سبق فقد وجد العديد من أخصائي التغذية في هرمي (MyPyramid) ضالتهم المنشودة فهو يقدم مفاهيم غذائية في غاية الأهمية وذلك لتحقيق مبادى الوجبة الغذائية الصحية التي تحدثنا عنها، إلا أن هذا الهرم كان معقدا بعض الشيء للجمهور غير المتخصص (وهم المستهدفون الفعليون من هذه الخدمة) وبذلك لم يسترعي انتباه ذلك الجمهور ولم يحقق التواصل معهم، ونتيجة لذلك فقد قامت وزارة الزراعة الأمريكية في بداية شهر يونيو 2011م باستبدال أيقونة ذلك الهرم بأيقونة جديدة أكثر سهولة أطلق عليها اسم (طبقي MyPlate) كما تغير اسم الموقع من www.MyPyramid.gov إلى www.choosemyplate.gov، والشكل التالي يوضح صفحة هذا الموقع على شبكة الإنترنت والأيقونة الجديدة.



الشكل رقم (176) يوضح صفحة الموقع الإلكتروني www.choosemyplate.gov على شبكة الإنترنت (أعلى)، والأيقونة الجديدة MyPlate (أسفل).

والأيقونة الجديدة (طبقي MyPlate) هي عبارة عن طبق مقسم الي اربعة أجزاء ملونة أخضر يرمز لمجموعة الخضروات، وأحمر يرمز لمجموعة الفواكه، وبرتقالي يرمز لمجموعة الحبوب، وبنفسجي يرمز لمجموعة الأغذية البروتينية (بحيث تشكل مجموعتي الخضروات والفواكه نصف ذلك الطبق مع ملاحظة أن الجزء الأكبر لمجموعة الخضروات، في حين تشكل مجموعتي الحبوب والأغذية البروتينية النصف الأخر مع ملاحظة أن الجزء الأكبر لمجموعة الحبوب)، وبجانب هذا الطبق توجد دائرة زرقاء ترمز لكوب من الحليب أو الزبادي أو أي من منتجات الألبان الأخرى (مجموعة الحليب ومنتجات الألبان)، وهذه الرمزية دلالة على حجم الحصص المكونة للوجبة اليومية من هذه المجاميع الغذائية.

والموقع www.choosemyplate.gov موجه بالمقام الأول للمجتمع الأمريكي الذي الكثير من أفراده من مشاكل تغذوية تتمثل في البدانة (السمنة) نتيجة لزيادة السعرات الحرارية المتناولة والتي تفوق حاجة الفرد، كما يتميز أفراد هذا المجتمع بالإقبال على تناول الأغذية المصنعة والوجبات السريعة مما يجعلهم يعانون من ارتفاع ضغط الدم، وكذلك ارتفاع نسبة الكولسترول نتيجة تناولهم لهذه الأغذية، وعزوفهم عن تناول الخضروات والفواكه والحبوب الكاملة، لذلك فقد حاول الموقع أن يقدم معالجات واقعية لهذه المشاكل.

وقد أحتوى الموقع على العديد من الصور والأشكال التوضيحية للمواد الغذائية التي تنتمي لكل مجموعة من مجاميع الأغذية (ويمكن للقارئ العودة للموقع للاطلاع على المزيد من المعلومات)، كما اشتمل الموقع على العديد من التلميحات والتوصيات الغذائية المهمة وصلت (حتى الأن) إلى 370 توصية ومعلومة موضوعة ضمن سبعة وثلاثون موضوعاً (بواقع عشر تلميحات Ten Tips) في كل موضوع، وهذه الموضوعات هي:

1. **اختار طبقي Choose MyPlate: ويقدم عشر تلميحات أو توصيات لكيفية جعل أطباق الوجبة اليومية أكثر صحية.**
2. **أضف المزيد من الخضروات في يومك Add More Vegetables to Your Day: ويقدم عشر تلميحات أو توصيات تفصيلية للاستمتاع بأكل المزيد من الخضروات.**
3. **ركز على الفواكه Focus on Fruits: ويقدم عشر تلميحات أو توصيات تفصيلية لتناول المزيد من الفواكه.**
4. **اجعل نصف ما تتناوله من الحبوب الكاملة make half your grains whole grains: ويقدم عشر تلميحات أو توصيات تفصيلية لتناول المزيد من الحبوب الكاملة ومنتجاتها.**
5. **هل حصلت على حصتك من منتجات الألبان اليوم؟ Got Your Dairy Today?: ويقدم عشر توصيات تفصيلية لتناول المزيد من منتجات الألبان خالية أو منخفضة الدهن.**

6 – التنوع هو مفتاح تناول الأغذية البروتينية With Protein Foods, Variety Is Key: ويقدم عشر تلميحات أو توصيات تفصيلية لاختيار الأغذية البروتينية.

7 – بناء وجبة صحية Build a Healthy Meal: ويقدم عشر تلميحات أو توصيات تفصيلية لاختيار الوجبات الصحية.

8 – الأكل الصحي للنباتيين Healthy Eating for Vegetarians: ويقدم عشر تلميحات أو توصيات تفصيلية لاختيار وجبات صحية للأشخاص النباتيين.

9 – تسوق الخضروات والفواكه بذكاء Smart Shopping for Veggies and Fruits: ويقدم عشر تلميحات أو توصيات تفصيلية لشراء الخضروات والفواكه بأقل كلفة ممكنة.

10 – اجعل وجبتك أكثر مرحاً بالخضروات والفواكه Liven up Your Meals with Vegetables and Fruits: ويقدم عشر تلميحات أو توصيات تفصيلية لتحسين جودة الوجبة اليومية بإضافة المزيد الخضروات والفواكه.

11 – طفل محب للخضروات والفواكه Kid-Friendly Veggies and Fruits: ويقدم عشر توصيات تفصيلية لجعل الأكل الصحي الحاوي على الخضروات والفواكه أكثر إمتاعاً لطفلك.

12 – كن قدوة لطفلك Be a Healthy Role Model for Children: ويقدم عشر تلميحات أو توصيات تفصيلية لتكون قدوة جيدة لطفلك فيما يتعلق بالعادات الغذائية الصحية.

13 – قلل من اعطاء طفلك الحلوى Cut Back on Your Kid's Sweet Treats: ويقدم عشر تلميحات أو توصيات تفصيلية للتقليل من السكر المضاف في غذاء طفلك.

14 – الملح والصوديوم Salt and Sodium: ويقدم عشر تلميحات أو توصيات تفصيلية للتقليل من الملح والصوديوم في غذائك اليومي.

<u>ومن الموضوعات الجديدة ما يلي:</u>

15 – تناول الأغذية البحرية مرتين اسبوعياً Eat Seafood Twice a Week.

16 – تناول غذائك بشكل أفضل على الميزانية Eating Better on a Budget.

17 – استعمل مرشداً ممتازاً لطريقك Use Super Tracker Your Way.

18 – استمتع بطعامك لكن كل أقل Enjoy Your Food, But Eat Less.

19 – اختار أفضل خيار للمشروبات Make Better Beverage Choices.

20 – اجعل احتفالاتك مرح، صحة ونشاط Make Celebrations Fun, Healthy & Active.

21 – في يومك الدراسي احصل على الأصح The School Day Just Got Healthier.

22 – اختار أغذية الحبوب الكاملة Choosing Whole-Grain Foods.

23 – اجعل الغذاء آمن Be Food Safe.

24 – نصائح طبقي لوجبة خفيفة للوالدين MyPlate Snack Tips for Parents.

25 – أكل صحي لأسلوب حياة نشط Healthy Eating for an Active Lifestyle.

26 – احسن الاختيار في قاعة الطعام Be Choosy in the Dining Hall.

27 – رتب الثلاجة الصغيرة Mini-Fridge Makeover.

28 – ابقى لائقاً في الحرم الجامعي Stay Fit on Campus.

29 – كوني أسرة نشطة Be an Active Family.

30 – كن بالغاً نشطاً Be Active Adults.

31 – استمتع بالأغذية من مختلف الثقافات Enjoy Food from Many Cultures.

32 – اجعل خيارات الإجازة صحية Make Healthier Holiday Choices.

33 – صحة الرجال: الحصول على الحقائق لتشعر وتبدو أفضل Men's Health: Get the Facts to Feel and Look Better.

34 – المراهقون: اختار الأغذية التي تحتاجها للنمو Teen Guys: Choose the Foods You Need To Grow.

35 – صحة المرأة: اختاري أفضل الخيارات الغذائية Women's Health: Make Better Food Choices.

36 – المراهقات: كلي بذكاء وكوني نشطة وأنت تنمو Teen Girls: Eat Smart and Be Active As You Grow.

37 – وفر أكثر في البقالة Save More at the Grocery Store.

وكما اشرت سابقاً فقد وصلت هذه التلميحات والتوصيات الغذائية المهمة (حتى الأن) إلى 370 توصية ومعلومة ضمن الأربعة عشر موضوع المشار إليهم أعلاه، وبالرغم أنه من المستحيل ذكر هذه التوصيات جميعاً، فسوف نورد التوصيات الواردة ضمن الموضوع الأول (ويمكن للراغب في مزيد من الاطلاع العودة للموقع الإلكتروني www.choosemyplate.gov).

اختار طبقي Choose MyPlate:

ضمن هذا الموضوع (10 tips to a great plate) قدمت عشر نصائح لجعل طبقك أكثر ثراءً:

1 – وازن سعراتك الحرارية (balance calories): أحسب عدد السعرات الحرارية التي تحتاجها في اليوم كأهم خطوة للتحكم في وزنك، نشاطك البدني يمكنك من التحكم في توازن سعراتك الحرارية.

2 – استمتع بطعامك وأكُل كميات أقل (enjoy your food, but eat less): خذ وقتك بالكامل للاستمتاع بطعامك ولا تلتهمه بسرعة فالأكل السريع يؤدي إلى تناول كميات أكبر وسعرات حرارية أكثر، وانتبه لحالات جوعك وشبعك قبل وخلال وبعد تناول وجبتك، واعرف متى تتوقف عن الأكل (كُل بدون اسراف).

3 – تجنب الحصص الكبيرة من الطعام (avoid oversized portions): استعمل أوعية أصغر، وقسم (جزّء) طعامك قبل الأكل.

4 – الأغذية التي تؤكل كثيراً أغلب الأحيان (foods to eat more often): الخضروات والفواكه والحبوب الكاملة ومنتجات الألبان خالية أو منخفضة الدهن، مع الحرص على مصادر الكالسيوم والبوتاسيوم وفيتامين D والألياف، وجعل هذه الأغذية أساس لوجبات الطعام والوجبة الخفيفة.

5 – اجعل نصف طبقك من الفواكه والخضروات (make half your plate fruits and vegetables): أختر الخضروات الحمراء، البرتقالية والخضراء الغامقة مع بقية أصناف الخضروات في الوجبة، وأضف الفواكه إلى وجبتك كجزء من الطبق الرئيس أو الجانبي أو كتحلية.

6 – تحول إلى منتجات الألبان خالية أو منخفضة الدهن (switch to fat-free or low-fat milk): فهذه المنتجات تحتوي نفس نسبة الكالسيوم والمغذيات الأساسية الأخرى لكن محتواها أقل من السعرات الحرارية والدهون المشبعة.

7 – اجعل نصف ما تتناوله من الحبوب حبوب كاملة (make half your grains whole grains): كُل المزيد من الحبوب الكاملة واستبدل المنتجات المصنعة (المُنقّاة والمكررة) مثل الدقيق الأبيض بمنتجات الحبوب الكاملة مثل الرغيف المصنوع من الدقيق الكامل والأرز الأسمر بديلاً عن الأرز المبيض.

8 - الأغذية التي تؤكل بشكل أقل في أغلب الأحيان (foods to eat less often): قلل من تناول الأغذية الغنية بالدهون الصلبة والسكر المضاف والملح، وتناول مثل هذه الأغذية بشكل عرضي ونادر وليس بشكل يومي.

9 – قارن محتوى الصوديوم في الأغذية (compare sodium in foods): وأختر الأغذية المنخفضة في محتواها من الصوديوم.

10 – أروي عطشك بالماء بدلاً من تناول المشروبات المحلاة بالسكر (drink water instead of sugary drinks): قلل من السعرات الحرارية المتناولة بري عطشك بالماء أو المشروبات غير المحلاة، وتجنب تناول العصائر والمشروبات المحلاة بالسكر وكذلك المشروبات الغازية وما تسمى بمشروبات الطاقة، فجميعها مصادر رئيسة للسكر المضاف.

ونتيجة لأن العديد من أخصائي التغذية وجدوا في هرمي MyPyramid وسيلة مفيدة لتوضيح الكثير من المفاهيم والحقائق الغذائية، وهم حتى الأن لايزالون يستخدمون ذلك الهرم وأدواته كوسيلة لتوضيح هذه المعلومات والحقائق لمن يقدمون له استشاراتهم ونصائحهم الغذائية، حيث أن كثير من الأدوات والوسائل التعليمية للحقائق الغذائية متاحة (على الإنترنت) من خلال الدليل الغذائي هرمي MyPyramid، وهذه المواد التعليمية لاتزال على الموقع حتى بعد تحويله إلى الاسم الجديد (www.choosemyplate.gov)، في حين يهدف الدليل الغذائي طبقي MyPlate لتقدمي نظام أكثر سهولة في استخدامه لجمهور المستهلكين، ولذلك تنصح وزارة الزراعة الأمريكية (هؤلاء الأخصائيين) أن يستخدموا الدليلين معاً لتحقيق النجاح في نشر الثقافة الغذائية.

الشكل رقم (177) يوضح استخدام الدليل الغذائي هرمي MyPyramid والدليل الغذائي MyPlate (معاً)، عن www.choosemyplate.gov.

وفي ختام هذا الفصل لا يفوتني هنا أن أتوجه بالشكر لكل المتخصصين في مجال التغذية (وأغلبهم من الشباب) الذين يسهمون في نشر الثقافة الغذائية على الإنترنت من خلال مواقعهم ومنتدياتهم التي يؤسسونها ويقدمون فيه هذه الثقافة خدمة للمواطن العربي، لكني أتمنى أن يكون هناك موقع عربي شبيه بالموقع www.choosemyplate.gov، تتضافر فيه جهود المتخصصين في مجال تغذية الإنسان مع إمكانيات الحكومات، ليقدم للمجتمع العربي الثقافة والنصح في مجال التغذية ويعالج المشاكل الغذائية التي يعاني منها المواطن العربي، لذا فأنا أعتبر هذه دعوة صريحة لكل من يهمه الأمر (وعلى الأخص الحكومات بما تمتلكه من موارد مادية وبشرية) للإسهام في هذا العمل المفيد للمجتمع العربي.

الفصل الحادي عشر

التغذية خلال فترة الحياة Nutrition Through Life Span

يمر الإنسان خلال فترة حياته بالمراحل التالية:

1 - المرحلة الجنينية Fetal Stage: وهي المرحلة الممتدة من لحظة الاخصاب إلى لحظة الولادة، وفيها يكون تغذية الجنين عن طريق العناية بتغذية الأم قبل وخلال مرحلة الحمل.

2 - مرحلة الرضاعة Infancy Stage: تمد هذه المرحلة من لحظة الولادة حتى نهاية العامين من عمر الطفل.

3 - مرحلة ما قبل المدرسة Preschool Stage: تمد هذه المرحلة من نهاية مرحلة الرضاعة Infancy Stage وحتى السنة الخامسة من عمر الطفل.

4 - مرحلة المدرسة School Stage: تمد هذه المرحلة من السنة السادسة من عمر الطفل وحتى بداية مرحلة المراهقة Adolescence Stage.

5 - مرحلة المراهقة Adolescence Stage: تبدأ هذه المرحلة عند الفتيان غالباً في سن تتراوح بين 12 إلى 15 سنة أما عند الفتيات فتتراوح بداية سن المراهقة بين 10 إلى 12 سنة.

6 - مرحلة البالغين Adult Stage: تمد هذه المرحلة من نهاية مرحلة المراهقة Adolescence Stage وحتى بداية مرحلة الشيخوخة Aging Stage.

7 - مرحلة الشيخوخة Aging Stage: هي المرحلة الأخيرة من مراحل حياة الإنسان وتحتاج هذه المرحلة إلى عناية خاصة.

وتختلف الاحتياجات الغذائية للإنسان حسب مراحل النمو والتطور في حياته، فالتغذية في مراحل الطفولة المبكرة لها تأثير مهم طويل المدى على صحة الفرد طول حياته، بسبب أنه خلال هذه الفترة يحدث النمو بسرعة أكبر من أي فترة زمنية أخرى، وخلال مراحل الطفولة المتأخرة يستمر نمو الإنسان لكن بوتيرة أبطء وهنا بكل تأكيد تختلف الاحتياجات الغذائية (فتبدأ الأمهات بالقلق حول طبيعة تناول أطفالهن للطعام)، ثم تعود وتيرة النمو للتسارع من جديد خلال مرحلة المراهقة حيث تحدث كثير من التغيرات في جسم الإنسان، لتعود وتيرة النمو للتباطؤ مرة أخرى خلال مرحلتي البلوغ والشيخوخة، وهنا سوف نستعرض سوياً وباختصار (حيث أن موضوع مثل ذلك تفرد له مؤلفات بكاملها) أهم ملامح تغذية الإنسان خلال فترة حياته.

تغذية الإنسان خلال المرحلة الجنينية Fetal Stage:

سبقت الإشارة إلى أن التغذية خلال هذه المرحلة تكون عن طريق العناية بتغذية الأم قبل وخلال مراحل الحمل، وغذاء الأم الحامل يشكل أهمية كبرى بالنسبة لكل من الطفل وأمه، فالتغذية الجيدة للأم الحامل تهدف إلى المحافظة على صحتها وزيادة قدرتها على التغلب على التغيرات الفسيولوجية بما تشمله من تغيرات في تكوين جسم الأم الحامل وزيادة وزنها أثناء الحمل، وكذلك التغيرات الهرمونية التي تحدث خلال تلك الفترة، حيث تفرز عدد من الهرمونات تصل إلى حدود 30 نوع من الهرمونات تنتج لضمان استمرارية والمحافظة على الحمل، بعضها يساعد على غرس اللاقحة في جدار الرحم، وبعضها يحفز نمو الغدد البنيه، وبعضها يساعد على تمدد الرحم ونموه بصوره لتتوافق مع نمو الجنين، وبعضها يساعد في تنظيم واستمرار نمو الجنين....الخ، ويتأثر انتاج تلك الهرمونات بالحالة الصحية والغذائية للأم.

كما تهدف التغذية الجيدة للأم الحامل أيضاً إلى زيادة قدرتها على مواجهة المشكلات الصحية المحتمل حدوثها في تلك المرحلة المهمة، إضافة إلى توفير العناصر الغذائية الضرورية لتطور الجنين واستمرار ونجاح الحمل وولادة مواليد ذو وزن طبيعي وصحة جيدة. فحاجة الجنين للعناصر الغذائية، وتخزين هذه العناصر في أنسجة الأم الحامل لاستعمالها أثناء الإرضاع، إضافة لحاجة النمو للحامل صغيرة السن، جميعها أمور تحتم زيادة كمية المتناولة من الغذاء وما يحتويه من عناصر غذائية خلال فترة الحمل.

أن عدم الاهتمام بتغذية الأم الحامل وخصوصاً الصغيرة في السن يؤدي إلى حدوث حالة من سوء تغذية، حيث يحدث تنافس بين الام والجنين على الاحتياجات الغذائية مما يؤدي إلى استنزاف المخزون الداخلي لدى الأم الحامل من العناصر الغذائية ويعرضها الى الاصابة بالأمراض المتعلقة بسوء التغذية. كما أن ذلك يؤدي أيضاً إلى عدم نمو المشيمة بشكل متكامل متسبباً بعدم وصول العناصر الغذائية بالكميات المناسبة للجنين مما يؤدي الى احتمالية كبيرة جدا لولادة طفل بحجم صغير واحتمالية وجود عيوب خلقية أو الإجهاض ولادة طفل ميت.

أن فترة الحمل الكاملة لا تقل عن 37 اسبوع (فإذا قلّت هذه الفترة يعتبر المولود خَديج "جمعها خُدَّج" أو مُبْتَسَر) ولا يقل وزن المولود عن 2.5 كيلوجرام (فإذا كان أقل فإن المولود يعتبر ناقص الوزن)، وتقسم فترة الحمل إلى ثلاثة مراحل هي:

- الثلث الأول من الحمل: ويمتد حتى الأسبوع الثالث عشر من الحمل.
- الثلث الثاني من الحمل: ويمتد من الأسبوع الثالث عشر وحتى الأسبوع السادس والعشرون.
- الثلث الثالث من الحمل: ويمتد من الأسبوع السادس والعشرون حتى الأسبوع الأربعين.

وخلال هذه المراحل تحدث العديد من التغيرات الحيوية والفسيولوجية سوء للجنين، وهذا ما

توضحه الآيات الكريمات من سورة المؤمنون، قال تعالى في محكم كتابه العزيز، بسم الله الرحمن الرحيم ﴿ وَلَقَدْ خَلَقْنَا الْإِنسَانَ مِن سُلَالَةٍ مِّن طِينٍ{12} ثُمَّ جَعَلْنَاهُ نُطْفَةً فِي قَرَارٍ مَّكِينٍ{13} ثُمَّ خَلَقْنَا النُّطْفَةَ عَلَقَةً فَخَلَقْنَا الْعَلَقَةَ مُضْغَةً فَخَلَقْنَا الْمُضْغَةَ عِظَاماً فَكَسَوْنَا الْعِظَامَ لَحْماً ثُمَّ أَنشَأْنَاهُ خَلْقاً آخَرَ فَتَبَارَكَ اللَّهُ أَحْسَنُ الْخَالِقِينَ{14}﴾ صدق الله العظيم [المؤمنون: 12 - 14]، أو تلك التي تحدث في جسم الأم الحامل والمتمثلة في الزيادة في حجم الرحم، والمشيمة التي تمد الجنين بالطعام والأكسجين وتسحب الفضلات الناتجة عن الجنين وتنتج الهورمونات التي تحافظ على الحمل وتنظم نمو الجنين، وكذلك السائل الأمينيوسي المحيط بالجنين في الرحم، والزيادة في أنسجة الثدي وحجم الدم والزيادة في الدهن المخزون في أنسجة الأم الحامل. ونتيجة لكل هذه التغيرات الحيوية والفسيولوجية للأم والجنين، يزداد وزن الأم الحامل خلال فترة الحمل بحدود 12 – 16 كيلوجرام في حال ما إذا كان وزن هذه الأم الحامل قبل فترة الحمل في حدوده المثلى.

والجدول التالي يوضح الزيادة (التقريبية) في وزن الأم الحامل (ذات الوزن المثالي قبل الحمل) خلال فترة الحمل ومصدر هذه الزيادة، علماً بأن هذه الزيادة تختلف من حامل لأخرى.

جدول رقم (26): الزيادة (التقريبية) في وزن الأم الحامل خلال فترة الحمل، ومصدر هذه الزيادة*

مصدر الزيادة	الوزن (كجم)
وزن الجنين عند الولادة (تقريباً)	3.40
وزن المشيمة	0.68
الزيادة في حجم الدم لتغذية الجنين	1.82
السائل الأمينيوسي المحيط بالجنين	0.91
الزيادة في حجم السوائل في جسم الأم	1.82
الزيادة في وزن الرحم	0.91
الزيادة في وزن أنسجة الثدي	0.91
الزيادة في وزن الدهن المخزن في أنسجة الأم	3.20
المجموع	13.65

* مقتبس عن (Whitney and Rolfes, 2008).

وعلى وجه العموم لا يجب أن تكون هذه الزيادة (الطبيعية) في الوزن متساوية عند كل الأمهات الحوامل ولكن يجب أن تتناسب هذه الزيادة مع وزن الأم قبل الحمل، فإذا كانت الأم قبل الحمل نحيفة تكون هذه الزيادة أكبر من لو كانت الأم قبل الحمل تعاني من البدانة. ولحساب نسبة هذه الزيادة بدقة يجب أن ننسبها إلى مقياس يعرف بـ (مُؤشِّر كتلة الجسم Body mass index)

والذي يرمز إليه اختصاراً بـ BMI، وهو دليل جيد لمعرفة ما إذا كان وزن الإنسان طبيعي أو خارج الحدود الطبيعية، ويتم حسابه من خلال المعادلة التالية:

$$\text{مُؤشِّر كتلة الجسم BMI} = \frac{\text{وزن الجسم بالكيلوجرام}}{(\text{الطول بالمتر})^2}$$

وعند تطبيق هذه المعادلة نحصل على رقم معين، ولهذا الرقم دلالة لمعرفة هل وزن الإنسان يتناسب مع طوله وتكون كتلة الجسم ضمن الحدود الطبيعية أم لا، ووفقاً لمنظمة الصحة العالمية WHO يفسر الرقم الناتج عن حساب مؤشر كتلة الجسم BMI على النحو التالي:

- إذا كان الناتج أقل من 18,5 فهذا يعني أن الشخص يعاني من نقص في الوزن.
- إذا كان الناتج بين 18,5 و 24,9 فهذا يعني أن وزن الشخص صحي وفي حدوده المقبولة.
- إذا كان الناتج بين 25 و 29,9 فهذا يعني أن الشخص يعاني من زيادة في الوزن.
- إذا كان الناتج بين 30 و 39,9 فهذا يعني أن الشخص يعاني من البدانة.
- إذا كان الناتج أكبر من 40 فهذا يعني أن الشخص يعاني من بدانة مرضية.

إذا كان مُؤشِّر كتلة الجسم BMI لدى الأم قبل الحمل أقل من 18,5 فعند ذلك يجب أن تكون الزيادة في وزن الأم الحامل خلال مرحلة الحمل بمعدل يتراوح بين 12,5 و 18,0 كيلوجرام، أما إذا كان مُؤشِّر كتلة الجسم BMI لدى الأم قبل الحمل بين 18,5 و 24,9 فعند ذلك تكون الزيادة في وزن الأم الحامل خلال مرحلة الحمل بمعدل يتراوح بين 11,5 و 16,0 كيلوجرام، أما إذا كان مُؤشِّر كتلة الجسم BMI لدى الأم قبل الحمل بين 25 و 29,9 فعند ذلك تكون الزيادة في وزن الأم الحامل خلال مرحلة الحمل بمعدل يتراوح بين 7 و 11,5 كيلوجرام، وفي حالة ما إذا كان مُؤشِّر كتلة الجسم BMI لدى الأم قبل الحمل أعلى من 30 فعند ذلك يجب أن لا تتجاوز الزيادة في وزن الأم الحامل خلال مرحلة الحمل 6,8 كيلوجرام، وهذا ما يوضحه الجدول التالي:

جدول رقم (27): مُؤشِّر كتلة الجسم BMI للأم قبل الحمل، والزيادة الكلية الموصى بها في وزن جسمها، وكذلك معدل الزيادة في الوزن اسبوعياً*

مُؤشِّر كتلة الجسم BMI للأم الحامل قبل مرحلة الحمل	الزيادة الكلية في وزن الجسم
BMI أقل من 18,5	12,5 إلى 18,0 كيلوجرام
BMI بين 18,5 و 24,9	11,5 إلى 16,0 كيلوجرام
BMI بين 25 و 29,9	7 إلى 11,5 كيلوجرام
BMI أعلى من 30	6,8 كيلوجرام

* مقتبس عن (Whitney and Rolfes, 2008).

إن الزيادة في الوزن تكون بمعدل يتراوح بين 0,5 إلى 1,82 كيلوجرام (إجمالاً) خلال الثلث الأول الحمل، وبمعدل يتراوح بين 0,91 إلى 1,82 كيلوجرام (شهرياً) خلال الثلث الثاني والثالث من الحمل وذلك وفقاً لمُؤشِّر كتلة الجسم BMI للأم الحامل قبل الحمل (بحيث تكون ضمن المعدلات المذكورة في الجدول أعلاه)، ونتيجة لهذه الزيادة في الوزن وتطور مراحل الحمل وتكون الخلايا الجديدة لكل من الأم الحامل والجنين (كما يتضح من الشكل التالي) فإن ذلك يستدعي وبكل تأكيد زيادة المخصصات لكثير من العناصر الغذائية وكذلك السعرات الحرارية اللازمة لعمليات الأيض.

الشكل رقم (178) يوضح تطور مراحل الحمل.

احتياجات الأم الحامل من السعرات الحرارية والعناصر الغذائية:

اولاً - السعرات الحرارية:

يوضح لنا الجدول رقم (25) في صفحة (270) والخاص بمتطلبات الطاقة المقدرة (EER) والمخصصات الموصى بها يومياً (RDA) والمقدار الملائم المأخوذ (AI) من العناصر الغذائية للفئات العمرية المختلفة، أنه لا توجد زيادة في الاحتياجات من السعرات الحرارية خلال الثلث الأول من الحمل، لكن خلال الثلث الثاني من الحمل تزداد الاحتياجات من السعرات الحرارية بواقع 340 سُعر حراري يومياً للأم الحامل خلال هذه الفترة عما كانت عليه المتطلبات من السعرات الحرارية في الفترة السابقة للحمل، وخلال الثلث الثالث من الحمل تصل الزيادة في الاحتياجات من السعرات الحرارية إلى حدود 452 سُعر حراري يومياً، ويجب الحرص على أخذ هذه السعرات الحرارية للمساعدة على ادخار البروتين لأغراض البناء والنمو.

ثانياً - الاحتياجات من البروتينات:

يتضح لنا من خلال الجدول رقم (25) زيادة الاحتياجات من البروتينات للأم الحامل (خلال فترة الحمل) بواقع 25 جرام (تقريباً) من البروتينات عالية القيمة الحيوية يومياً زيادة عن احتياجاتها من البروتينات في الفترة السابقة للحمل، كما يمكن حساب احتياجات البروتينات للأم الحامل حسب التوصيات بواقع 1,1 جرام من البروتين لكل كيلوجرام من وزن الجسم يومياً، مقابل 0,8 جرام من البروتين لكل كيلوجرام من وزن الجسم يومياً في الفترة التي تسبق الحمل.

ثالثاً - الاحتياجات من العناصر الغذائية الكبرى الأخرى:

من الجدول رقم (25) يتضح لنا زيادة الاحتياجات من العناصر الغذائية الكبرى الأخرى بشكل عام للأم الحامل (خلال فترة الحمل) حيث يوصى بزيادة مخصصات الكربوهيدرات إلى 175 جرام، والألياف الغذائية إلى 28 جرام، وحامض اللينوليك Linoleic (ω 6) إلى 13 جرام،

وحامض اللينولينيك α-Linolenic (ω 3) إلى 1,4 جرام، مقارنة بـ 130 جرام، و 21 جرام، و 12 جرام، و 1,1 جرام، من نفس العناصر الغذائية (على التوالي) في الفترة قبل مراحل الحمل.

رابعاً - الاحتياجات من الفيتامينات:

إن الجدول رقم (21) المذكور في صفحة (226) والخاص بالمخصصات الموصى بها يومياً (RDA) والمقدار الملائم المأخوذ (AI) من الفيتامينات للفئات العمرية المختلفة، يوضح لنا زيادة الاحتياجات الموصى بها من جميع الفيتامينات بشكل عام للأم الحامل خلال فترة الحمل وعلى الأخص حامض الفوليك الضروري لانقسام الخلايا مما يجعل حاجة الجنين إليه كبيرة.

وبشكل عام يوصى بزيادة مخصصات الثيامين (B_1) والريبوفلافين (B_2) إلى 1,4 مليجرام، والنياسين (B_3) إلى 18 مليجرام، والبيريدوكسين (B_6) إلى 1,9 مليجرام، والكوبال أمين (B_{12}) إلى 2,6 ميكروجرام، وحامض الفوليك إلى 600 ميكروجرام، وفيتامين C إلى 85 مليجرام وكذلك فيتامين A إلى 770 مليجرام، مقارنة بـ 1,1 مليجرام، و 14 مليجرام، و 1,3 مليجرام، و 2,4 ميكروجرام، و 400 ميكروجرام، و 75 مليجرام و 700 مليجرام من نفس الفيتامينات (على التوالي) في الفترة قبل مراحل الحمل، ولا توجد أي زيادات في مخصصات فيتامينات E و K والبيوتين وحامض البانتوثنيك.

أن جميع هذه الفيتامينات يجب أن تؤخذ من مصادرها الغذائية (التي تم توضيحها في الفصل الثامن) وليس على هيئة مكملات Supplements، باستثناء حامض الفوليك الذي لا يمكن توفير الكمية الموصى بها للأم الحامل من المصادر الغذائية، كما يجب عدم الافراط في تناول فيتامين A سواء كمكملات أو من المصادر الطبيعية له وخصوصاً التي تحتوي على كميات كبيره منه مثل زيت كبد الحوت وغيرها (حيث لا يسمح بزيادة الكمية المتناولة منه عن 2800 مليجرام) وذلك بسبب المشاكل التي قد تحدث للجنين (والتي سبق توضيحها) وشكل عام لا يوصى بالإفراط في تناول الفيتامينات وذلك بسبب المشاكل التي قد تحدث نتيجة فرط تناول هذه الفيتامينات ولذلك يجب مراعات المستوى الأعلى المأخوذ الممكنّ احتمالُه لبعض الفيتامينات.

خامساً - الاحتياجات من العناصر المعدنية:

يوضح الجدول رقم (23) في صفحة (254) والخاص بالمخصصات الموصى بها يومياً (RDA) والمقدار الملائم المأخوذ (AI) من العناصر المعدنية، زيادة بعض العناصر المعدنية في مقدمتها الحديد، حيث يزداد الاحتياج له خلال فترة الحمل بنسبة تصل إلى 50 % مما كان عليه قبل الحمل، فترتفع المخصصات من 18 مليجرام في الفترة قبل الحمل إلى 27 مليجرام خلال فترة الحمل، كما تزداد الحاجة إلى اليود الذي تزداد المخصصات الموصى بها منه من 150 ميكروجرام في الفترة قبل الحمل إلى 220 ميكروجرام خلال فترة الحمل، كما يلاحظ أن هناك زيادة طفيفة في كل من المغنيسيوم، الزنك، السلينيوم، النحاس، المنجنيز، الكروم والمولبيدينوم.

وكما سبقت الإشارة في الفيتامينات ومصادرها، كذلك فإن العناصر المعدنية الفيتامينات يجب أن تؤخذ من مصادرها الغذائية (التي سبق توضيحها) وليس على هيئة مكملات Supplements، باستثناء الحديد الذي لا يمكن توفير الكمية الموصى بها للأم الحامل من المصادر الغذائية، وكذلك لا يوصى بالإفراط في تناول العناصر المعدنية ويجب مراعات المستوى الأعلى المأخوذ الممكنٌ احتمالُه (UL) لبعض العناصر المعدنية الوارد في الجدول رقم (24).

والجدول التالي يوضح أهم الفروق في المخصصات الموصى بها يومياً من العناصر الغذائية الكبرى والصغرى قبل وخلال فترة الحمل لمرأة يتراوح عمرها بين 19 إلى 30 عام.

جدول رقم (28): أهم الفروق في المخصصات الموصى بها يومياً من العناصر الغذائية، لمرأة يتراوح عمرها بين 19 إلى 30 عام قبل وخلال فترة الحمل

العناصر الغذائية	المخصصات قبل فترة الحمل	المخصصات خلال فترة الحمل
البروتينات	46 جرام من البروتينات عالية القيمة الحيوية	71 جرام (بروتينات عالية القيمة الحيوية)
	أو 0,8 جرام/كيلوجرام من وزن الجسم يومياً	أو 1,1 جرام/كيلوجرام من وزن الجسم يومياً
الكربوهيدرات	130 جرام	175 جرام
الألياف الغذائية	25 جرام	28 جرام
حامض اللينوليك	12 جرام	13 جرام
حامض اللينولينيك	1,1 جرام	1,4 جرام
الثيامين (B_1)	1,1 مليجرام	1,4 مليجرام
الريبوفلافين (B_2)	1,1 مليجرام	1,4 مليجرام
النياسين (B_3)	14 مليجرام	18 مليجرام
بيريدوكسين (B_6)	1,3 مليجرام	1,9 مليجرام
كوبال أمين (B_{12})	2,4 ميكروجرام	2,6 ميكروجرام
حامض الفوليك	400 ميكروجرام	600 ميكروجرام
فيتامين C	75 مليجرام	85 مليجرام
فيتامين A	700 مليجرام	770 مليجرام
الحديد	18 مليجرام	27 مليجرام
اليود	150 ميكروجرام	220 ميكروجرام

بعض المشاكل التي قد تحدث للأم الحامل خلال فترة الحمل وحلولها الغذائية:

تعاني الأم الحامل من بعض المشاكل التي قد تحدث خلال فترة الحمل، ومن هذه المشاكل:

1 - الغثيان والقي وخصوصاً خلال فترة الحمل الأولى: يعتبر الغثيان والقيء من علامات الحمل الشائعة، وتسمى عادةً بغثيان الصباح، وهو أمر شائع جداً في بداية الحمل، حيث تعاني حوالي 80 % تقريباً من الحوامل من الغثيان أو القيء ما بين الأسبوع الرابع إلى الأسبوع الثاني عشر من الحمل. وعادة ما يكون هذا الغثيان أو القيء عادياً أو مزعجاً، إلا أنّ 1 % من الحوامل قد يعانين من القيء الشديد المتكرر الذي يحتاج إلى رعاية طبية عاجلة لتجنب مما قد يسببه ذلك من نقص السوائل واضطراب بعض العناصر المعدنية كالبوتاسيوم والصوديوم. وتعزى هذه الحالة إلى بعض الافرازات الهرمونية التي تنشط في بداية فترة الحمل، وقد يقوم بعض الأطباء بإعطاء الأمهات الحوامل أنواع من مضادات الهستامين مع فيتامين B_6، للتغلب على الغثيان والقيء، إلا أن الزنجبيل قد أظهر فاعلية أفضل من الأدوية المستخدمة في علاج الغثيان والقيء. فقبل النهوض من الفراش يجب على الأم الحامل الاستيقاظ بهدوء وبحركات محسوبة وليست فجائية او عنيفة في الصباح، والجلوس على حافة السرير لبضع دقائق وعندها تقوم الأم الحامل بتناول مشروب الزنجبيل الدافئ مع قطعتين صغيرتين من البسكويت الناشف غير المُحلى أو قطعة من الخبز المحمص، ثم الانتظار دقائق كافية حتى تبدأ فاعلية الزنجبيل قبل النهوض من الفراش صباحا. (كما يمكن تناول الزنجبيل الأخضر مع الوجبات. أو تناول ما يعادل ملعقة صغيرة يوميا من مسحوق الزنجبيل تقسم على ثلاث مرات في اليوم). كما وجد ان الموز مفيد في هذا المجال حيث يعتبر الموز غني جداً بفيتامين B_6 والبوتاسيوم واكل حبة موز واحدة يومياً يقي الحامل من القيء والدوار. ويمكن التخفيف من حدة هذه المشكلة من خلال مراعاة التهوية الجيدة في غرفة النوم، وتجنب الأماكن الحارة التي تُزيد الشعور بالغثيان، كما يجب على الحامل عدم تناول السوائل مع طعام الإفطار وتناولها بين الوجبات وليس مع الوجبات والابتعاد عن شرب السوائل الباردة والسوائل شديدة الحلاوة فكلاهما يثير الرغبة في التقيؤ، إضافة تقليل كمية الطعام المُتناول مع كل وجبة وزيادة عدد الوجبات (إلى حوالي 6 وجبات) للحصول على القدر الكافي من الغذاء، وكذلك تجنب الأغذية والروائح التي قد تُشعر الحامل بالغثيان، مع الحرص على ارتداء ملابس مريحة على الخصر حتى لا يتم الضغط على هذه المنطقة مما يشعر الحامل بالرغبة في التقيؤ.

2 - الشعور بحرقة المعدة: تصاب الأم الحامل بهذه الحالة نتيجة تمدد الرحم وضغطه على المعدة مما يؤدي إلى صعود بعض إفرازاتها إلى المريء، وتزداد حدة هذه المشكلة في المراحل المتأخرة من الحمل نتيجة ارتفاع معدل تركيز هرمون البروجسترون الذي يؤدي إلى ارتخاء عضلات الرحم ليسمح بنمو الجنين، ولكن ذلك يؤدي أيضاً إلى ارتخاء صمام المريء السفلي والضغط على المعدة من الرحم قد يسبب بارتجاع إفرازات العصارة المعدية إلى المريء مما يتسبب بالشعور بحرقة المعدة. وللتقليل من حدة هذه المشكلة يجب على الحامل ايضاً أن تقلل من كمية الطعام المُتناول مع كل وجبة وزيادة عدد الوجبات المُتناولة خلال اليوم (حيث تتناول 5 أو 6 وجبات صغيرة يومياً بدلاً من وجبتين أو 3 وجبات كبيرة)، كما تتجنب تناول الأغذية الدهنية وتلك الحاوية على التوابل والبهارات، وأن تتناول الطعام في وضعية مريحة وعدم الاستلقاء أو النوم عقب تناول الطعام مباشرة والحرص على المشي الخفيف بعد تناول الطعام، كما يجب أن تحرص على ارتداء ملابس واسعة فضفاضة.

3 - الشعور بالإمساك: تعاني الأم الحامل في المراحل الأخيرة من الحمل من الشعور بالإمساك ويعزى ذلك أيضاً إلى زيادة إفراز هرمون البروجسترون الذي يقلل من حركة الأمعاء، ولتجنب هذه المشكلة يجب الحرص على تناول الأغذية الغنية بالألياف الغذائية (الفواكه والخضراوات غير المطبوخة والحبوب الكاملة)، إلى جانب زيادة كمية السوائل التي تتناولها.

4 – ارتفاع نسبة السكر خلال الحمل: أو ما يعرف بسكري الحمل Gestational Diabetes، وهو يماثل النوع الثاني (سكري البالغين) في العديد من الأوجه فعلى سبيل المثال يتشابهان في قلة الأنسولين النسبية وضعف استجابة أنسجة الجسم لمفعول الأنسولين. وتعاني حوالي 2 – 5 % من الأمهات الحوامل من هذه الحالة التي تختفي بعد الولادة، لكن من الواجب متابعة نسبة السكر عند الأم الحامل التي تعاني من هذه الحالة والسيطرة عليه لأنه قد يشكل خطورة علي الجنين، وتحدث زيادة كبيرة في تراكم السوائل المحيطة بالجنين، كما يتأثر حجم الجنين بمستوى الجلوكوز بدم الام مما يؤدي إلى كبر حجم الجنين وزيادة وزنه عند الولادة إلى أكثر من 4,5 كيلوجرام مما يؤدي إلي إمكانية ولادة الطفل ولادة غير طبيعية، حيث تكون الولادة بعملية قيصرية نتيجة صعوبة إخراج الجنين أو احتمال إصابته نتيجة تضخم جسده مثل صعوبة إخراج الكتفين. كما تؤدي الإصابة بسكرى الحمل إلى هبوط حاد في السكر في دم الجنين بعد ولادته وذلك لأن الطفل تعود علي أخذ نسبة سكر عالية من خلال المشيمة ثم بعد الولادة وانقطاع المشيمة عنه يحدث هبوط مفاجئ في السكر ولذلك ينصح بقياس نسبة السكر بعد الولادة وأن يتم إعطائه محلول جلوكوز والإسراع بتغذيته. كما قد يعاني الجنين من تشوهات في القلب أو الجهاز العصبي المركزي وكذلك تشوهات في الجهاز الهيكلي.

ويمكن الشفاء من سكري الحمل بصورة نهائية ولكنه يتطلب مراقبة طبية دقيقة أثناء فترة الحمل. وتشير بعض الإحصائيات إلى أن حوالي 20 – 50 % من الأمهات اللاتي عانين من سكري الحوامل يمكن أن يصابوا بالنوع الثاني في مراحل لاحقة من حياتهم. وتتمثل أول الخطوات في السيطرة على سكرى الحمل في تشخيص الإصابة به من خلال تحليل سكر الدم باستمرار ومتابعته وخاصة ما بين الأسبوع 26 – 28 من الحمل، وأهم شيء في علاج سكري الحمل هو تنظيم الوجبات (مراعاة النصائح الواردة في صفحة 96) وإجراء بعض التمارين الرياضية الخفيفة وعمل متابعة وتحليل سكر الدم بانتظام. أما إذا لم يجدى ذلك في السيطرة على نسبة السكر في الدم عند الأم الحامل فيتم العلاج بالإنسولين (وليس بالأدوية المخفضة لنسبة السكر بالدم التي تتسبب في حدوث تشوهات للأجنة) لأن الإنسولين لا يمر من خلال المشيمة ولا يصل إلي الجنين، مع المراقبة الطبية الدقيقة للأم الحامل التي تعاني من هذه الحالة، كما وينصح بفحص الجنين من حيث الوزن والحجم في الأسابيع الأخيرة من الحمل (بالموجات فوق الصوتية) لتحديد ما إذا كان هناك خطراً علي الجنين أم لا وهل ستتم ولادته طبيعياً أم لا.

5 – <u>فقر الدم أثناء الحمل</u>: تنتشر حالات فقر الدم أثناء الحمل حيث تُشير التقارير إلى أن ما بين 10 – 20 % من النساء الحوامل تعاني من مستويات منخفضة من الهيموجلوبين في الدم (أقل من 10 جرام لكل 100 ميليلتر من الدم)، ويعرف فقر الدم بأنه حالة تحدث بسبب انخفاض تركيز الهيموجلوبين عن المستوى الطبيعي أو انخفاض عدد كريات الدم الحمراء التي تحتوي على الهيموجلوبين. وعادة الانخفاض في تركيز الهيموجلوبين قد يصحب أيضاً بانخفاض في عد كريات الدم الحمراء وقيم مكداس الدم (الهيماتوكريت) Hematocrit. ويتسبب انخفاض تركيز الهيموجلوبين عن المستوى الطبيعي في عدم حصول خلايا الجسم على ما يكفيها من الأوكسجين، مما يجعل معظم الأشخاص الذين يعانون من فقر الدم يشتكون من أعراض غير محددة مثل الشعور بالضعف، أو الارهاق أو التعب العام، وأحيانا صعوبة التركيز. أما أثناء الحمل فإن فقر الدم يؤدي إلى عدد من المشاكل المحتملة للجنين التي تشمل زيادة خطر تأخر النمو، عدم اكتمال النمو، الوفاة داخل الرحم، انفجار الغشاء الأمنيوسي وحدوث العدوى. ومن الأسباب الرئيسة لفقر الدم أثناء الحمل:

(أ) <u>فقر الدم نتيجة نقص الحديد</u>: هو أشهر أنواع فقر الدم بشكل عام وأثناء الحمل بشكل خاص حيث ترتفع الحاجة إلى الحديد أثناء الحمل إلى حدود 500 – 800 مليجرام، يستهلك الجنين منها بحدود 300 مليجرام والكمية الباقية تُستغل في زيادة كتلة الهيموجلوبين وزيادة حجم كريات الدم الحمراء عند الأم الحامل. ولذلك فإن الاحتياج للحديد حيث يزداد خلال فترة الحمل بنسبة تصل إلى 50 % مما كان عليه قبل الحمل.

ويحصل الجنين على احتياجاته (التي تتزايد خلال الثلث الأخير من الحمل) من إمه خلال المشيمة، وبالتالي فأن أي نقص في كمية الحديد ستُعاني منه الأم، لذا ينبغي على الأم الحامل الحرص على تناول مكملات Supplements الحديد خلال فترة الحمل.

(ب) فقر الدم ذو كريات الدم المتضخمة: ويسمى فقر الدم الوبيل أو فقر الدم الخبيث ويرتبط هذا النوع من فقر الدم بنقص فيتامين B_{12} وحامض الفوليك. وكما عرفنا سابقاً بأن الحاجة أثناء الحمل إلى حامض الفوليك الضروري لانقسام الخلايا تزداد من 400 ميكروجرام في الفترة قبل مراحل الحمل إلى 600 ميكروجرام في فترة الحمل ولذا فعلى الأم الحامل الحرص على تناول مكملات حامض الفوليك أيضاً.

(ج) فقر الدم النزفي (الناجم عن فقدان الدم): كما في حالة التكرار المستمر للحمل والولادة. حيث تكثر حالات فقر الدم بسبب النزيف وفقدان الدم أثناء النفاس، كما قد يحصل أيضاً فقدان للدم نتيجة الإجهاض. كما يندرج انخفاض حجم الدم أيضاً في تعريف فقر الدم، لأنه في حالة انخفاض حجم الدم بسبب النزيف يحدث انخفاض غير مباشر لتركيز الهيموجلوبين نتيجة تحول السائل بين الخلايا إلى البلازما أثناء عملية اعادة توزيع السوائل. وهناك أسباب أخرى لانخفاض حجم الدم مثل الجفاف أو القيء المتكرر خلال أشهر الحمل الأولى، لكن ذلك لا يسبب نقص في عدد كريات الدم الحمراء أو الهيموجلوبين، بل بالعكس تؤدى إلى زيادة تركيز الهيموغلوبين في الدم، وهو ما يتعارض مع التعريف العام لفقر الدم.

وعلى الأم الحامل تجنب كل ما يؤذي جنينها وخصوصاً التدخين والقات حيث أن ذلك يقترن بمخاطر عديدة كولادة جنين ميت أو ولادة طفل خديج Premature birth وقد يصحب ذلك بعض المشاكل كالتشوهات الخَلقية و الإعاقات ومخاطر الموت المفاجئ للطفل المولود الذي قد يعاني من بعض المشاكل التنفسية، كما أن على الحامل تجنب تناول المشروبات الحاوية على الكافايين مثل الكولا والقهوة والشاي، فزيادة استهلاك الكافايين (الذي يعبر المشيمة) يقترن بولادة الطفل خديج أو بانخفاض وزن المولود.

العناية التغذوية بالأم خلال فترة الإرضاع:

استمراراً للعناية بالأم خلال فترة الحمل، يجب أيضاً العناية بالأم خلال فترة الإرضاع والتي تُعرّف على أنها الفترة التي تلي فترة الحمل ويستمر جسم الأم (خلال هذه الفترة) بإمداد الطفل الرضيع بالعناصر الغذائية.

احتياجات الأم المرضع من السعرات الحرارية والعناصر الغذائية:

اولاً - السعرات الحرارية:

تزداد الاحتياجات من السعرات الحرارية بواقع 330 سُعر حراري يومياً للأم المرضع (مقارنة بالمرأة غير المرضع) خلال الستة الأشهر الأولى من عمر الطفل، ثم ترتفع إلى 400 سُعر حراري يومياً للأم المرضع خلال الستة الأشهر التي تليها.

ثانياً - الاحتياجات من البروتينات والعناصر الغذائية الكبرى الأخرى:

تستمر الأم المرضع بتناول البروتينات بنفس المعدلات التي كانت تتناولها خلال فترة الحمل، أي بواقع 25 جرام من البروتينات عالية القيمة الحيوية يومياً زيادة عن احتياجاتها من البروتينات في الفترة السابقة للحمل والارضاع، أو بواقع 1,1 جرام من البروتين لكل كيلوجرام من وزن الجسم يومياً، مقابل 0,8 جرام من البروتين لكل كيلوجرام من وزن الجسم يومياً في الفترة التي تسبق الحمل والارضاع. كما تستمر الأم المرضع بتناول العناصر الغذائية الكبرى الأخرى بنفس المعدلات التي كانت تتناولها خلال فترة الحمل.

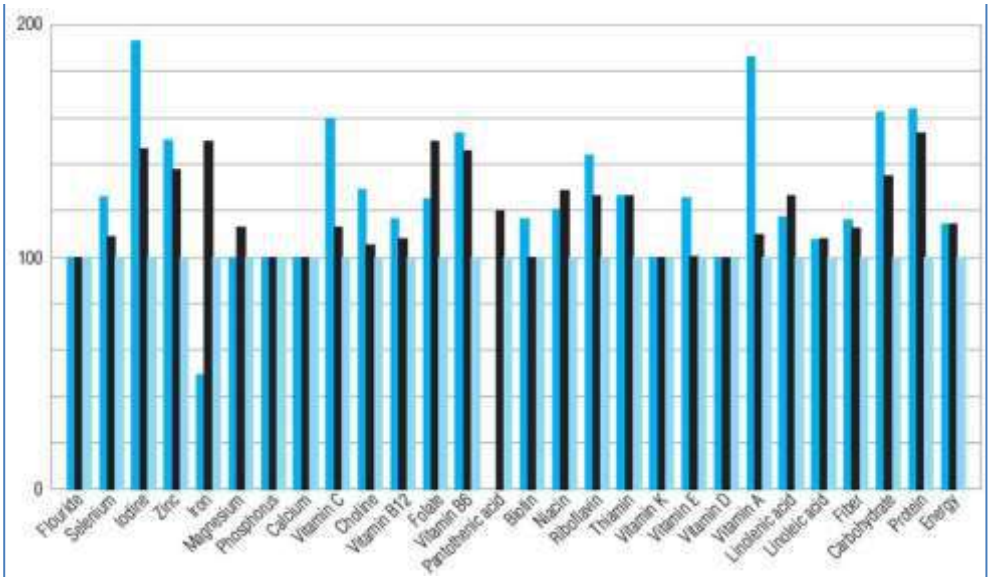
ثالثاً - الاحتياجات من الفيتامينات والعناصر المعدنية:

هناك زيادة طفيفة لمخصصات بعض الفيتامينات للأم المرضع عن المعدلات التي كانت تتناولها خلال فترة الحمل باستثناء فيتامين A الذي ترتفع المخصصات الموصى بها منه إلى 1300 مليجرام، وفيتامين C الذي ترتفع المخصصات الموصى بها منه إلى 120 مليجرام، كذلك فيتامين E الذي ترتفع المخصصات الموصى بها منه إلى 19 مليجرام، أما حامض الفوليك فتنخفض مخصصاته إلى 500 ميكروجرام يومياً. ونفس الاتجاه أيضاً فيما يخص العناصر المعدنية باستثناء الحديد الذي تنخفض مخصصاته إلى 9 مليجرام يومياً.

وينبغي على المرأة خلال فترتي الحمل والإرضاع مراعاة هذه الزيادة في المخصصات من العناصر الغذائية، كما ينبغي عليها عند التخطيط لوجبات غذائها اليومي التي من خلالها تحرص على الحصول على تلك العناصر الغذائية (بالكمية والنوعية المطلوبة) مراعاة القواعد الواردة في الفصل الحادي عشر، بحيث تضمن الكفاية Adequacy من العناصر الغذائية التي تحتاجها الأم الحامل وتحرص على التوازن Balance بين العناصر الغذائية والطاقة بحيث تتحكم في السعرات

الحرارية Calorie control التي تحتاجها بدون زيادة أو نقصان مع تكثيف العناصر الغذائية Nutrient density لمجابة الزيادة في المتطلبات من الفيتامينات والعناصر المعدنية التي تحتاجها خلال فترة الحمل مع حرصها على التنوع Variety في مصادر غذائها بحيث يحتوي على كل مجاميع الأغذية المتمثلة في مجموعة الحبوب التي يكون غالبيتها من الحبوب الكاملة والتنوع في تناول مجموعتي الخضروات والفواكه و الحرص على تناول الحليب ومنتجات الألبان المختلفة خالية أو منخفضة الدهن وتشكيلة واسعة من الأغذية البروتينية المختلفة، بحيث تتواجد جميعها بشكل يومي في وجباتها الغذائية، ويمكن للأمهات الحوامل والمرضعات الاستعانة بالمعلومات والنصائح والتلميحات الخاصة بهن والواردة في الموقع http://www.choosemyplate.gov/specificaudiences.html.

والشكل التالي يوضح أهم الفروق (كنسبة مئوية) في المخصصات الموصى بها يومياً من العناصر الغذائية الكبرى والفيتامينات والعناصر المعدنية قبل الحمل وخلال فترتي الحمل والارضاع.



* يشير العمود الأول (إلى اليمين) من كل مجموعة أعمدة إلى المخصصات في فترة ما قبل الحمل، في حين يشير العمود الثاني إلى المخصصات خلال فترة الحمل، أما العمود الثالث فيشير إلى المخصصات في فترة الرضاعة.

الشكل رقم (179) يوضح أهم الفروق (كنسبة مئوية) في المخصصات الموصى بها يومياً من العناصر الغذائية قبل الحمل وخلال فترتي الحمل والارضاع، عن (Sharlin and Edelstein, 2011).

التغذية خلال مرحلة الرضاعة Infancy Stage:

مرحلة الرضاعة هي المرحلة الممتدة منذ الولادة وحتى نهاية العامين من عمر الطفل، وتُشير بعض المراجع إلى تقسيم هذه المرحلة إلى ثلاثة مراحل متداخلة فيما بينها وهي:

1 - مرحلة الوليد الجديد Neonatal Stage: تمتد مرحلة الطفل حَدِيثُ الوِلادَةِ من لحظة الولادة إلى نهاية الاسبوع الرابع من الولادة.

2 - مرحلة الرضاعة Infancy Stage: تمد هذه المرحلة من نهاية الاسبوع الرابع من الولادة وحتى نهاية العام الأول من عمر الطفل.

3 - مرحلة بداية المشي Toddler Stage: وتمد هذه المرحلة من العام الأول من عمر الطفل وحتى نهاية العام الثالث من عمره.

ولهذه المراجع مبرراتها التي تطرحها لتبرير هذا التقسيم، حيث ترى أن الأيام الأولى التي تلي الولادة مباشرة تختلف في تركيب حليب الأم، حيث يفرز الحليب عادة بعد الولادة على هيئة لبأ Colostrum يختلف في مظهره وخواصه التغذوية عن الحليب العادي، كما أن هذه المراجع وأغلبها مراجع أجنبية تقصر فترة الرضاعة إلى نهاية العام الأول من عمر الطفل (مراعاة لظروف الأمهات العاملات) تبدأ بعدها (من وجهة نظر هذه المراجع) مرحلة جديدة من عمر الطفل تسمى مرحلة الطفل الدارج Toddler Stage وهي المرحلة التي يبدأ فيها الطفل في المشي والكلام، ولهذه المرحلة متطلباتها التغذوية التي تختلف عن المرحلة السابقة (مرحلة الرضاعة) وخصوصاً في ضوء انشغال الأمهات العاملات (في المجتمع الغربي) عن الاستمرار في إرضاع اطفالهن.

لكننا في المجتمعات الإسلامية ندرك أنه لا مبرر حقيقي في تقسيم هذه المرحلة لتلك التقسيمات، حيث تتداخل المرحلة التي يفرز فيها اللبأ تداخلاً كبيراً مع المرحلة التي تليها ويبدأ تركيب هذا الإفراز اللبني المائي المائل الاصفرار في التحول تدريجياً إلى الحليب الكامل خلال فترة خمسة أيام إلى عشرة أيام تقريباً، كما أننا وامتثالاً للأمر الالهي للأمهات بإرضاع أطفالهن ندرك أن الرضاعة يجب أن تستمر حتى بلوغ هؤلاء الأطفال العامين من أعمارهم وذلك لقوله تعالى: ﴿وَالْوَالِدَاتُ يُرْضِعْنَ أَوْلاَدَهُنَّ حَوْلَيْنِ كَامِلَيْنِ لِمَنْ أَرَادَ أَن يُتِمَّ الرَّضَاعَةَ﴾ صدق الله العظيم (البقرة 233).

وقد ثبت علمياً أن استمرار الرضاعة لغاية العامين من عمر الطفل (مع اعطاء الطفل تدريجياً اغذية مكملة لحليب الأم لتغطية احتياجاته المتزايدة من العناصر الغذائية والتمهيد لمرحلة الفطام التي أمرنا الله عز وجل أن تكون بعد تمام حَوْلَيْنِ كَامِلَيْنِ) هو الأمثل لتغذية الأطفال في هذه المرحلة العمرية وذلك لتجنب بعض المشاكل التغذوية لهؤلاء الأطفال مثل الإصابة بالكواشيوركور Kwashiorkor (وهو ما سنتعرف عليه أكثر لاحقاً) وخصوصاً في المجتمعات الفقيرة نتيجة الفطام المبكر للطفل وحرمان الطفل من البروتينات الكاملة الموجودة في حليب الأم واستبداله بأغذية الفطام الغنية بالكربوهيدرات على حساب البروتينات.

وتكتسب تغذية الأطفال خلال مرحلة الرضاعة أهمية كبرى حيث أن لها تأثير مهم طويل المدى على صحة الفرد طول حياته، وذلك بسبب أنه خلال هذه الفترة يحدث النمو والتطوير والنضج بسرعة أكبر من أي فترة زمنية أخرى، وبالتالي فإن تغذية الأطفال الرضع على نحو ملائم يؤهلهم لاكتساب التطور البدني والعقلي، في حين أن الأطفال الرضع الذين لم يحصلوا على احتياجاتهم الغذائية لواحد أو أكثر من العناصر المغذية والقدر الكافي من الطاقة على نحو ملائم ومن الممكن أن يكون معاقي النمو ومصابين بالهزال Marasmus (أيضاً سنتعرف عليه لاحقاً). كما يمكن أن يعاني الأطفال الرضع من تغيرات سلبيه تصاحبهم طوال حياتهم، فتأثير نقص أي من العناصر الغذائية على صحة الرضع يعتمد على التوقيت الذي حدث فيه هذا النقص وكذلك المدة التي أستمرها هذا النقص، والعديد من المشاكل من الممكن تحاشيها إذا تم معالجة هذا النقص ضمن المدى الحرج، ولكن إذا تم إهماله لوقت طويل فإن النتيجة تكون سلبيه. إن الفترة الحرجة والعناصر المغذية الحرجة تتغير من عضو إلى أخر، على سبيل المثال يحدث النمو في الدماغ خلال السنتين الأوليتين بشكل كبير ويستمر إلى غاية الخمس السنوات الأولى من عمر الطفل، وتتطور غالبية الأسنان في الست السنوات الأولى من الحياة، لذلك فإنه يجب علينا أن نكون شديدي الاهتمام بالعناصر المغذية الاستثنائية التي تحتاجها الأنسجة المستقلة خلال تلك الفترات الحرجة جداً، ولعل قصة الطفل بيلي وأخته سوزان الواردة في بداية هذا الكتاب مثال جيد على ذلك. ولذلك يجب (خلال هذه المرحلة) الاهتمام بمراقبة النمو، والحالة المرضية وكذلك الوضع التغذوي (الحالة الغذائية) للأطفال الرضع والاستمرار بذلك في المراحل اللاحقة من الحياة.

يمر الأطفال بعد الولادة بمرحلة نمو سريع يتضاعف فيها وزن الطفل قبل نهاية الأشهر الستة الأولى من عمره ويصبح ثلاثة أضعاف وزنه بنهاية السنة الأولى (ومن الطبيعي أن يواكب هذا التغير في سرعة النمو وفى وزن الجسم تغير في احتياجات العناصر الغذائية والطاقة)، ويستمر النمو بعد ذلك ولكن بوتيرة أبطاء نسبياً خلال سنوات عمره قبل وأثناء مرحلة المدرسة لتعود بالتسارع بعد ذلك في سن المراهقة. ولنجاح التغذية خلال مرحلة الرضاعة يمكن تقسيمها إلى ثلاث فترات هي:

- <u>الفترة الأولى (منذ الولادة وحتى بلوغ الطفل الرضيع ستة أشهر)</u>: وهي المرحلة التي يكون فيها حليب الأم أو بدائله (في الحالات الخاصة) المصدر الوحيد Sole source للتغذية.
- <u>الفترة الثانية (من الشهر السابع وحتى نهاية العام الأول)</u>: ويكون فيها حليب الأم أو بدائله المصدر الرئيس Major source للتغذية في العام الأول وإدخال بعض الأغذية الخاصة المحضرة بشكل تدريجي خلال هذه الفترة التي تعتبر فترة انتقالية.
- <u>الفترة الثالثة (خلال العام الثاني)</u>: في هذه الفترة يكون التحول لأغذية البالغين مع الاستمرار في إرضاع الطفل وزيادة كميات الأغذية التكميلية (المتوفرة في مائدة العائلة) بحيث تحل محل عدد من الرضعات للوصول بالطفل إلى مرحلة الفطام.

التغذية عن طريق الثدي (الرضاعة الطبيعية):

إن احد سمات تغذية الرضع تتمثل في الإجماع بالاتفاق على أن التغذية عن طريق الثدي (الرضاعة الطبيعية) تعد الأفضل فعلياً لكل الرضع، ولا يتم الاعتماد على بدائل حليب الأم (خلطات الرضع Infant Formula) إلا في حالات خاصة تشكل فيها الرضاعة الطبيعية خطر على صحة الرضيع، وقد سبقت الإشارة إلى أمثلة مثل إصابة الوليد بحالة البيلة الفنيلية الكيتونية (PKU) أو إصابته بالجلاكتوزمية أو تلوث حليب الأم بالأدوية التي قد تتناولها الأم المرضع، وكذلك تلوثه ببعض الملوثات البيئية مثل المبيدات أو الرصاص ..الخ، أو في تلك الحالات التي تشكل فيها خطر على صحة الأم والوليد معاً كأن تكون الأم مصابه بالسل أو الإيدز، وكذلك اصابة الأم بسرطان الثدي أو إصابتها بنزيف في الرَّحم أو التهاب الكُلى أو حُمَّى النِّفاس أو التيفوئيد أو التهابات الدم....الخ. وفي مثل تلك الحالات يتم الاعتماد على خلطات الرضع التي تم تعديلها من حليب الأبقار ليشابه في تركيبه بشكل تقريبي حليب الأم.

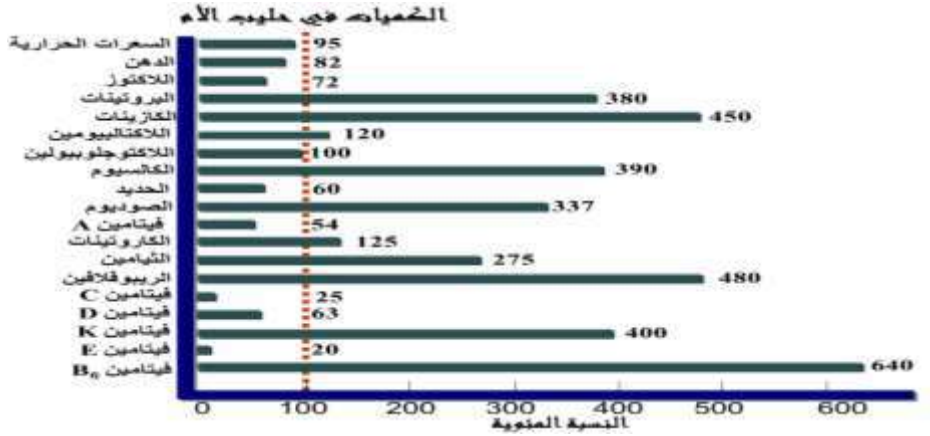
مزايا التغذية عن طريق الثدي (الرضاعة الطبيعية):

أن الخالق عز وجل قد جعل حليب الأم الأنسب لطفلها الرضيع كما أن حليب الثديات الأخرى هو الأنسب لصغار هذه الثديات، حيث أن تركيب العناصر المغذية لحليب كل نوع من الثديات يكون أكثر ملائمة لاحتياجات نمو نسل ذلك النوع، قال تعالى: ﴿أَلَا يَعْلَمُ مَنْ خَلَقَ وَهُوَ اللَّطِيفُ الْخَبِيرُ﴾ صدق الله العظيم (الملك 14).

وتغذية الأطفال على حليب الأبقار (وليس على حليب الأم) يتسبب بمشاكل صحية للطفل الرضيع نتيجة ما يلي:

1. **يحتوى حليب الأبقار على أكثر من ثلاثة أضعاف ما في حليب الأم من الأملاح المعدنية، وكمية الأملاح الزائدة عن احتياجات الطفل الرضيع ترهق الكُلى.**
2. **إن كمية الأملاح المعدنية المرتفعة في حليب الأبقار تحتاج إلى كمية كبيرة من الماء حتى يمكن إفرازها عن طريق البول، والطفل الرضيع الذي يتناول حليب الأبقار بدون تعديل يكون عرضة للإصابة بنقص الماء من جسمه (الجفاف).**
3. **يحتوى حليب الأبقار يحتوى على أكثر من ثلاثة أضعاف ما في حليب الأم من البروتينات وهذا الارتفاع في محتوى البروتينات يجعل من الصعب هضمه عند الرضع.**
4. **يحتوى حليب الأبقار أيضا على كمية كبيرة من الفوسفور على هيئة الفوسفات، وهذه الكمية عندها تمتص في الجسم تؤدى إلى نقص في مستوى الكالسيوم والمغنسيوم بالدم. كما أن النسبة العالية من الفوسفور إلى الكالسيوم في حليب الأبقار من الممكن أن تكون عامل يسهم في حالة التكزز الناتجة عن نقص الكالسيوم Hypocalcemic tetany في الأطفال المعتمدين في تغذيتهم على خلطات الرضع المعدلة.**

والشكل (181) يوضح مقارنة للسعرات الحرارية والعناصر الغذائية في حليب الأبقار مع حليب الأم، كما يوضح الجدول (28) أهم الفروق في تركيب حليب الأم وحليب الأبقار والخلطات المعدلة.



الشكل رقم (180) السعرات والعناصر الغذائية في حليب الأبقار مقارنة بحليب الأم، عن (Guthrie, 1983).

جدول رقم (29): الفروق في تركيب حليب الأم وحليب الأبقار وخلطات الرضع المعدلة (لكل 100 جرام)*

العناصر الغذائية	حليب الأم	حليب الأبقار	خلطات الرضع المعدلة
الماء (جرام)	87	87	88
الطاقة (كيلو سُعر)	71	66	66
البروتين (جرام)	1,1	3,5	1,7
الدهون الكلية (جرام)	3,8	3,7	3,6
الدهون المشبعة	1,8	2,4	1,7
الدهون عديدة عدم التشبع	0,60	0,15	1,1
سكر اللاكتوز (جرام)	6,8	4,9	6,9
الرماد (جرام)	0,2	0,7	0,4
الكوليسترول (مليجرام)	13	14	1,7
الصوديوم (مليجرام)	16,5	49,5	19,8
الكالسيوم (مليجرام)	34	117	46
الفوسفور (مليجرام)	14	92	30
نسبة الكالسيوم : الفوسفور	2,4	1,3	1,5
الحديد (مليجرام)	0,2	آثار	0,1
فيتامين C (مليجرام)	4,3	1,1	6,7

* مقتبس عن (التكروري والمصري، 1994).

ويتميز حليب الأم عن حليب الأبقار (والخلطات المعدلة المصنوعة منه) بما يلي:

1 – يحتوى حليب الأم على كميات من سكر اللاكتوز أعلى من حليب الأبقار، ومن مزايا اللاكتوز تسهيل عمليه امتصاص الكالسيوم والمغنسيوم ودعم امتصاص الأحماض الامينية، كما أن اللاكتوز هو المصدر الوحيد للسكر الأحادي الجالاكتوز الذي يدخل في تركيب الجلاكتوليبيدات المكونة لأنسجة الدماغ والأنسجة العصبية، كما أن الجالاكتوز يعتبر احد المكونات التركيبية للسيربروسيدات الاساسية المكونة للميلين Mylein الضروري للوظيفة الطبيعية للأعصاب، فهو يشكل الغلاف الواقي المحيط بالليفات العصبية ويحمي قابليتها على نقل الرسائل العصبية. (ويتم مراعاة نسبة سكر اللاكتوز عند إنتاج خلطات الرضع).

2 – محتوى حليب الأم من البروتين ثلث كمية البروتين في حليب الأبقار الذي يكون 80 % منه على هيئة كازين، في حين أن البروتين السائد في حليب الإنسان هو اللاكتالبيومين الذي يختلف عن الكازين ليس فقط في أن الأحماض الامينية فيه تشبه بشكل كبير بروتينات الجسم ولكن أيضاً في كونه يزود بغالبيه الأحماض الامينية الاساسية أكثر من الكازين.

3 – يكون الكازين خثرة صلبة في معدة الطفل الرضيع في حين أن اللاكتالبيومين يكون خثرة ناعمة ملساء تهضم وتمتص بشكل أسرع من قبل الرضيع. (يتم تخفيف حليب الابقار ومعاملته بالأحماض أو الإنزيمات عند إنتاج الخلطات لتحويل خثرة الكازين الصلبة إلى خثرة ناعمة).

4 – بروتينات حليب الأم تمتلك نسبه أعلى من الحامض الاميني سيستين مقارنة بالمثيونين (Higher ratio Cysteine to methionine)، مما يجعله ملائم لتغذية الأطفال الرضع كون كبد هؤلاء الأطفال الرضع يفتقر إلى الأنزيم الضروري لتحويل المثيونين إلى سيستين.

5 – وجود الأنزيم المجزئ للبروتين Protein-splitting enzyme في حليب الأم يختزل البروتينات إلى ببيتونات أسهل هضماً، لكن هذا الأنزيم في حليب الأبقار يتحطم بفعل حرارة البسترة أو المعاملات الحرارية المختلفة التي تُجرى له.

6 – الدهن في حليب الأم مختلف في أوجه متعددة عن حليب الأبقار، حيث أن الأحماض الدهنية في حليب الإنسان اقل تشبعاً، لها سلاسل كربونية يبلغ طولها من 10 إلى 14، وبذلك يستفاد منه (تغذوياً) بشكل أكثر فاعليه من الأحماض الدهنية الأكثر تشبعاً ذات السلال الكربونية القصيرة في حليب الأبقار. ويتم استبدال دهن الحليب بالزيت النباتي لرفع محتواه من الأحماض الدهنية عديدة عدم التشبع عند إنتاج خلطات الرضع، إلا أن ذلك تقلل نسبة الكوليسترول في هذه الخلطات إلى حد كبير، والحقيقة ان محتوى حليب الإنسان من الكوليسترول يعد ضروري في مراحل الحياة الأولى، وتشير عدد من المراجع إلى أن بعض الكوليسترول الغذائي يجب أن يزود وذلك استناداً لحقيقة ان الكوليسترول يحتاج إليه في تخليق الميلين Myelin الذي يحيط بالليفة العصبية وأساسي للوظائف الطبيعية للجهاز العصبي المركزي، إضافة إلى انه إذا كان الأطفال الرضع لديهم نقص حاد في الكوليسترول المتناول في مراحل حياتهم المبكرة فأنهم من الممكن ان لا تتطور قابليتهم على تنظيم تخليق الكوليسترول في مراحل حياتهم المتقدمة.

7 – كما أن حوالي 95 % من دهن حليب الأم مقارنه بـ 61 % من دهن حليب الأبقار مهضوم جزئياً بسبب إنزيم الليبيز في حليب الأم.

8 – كميات الفيتامينات غير المقاومة للحرارة مثل الثيامين وفيتامين C الموجودة في حليب الأم غالباً ما تكون متوفرة بالكامل للطفل الرضيع، وحتى الكميات الكبيرة في حليب الأبقار والخلطات المعدلة المصنعة منه من الممكن فعلياً أن تكون أقل توفراً Less available بسبب تحطمها بالحرارة المستخدمة لبسترة الحليب أو تعقيم خلطات الرضع المعدلة.

9 – محتوى الكالسيوم في حليب الأم يشكل ربع كميته في حليب الأبقار وبذلك يكون أكثر ملائمة لاحتياجات نمو الطفل الرضيع وبالتالي تكون نسبة الكالسيوم إلى الفوسفور Calcium/Phosphorus ratio إيجابية.

10 – محتوى حليب الأم المنخفض من الصوديوم مفيد للطفل الرضيع الذي تعاني كليتيه من صعوبة في تداول الكميات الزائدة من الصوديوم. (ولتقليل الإجهاد المؤثر على كليتي الطفل الرضيع الغير مكتملتي النمو تتم عملية إزالة الفائض من الصوديوم بعملية الميز الغشائي Dialysis عند إنتاج خلطات الرضع).

11 – محتوى حليب الأم من الحديد أعلى من حليب الأبقار، وعلى الرغم من أن موضوع ما إذا كان حليب الأم يعد مصدر كافي للحديد للرضع هو موضوع مثير للجدل، لكن غالباً ما يمتص نصف الكميه الموجودة فيه، كما أن الأطفال يولدون بكميه من الحديد المدخر تكفي لفترة بين 4 إلى 6 أشهر، فلذلك يعتبر حليب الأم مصدر كافي للحديد خلال الستة اشهر الأولى من الحياة.

12 – يحتوى حليب الأم على مواد تعزز من امتصاص الزنك (الخارصين) وحامض الفوليك، كما أن محتوى حليب الأم من الريتنول وحامض النيكوتينك وفيتامين C أعلى من حليب الأبقار.

13 – يحتوي حليب الأم على مواد كربوهيدراتية حاوية على النيتروجين تعرف بعامل البفيدوس Bifidus factor أو (*Lactobacillus bifidus* factor) وهذه المواد تعمل على مساعدة البكتيريا النافعة المعروفة بـ Probiotic bacteria على استيطان القناة الهضمية للطفل الرضيع من خلال قدرتها على الالتصاق بقوة بالخلايا المبطنة للأمعاء بمساعدة تلك المواد (Bifidus factor) مما يسهم في حماية جهازه الهضمي من الأحياء المجهرية المرضية التي تؤدي إلى الإصابة بالنزلات المعوية، حيث تنتج مضادة للميكروبات تعمل على تثبيط البكتيريا الضارة وتحسين المناعة المعوية وتساهم في خفض مستويات الإنزيمات البكتيرية المعوية المشاركة في سرطان القولون، وتشمل هذه البكتيريا الأجناس المعروفة باسم *Lactobacillus* و *Bifidobacterium*، وتسود هذه البكتيريا في براز الأطفال الرضع الذين يعتمدون على الرضاعة الطبيعية في تغذيتهم. إن نمو هذه الأجناس البكتيريا يتعزز مع الوجبات الحاوية على كميات عالية من اللاكتوز وكميات منخفضة من البروتين، معدل اللاكتوز/ بروتين في حليب الأم يكون بنسبة 1:7 مقارنة بنسبة 1:1½ في حليب الأبقار.

أن الأطفال الرضع الذين يعتمدون على الرضاعة الطبيعية (Breast-fed infants) يحصلون في الأيام الخمس الأولى بعد الولادة على اللبأ Colostrum الذي هو هبة الخالق عز وجل لهؤلاء الأطفال، واللبأ سائل مائي مائل الاصفرار Water yellowish fluid تفرزه الغدد اللبنية بعد الولادة مباشرة (يسبق إفراز الحليب العادي) ويختلف في تركيبه عن الحليب العادي في مظهره وخواصه التغذوية، ولهذا اللبأ فوائد عديدة للرضيع فهو يحتوي على مواد غذائية عالية التركيز وخصوصاً المواد البروتينية والمواد المعدنية بجانب المواد الغذائية الأخرى والفيتامينات ومواد المناعة كما يعمل اللبأ على شكل ملين خفيف وبذلك ينظم حالة الجهاز الهضمي للرضيع، كما يساهم في مناعة الطفل الرضيع من خلال تأثيره في القناة الهضمية وكذلك بعد امتصاصه، كما يحتوي اللبأ على العديد من المواد التي تدعى جزئيات اللبأ Colostrum Particles تسهم في مناعة الطفل الرضيع (من خلال تأثيرها على القناة الهضمية وكذلك بعد امتصاصها) وهذه المواد تكون ثابتة في الوسط الحامضي للمعدة ومقاومة الأنزيمات الهاضمة.

ومن بين هذه المواد إنزيم اللايسوزيم Lysozyme الذي يدمر الغشاء الخلوي للبكتيريا بعد ان تصبح البكتيريا غير نشطه بواسطة البيروكسيدات وفيتامين C (يحتوي كلاً من حليب الأم ولعاب الأطفال الرضع على البيروكيسدات، إضافة إلى ان فيتامين C موجودة في اللبأ)، وإضافةً إلى إنزيم اللايسوزيم يوجد إنزيم اللاكتوبيروكسيديز الذي يسبب خلل أو تلف الغشاء السيتوبلازمي للعديد من الأحياء المجهرية المرضية مما يؤدي إلى فقدان أيونات البوتاسيوم والأحماض الأمينية والببتيدات، بالإضافة إلى تثبيط أنظمة انتقال السكريات والأحماض الأمينية وكذلك تثبيط تكوين الأحماض النووية DNA و RNA والبروتينات لهذه الأحياء المجهرية المرضية، كما يحتوي اللبأ على كريات الدم البيضاء (الخلايا اللاقمة الكبيرة Macrophages) التي تعمل على ابتلاع البكتيريا الأحياء المجهرية المرضية بعملية تعرف بالبلعمة Phagocytosis، كما تساهم هذه الخلايا ايضاً في إنتاج بروتين معروف بمشاركته في سلسلة من التفاعلات تسهم في تثبيت المناعة ضد الأحياء المجهرية المعدية.

ويحتوي اللبأ على اللاكتوفيرين Lactoferrin، وهو عبارة عن بروتين حاوي على الحديد مشابه لترانس فيرين المصل Serum transferrin، يوجد في كلاً من اللبأ والحليب، يثبط نمو الأحياء المجهرية المرضية بحجز الحديد الذي تحتاجه هذه الكائنات لنموها، وفي حاله إذا ما تم إضافة حديد إضافي كمكملات إلى أغذية الرضع فإن اللاكتوفيرين يتشبع وأي حديد مضاف يصبح متاح ليدعم نمو الأحياء المجهرية المرضية، بالتالي فان الرضع الذين يضاف إلى وجباتهم الحديد (كمكملات أو تغذيتهم بخلطات الرضع المدعمة بالحديد) ممكن ان ترتفع قابليتهم للإصابة بالعدوى.

ويحتوي اللبأ وحليب الأم على مجموعة البروتينات تدعى جلوبيولينات المناعة Immunoglobulin وهي عبارة عن أجسام مضادة للأحياء المجهرية الممرضة تقوم بدور عظيم في الدفاع ضد العدوى، احدها هو IgA الذي يوجد بأعلى تركيز في الأيام القليلة الأولى من الحياة يحتوي العديد من الأجسام المضادة للفيروسات والبكتيريا والكائنات الممرضة الأخرى ويؤثر بشكل خاص ضد الكائنات الممرضة التي تصيب الأطفال مثل الفَيْروسَات السِّنْجابِيَّة وبكتيريا المكورات الرئوية. وهذه الجلوبيولينات المناعية تقاوم الهضم من قبل الأنزيمات وتتميز بثباتها تجاه الحموضة العالية (الـ pH المنخفض) للمعدة. والجدول التالي يوضح مقارنة غالبية المكوّناتِ والبروتينِات ذات الفعالية الحيوية لحليب الأم واللبأ (لكل 100 مل).

جدول رقم (30): مقارنة غالبية المكوّناتِ ذات الفعالية الحيوية لحليب الأم واللبأ (لكل 100 مل)*

العوامل	اللبأ (Colostrum)	حليب الأم
البروتين الكلي (%)	2.0	1.1
الكازين (%)	0.5	0.4
الدهن (%)	2.9	4.2
اللاكتوز (%)	5.3	7.0
اللاكتوفيرين (مليجرام)	0.5	0.2
جلوبيولين المناعة IgA (ملجم)	0.5	0.1
فيتامين A (ميكروجرام)	89	47
فيتامين B_1 (ميكروجرام)	15	16
فيتامين B_2 (ميكروجرام)	25	35
فيتامين B_6 (ميكروجرام)	12	28
فيتامين B_{12} (نانوجرام)	200	26
فيتامين C (مليجرام)	4.4	4.0
الكالسيوم (مليجرام)	28	30
الصوديوم (مليجرام)	48	15
البوتاسيوم (مليجرام)	74	58
الحديد (ميكروجرام)	45	40
الزنك (ميكروجرام)	540	166

* مقتبس عن Brown, Judith; (2011) و Sharlin and Edelstein, (2011).

كما يحتوي حليب الأم على بعض الأحماض الدهنية والجلسريدات الأحادية قادرة على اختراق أغشية الفيروسات والبكتيريا وتدميرها. كل هذه العوامل تساهم بما يسمى المناعة المستترة (مناعة منفعلة Passive immunity) في الأطفال الرضع، وهذا يعني أنه عند تغذية الأطفال عن طريق الثدي فإننا نمنحهم الحماية التي يحتاجون إليها بدون استخدام أي أدويه أو لقاحات.

إن من مزايا الرضاعة الطبيعية أن تساعد الأم على سرعة استرجاع رحمها لوضعه الطبيعي الذي كان عليه قبل الحمل، وفي الوقت نفسه تساعد الأم على التخلص من الوزن الذي اكتسبته خلال مرحلة الحمل والعودة إلى وزنها الطبيعي. كما عرفت الرضاعة الطبيعية من الثدي منذ وقت طويل كعامل مهم للتحكم بالتباعد بين الولادات، ويبدو أنه طالما كان الطفل يرضع بنشاط من الثدي تكون الأم غير مؤهله بشكل كبير للعودة لدوره التبويض، هذه النتيجة في الحقيقة تعود إلى أن هرمون البرولاكتين Prolactin المفرز من الفص الامامي للغدة النخامية الذي يحث إنتاج الحليب ايضاً يكبح تخليق هرمونات التبويض عند الام المرضع Lactation Amenorrhea.

وتشير بعض الدراسات إلى انخفاض نسب الإصابة بسرطان الثدي عند النساء المرضعات مقارنة بغير المرضعات. كما أن الرضاعة الطبيعية غير مكلفة مادياً (مقارنة بالرضاعة من زجاجة الإرضاع) ولا تستلزم أكثر من التغذية الجيدة للأم المرضع، وهي إضافة لذلك تنمي شعور المحبة والحنان والسعادة لكلٍ من الأم ورضيعها وتعزز الارتباط بين الطفل الرضيع وأمه.

والرضاعة الطبيعية تحمي من تسوس (نخر) الأسنان المبكر كما تدعم نمو الأسنان واصطفافها بالفك بشكل طبيعي وتقوي عضلات الفكين والوجه للطفل الرضيع، بينما الرضاعة من زجاجة الإرضاع يقترن بمتلازمة زجاجة الارضاع Nursing-bottle syndrome، وهي عبارة عن تخرب الأسنان اللبنية المركزية العلوية عند الطفل نتيجة تقديم زجاجة الرضاعة للأطفال في وقت النوم وتركهم ينامون وحلمة زجاجة الرضاعة في فمهم يؤدي إلى ظهور معدل عالي لتسوس الأسنان لديهم وذلك بسبب بقاء السائل الحاوي على السكر سواء كان الحليب أو عصير الفاكهة في الفم ملاصق للأسنان حيث يتكون حامض من السكر بسبب تواجد البكتيريا المسببة للتسوس.

الشكل رقم (181) يوضح متلازمة زجاجة الارضاع Nursing-bottle syndrome عند الأطفال.

وهناك احتمال لتلوث خلطات الرضع أثناء تحضيرها (سواء من الماء الذي قد يكون ملوث أو من ظروف التحضير لهذه الخلطات) مما يتسبب في مشاكل صحية خطيرة للأطفال الرضع يأتي على رأسها الإسهال والنزلات المعوية، كما أن هذه الخلطات قد تُحضر بالنسب والكميات غير الصحيحة مما قد يتسبب في إما خسارة الطفل الرضيع للوزن وإصابته بالهزال نتيجة نقص السُعرات الحرارية وكميات العناصر الغذائية (Underfeeding) كما في الشكل التالي، أو قد يتسبب في إصابته بالسمنة نتيجة فرط التغذية (Overfeeding) لهذا الطفل الرضيع.

الشكل رقم (182) صورة لليونيسيف توضح طفل معافى يرضع من أمه وأخته التوأم المشرفة على الموت والتي ترضع من زجاجة الإرضاع (مستشفى الأطفال، اسلام أباد - باكستان)

UNICEF photograph of thriving breastfed twin and his dying bottle-fed sister, (Children's Hospital, Islamabad, Pakistan)، عن (Riordan, 2005).

تغذية الرضع خلال الفترة الأولى (منذ الولادة وحتى بلوغ الطفل الرضيع ستة أشهر):

يجب على الأم أن تبدأ بإرضاع مولودها الجديد بعد الولادة بأسرع ما تسمح ظروف الأم والرضيع ويفضل أن يكون ذلك خلال الربع أو النصف الساعة الأولى من الولادة مباشرة، وخلال الأسابيع الأولى يحتاج المولود الجديد لأن يرضع من أمه من 8 إلى 12 رضعة خلال اليوم وبتقدم الرضيع بالسن تقل عدد الرضعات، ولذلك فعلى الأم ان ترضع طفلها كلما أراد الرضاعة، وعلى الأم المرضع أن تدرك حليبها يحتوي علي العناصر الغذائية الكاملة التي يحتاجها الرضيع للأشهر الستة الأولى من حياته، وهو يوفر للطفل الرضيع ما يكفيه من الماء (حتى مع الاحتياجات العالية للأطفال الرضع التي تصل إلى حدود 100 – 150 ملليلتر / كيلوجرام) وحتى في الطقس الحار، كما أنه مصدر الماء الأكثر أمناً، لذلك فعلى الأم الاقتصار على إرضاع طفلها من ثديها (خلال هذه الفترة) ولا تعطيه أي سوائل أو أغذية أخرى، فحليب الأم يوفر الماء والغذاء اللذين يحتاج إليهما الأطفال الرضع، فإذا شعر الرضيع بالجوع أقبل على ثدي أمه فشبع، كما أنه إذا شعر بالعطش أقبل على ثدي أمه فارتوى وحصل إضافة إلى ذلك على العناصر الغذائية الضرورية لنموه. فحليب الأم يحتوي على جميع العناصر الغذائية التي يحتاجها الطفل الرضيع خلال فترة الستة أشهر الأولى من حياته وبالكميات التي يحتاج إليها خلال هذه الفترة من حياته، باستثناء الحديد الذي تكون كمياته في حليب الأم أقل من احتياجات الطفل الرضيع لكن جسمه يحتوي على كميه من الحديد المدخر من المرحلة الجنينية (مرحلة الحمل) تكفيه لتك الفترة (وهذا ما أشير إليه سابقاً)، كما يفتقر حليب الأم على الكمية المطلوبة للطفل الرضيع من فيتامين D، ويتم تعويض ذلك بتعريض الأطفال الرضع يومياً لأشعة الشمس في الصباح الباكر ليحصلوا على احتياجاتهم من فيتامين D.

كما أن الاقتصار على الرضاعة من الثدي (خلال هذه الفترة) يقلل من مخاطر الإسهال والأمراض الأخرى، وفي حقيقة الأمر أن الطفل الرضيع خلال هذه الفترة يكون غير مهيئ بعد لتناول الأغذية الأخرى (وهذا ما سيتم توضيحه لاحقاً).

إنتاج الحليب و البدأ بالرضاعة:

على الأم أن تعلم تمام العلم أن العوامل المؤثرة على إفراز الحليب وإدراره تكمن في التأثيرات الهرمونية المتمثلة في الآتي:

1. **هرمون البرولاكتين Prolactin الذي يؤثر إلى على إنتاج الحليب وهو يفرز أثناء الحمل وترتفع كميته المفرزة كلما تقدم الحمل إلى أن يصبح في مستوى عالي يكفي لإنتاج الحليب خلال نهاية الحمل.**
2. **هرمون الأوكسيتوسين Oxytocin الذي يعمل على استمرار تدفق الحليب المخزّن في مسارات الحليب باتجاه حلمة الثدي.**
3. **تأثيرات نفسية وميكانيكية تتمثل في شعور الأم ومص الطفل لحلمة الثدي.**

وهنا تكمن أهمية البدء المبكر بالرضاعة عقب الولادة بأسرع ما تسمح الظروف، فمص الطفل لحلمة الثدي يحفز جسم الأم لإفراز هرمون البرولاكتين الذي يؤثر إلى على إنتاج الحليب، كما أن عملية المص أيضاً تحفز على إفراز هرمون الأوكسيتوسين الذي يعمل على استمرار تدفق الحليب المخزّن في مسارات الحليب باتجاه حلمة الثدي، وهنا تشعر الأم بوخزات خفيفة في الثدي ما يدلّ على تدفق الحليب (الرضاعة في المساء تفرز برولاكتين أكثر فتنتج حليباً أكثر). كما أن على الأم أن تعلم أنه لا يمكن بأي حال من الأحوال أن يصبح ثدي الأم خالٍ من الحليب حيث يتم إنتاج وتخزين الحليب طوال الوقت.

الشكل رقم (183) تأثير هرموني البرولاكتين والأوكسيتوسين على عمليتي إفراز الحليب وإدراره.

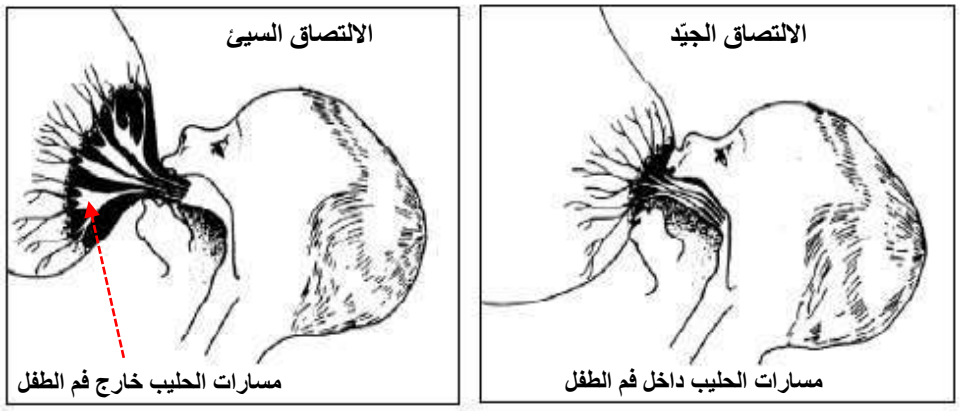
وعلى الأم أن تدرك أن إفراز هرمون البرولاكتين يتأثر بعدة عوامل منها الإجهاد وحالتها النفسية أو قلقها حول قدرتها على إرضاع طفلها أو غير راغبة في إرضاع طفلها رضاعة طبيعية من ثديها، فيقل إفراز هرمون البرولاكتين وبالتالي ينخفض إنتاج الحليب، وبالعكس فإذا كانت الأم مسترخية وسعيدة وواثقة من قدرتها على إرضاع طفلها ومتحمسة لذلك فهنا يزداد إفراز هرمون البرولاكتين وبالتالي يزيد إنتاج الحليب. كما أن كميّة الحليب لديها تتحدّد بمدى مصّ الطّفل، فالثدي ينتج الحليب أكثر إذا كان الطّفل يرضع أكثر، والعكس صحيح.

ولتشجيع الأم على إرضاع طفلها رضاعة طبيعية من ثديها يجب على المتخصصين في مجال التغذية وطب الأطفال ووسائل الاعلام المختلفة والمثقفين والهيئات الحكومية ومؤسسات المجتمع المدني المختلفة المهتمة بالتنمية وصحة الفرد والمجتمع....الخ، تشجيع الأمهات على ذلك من خلال توضيح فوائد الرضاعة الطبيعية (وقد سبق تبيان ذلك)، وكذلك تعريف أولئك الأمهات على الوسائل التي تضمن نجاح الرضاعة الطبيعية من خلال الآتي:

1 – على الأم أن تدرك أهمية إرضاع طفلها رضاعة طبيعية من ثديها، وكذلك أهمية الرضاعة المبكرة عقب الولادة بأسرع ما تسمح الظروف، فذلك يساعدها على تحمل الألآم التي تعانيها اثر الولادة والحرص على الرضاعة المبكرة التي تساعد في زيادة إدرار الحليب. فعدم رغبة الأم إرضاع طفلها رضاعة طبيعية من ثديها (نتيجة لجهلها بأهمية الرضاعة الطبيعية) من العوامل أهم التي قد تنقص من حليب الثدي عند المرضع.

2 – مساعدة الوليد على بدء الرضاعة بعد الولادة بأسرع ما يمكن، ولتسهيل ذلك يجب أن تكون الأم والطفل متلامسين جسدياً مباشرة بعد الولادة. فيجب إعطاء الطّفل إلى الأمّ مباشرة بعد الولادة ليكون قربها ويصبح مستعدّاً لبدء الرّضاعة. ويتعرّف الطّفل على الثدي من خلال حاسّة الشمّ، وخلال الساعة الأولى يكون قد بدأ بفتح فمه يبحث عن الحلمة. في بعض الأوقات، يمكن لمسكّنات الألم التي استعملت خلال الولادة أن تؤثر على تجاوبات الأمّ أو الطّفل. ويجب إبقاء الطّفل على صدر أمّه حتّى لو كان بطيئاً في المصّ أو حتّى لو كانت الأمّ شبه نائمة (فعلى الأم أن تدرك أنّ الرّضاعة باكراً تسهّل الرّضاعة لاحقاً وتزيد من تعلّق الطّفل بأمّه وأن تأخيرها في عملية ارضاع طفلها قد تؤدي إلى رفض الطفل للرضاعة من الثدي)، كما أن عليها أن تعي أن الحليب الأوّل أي اللبا (كما ذُكر سابقاً) غنيّ بالعناصر التي تحمي الطّفل من العدوى.

3 – يجب وضع الطفل بطريقة صحيحة و مريحة على الثدي (بحيث يلتصق جيّداً بصدر أمّه ليمصّ ويحصل على الحليب بسهولة) وكذلك الإكثار من وضع الطفل على الثدي ولأطول فترة ممكنة من العوامل التي يمكن أن تزيد كمية و إدرار حليب الثدي. وتتمثل طريقة المص السليمة بأن يقوم الطفل بشد جزء كاف من الثدي إلى فمه لكي يقوم بعملية الضغط على مسارات الحليب (فعندما تقوم الخلايا المفرزة للحليب بإنتاج الحليب، فإنه يتدفق إلى مسارات واسعة تسمى "مسارات الحليب" وهي تتواجد تحت الهالة "الجلد الداكن حول حلمة الثدي"). تسمى هذه العملية بـ "الالتصاق الجيّد"، حيث لا يستطيع الطفل الحصول على الحليب بمجرد مص الحلمة. فلكي تكون الرضاعة فعالة يجب أن تكون كامل الحلمة وجزء من الهالة التي حول الحلمة داخل فم الطفل، ويمكنك مساعدة الطفل بفتح شفتيه ووضعهما حول الحلمة فعندما يحاول إمساك الحلمة يتم الضغط على الفك السفلي إلى أسفل لكي يفتح فمه بشكل اكبر (ويجب الانتباه إلى وجود اللسان تحت الحلمة).



الشكل رقم (184) الطريقة السليمة للرضاعة والالتصاق الجيّد بالثدي.

ويلاحظ في الصورة الأولى (الالتصاق الجيّد) أن الحلمة والهالة (المنطقة الداكنة) متجهة إلى فم الطفل وبالتالي فإن مسارات الحليب متجهة إلى فم الطفل، كما أن لسان الطفل يمتد إلى الخارج مما يساعد على ضغط مسارات الحليب ليصل تدفق الحليب إليه وهذا ما يسمى بالمصّ، وبالتالي فإن هذا الطّفل ملتصق جيّداً ويمكنه الحصول بسهولة على الحليب من خلال المصّ بسهولة. أما في الصورة الثانية (الالتصاق الجيّد) فيلاحظ أن الحلمة والهالة (المنطقة الداكنة) بعيدة عن الطفل ومسارات الحليب بعيدة عن متناول الطفل كما أن لسان الطفل يمتد إلى الداخل، وبالتالي فإن هذا الطّفل غير ملتصق بطريقة جيّدة. فهو يمصّ فقط الحلمة ما قد يؤلم الأمّ ويحول دون حصوله على الحليب.

وتستطيع الأم أيضاً أن تعرف ما إذا كان طفلها يرضع بطريقة سليمة من خلال الطفل يأخذ رضاعات بطيئة وعميقة مع بعض التوقفات أحياناً (فالتوقفات تسمح بتدفق أكثر للحليب)، ويمكن سماع صوت الطفل وهو يبتلع الحليب، وعند الرضاعة الصحيحة تكون وجنات الطفل دائرية ومنتفخة وليست مسحوبة إلى الداخل، وعند الانتهاء من الرضاعة فإن الطفل ينهي الرضاعة بنفسه مع شعور بالرضى. أما أهم العلامات الدالة على أنّ الطفل لا يرضع بسهولة وعمليّة الإرضاع ليست سليمة تتمثل في قيام الطفل بمص سريع كما يصدر الطفل أصوات فرقعة وتكون وجنات الطفل إلى الداخل وعادة يقترب ويبتعد من الثدي عدة مرات.

4 – على الأم أن تعرف أن كميّة الحليب لديها تتحدّد بمدى مصّ الطّفل، فالثدي ينتج الحليب أكثر إذا كان الطّفل يرضع أكثر، كما يخفّ إنتاج الحليب إذا لم يكن الطّفل يرضع. فإذا لم يكن بمقدور الطّفل الرّضاعة، يجب على الأمّ أن تقوم بسحب الحليب (فإنتاج الحليب يقل عندما يتبقى بعضه في ثدي الأم). وعلى الطفل أن يرضع على قدر ما يريد في كلّ مرّة لكي يزيد من تحفيز الثدي وليحصل على الحليب الأخير (فآخر الرضعة، يتولد حليب يسمى الحليب الأخير وهو يحتوي على دسم أكثر ويعطي طاقة أكبر)، وعند الانتهاء من الثدي الأول يمكن تقديم الثدي الثاني، وفي حالة شبع الطفل قبل افراغ كلا الثديين يتم البدء بالثدي الذي أنتهى منه في المرة السابقة.

5 – ينبغي على الأم أن تتأكد من عدم ضغط ثديها على انف الطفل الرضيع باستخدام يدها الاخرى، فإذا كان ثدي الام يضغط على انف الطفل ويسبب له صعوبة في التنفس فإنه يعزف عن الرضاعة فهو لا يستطيع ان يبلع و يتنفس في آن واحد. كما أنه في حالة امتلاء الثديين بالحليب يجب عصرهما بلطف واستخراج كمية من الحليب منهما (حيث أن الثديين الممتلئين يتسببان في سرعة تدفق الحليب إلى فم الطفل مما يشعره بالاختناق وعدم الراحة ويؤدي إلى عزوفه عن الرضاعة).

6 – تصحيح الصورة الخاطئة عن اللبأ وبيان أهميته في تغذية الأطفال الرضع وتزويدهم بالمناعة الضرورية لهم، حيث أن عدد غير قليل من الأمهات يعتقدن أن هذا الإفراز اللبني الذي يلي الولادة مباشرة غير مفيد أو مغذي لأطفالهن، ويطلق على اللبأ في بعض المناطق اليمنية أسم (الصديد) مما يسهم في تعزيز تلك الصورة الخاطئة عن هذا الإفراز اللبني الرائع، فكلمة صديد تعني قَيْح (وهو الإفراز الناتج عن الجروح والقروح في الجسم) وهذا قد يوحي للبعض بصورة خاطئة معاكسة للواقع.

7 – يجب بيان مخاطر إعطاء الوليد محلول سكري (ماء وسكر) أو عسل، عقب الولادة مباشرة لإشباعه واسكات صراخه، فهذا لا يمده بما يحتاجه من العناصر الغذائية التي يحتاجها في هذه المرحلة، كما أنه يؤدي إلى تعود هذا الطفل على الطعم الحلو وبالتالي رفضه حليب أمه (الأقل حلاوة من المحلول السكري).

8 – يجب على الأمهات المرضعات تناول ما يكفي من السوائل لتجنب العطش، حيث يصل مقدار ما يفقده الجسم من الماء عن طريق الحليب أثناء فترة الرضاعة لدى المرضعات إلى 900 ملليلتر في اليوم ولذلك فعليهن تناول كميات من الماء والسوائل لتعويض هذا الفقد والمساعدة على إدرار الحليب (وهذا ما سبق الإشارة إليه في الفصل الثامن). لكن على الأم عدم تناول الكافايين (الموجود في القهوة و الشاي والكولا) فعلى الرغم من أن ذلك قد يزيد من الحليب و لكنه يسبب تهيج للطفل واضطراب في نومه.

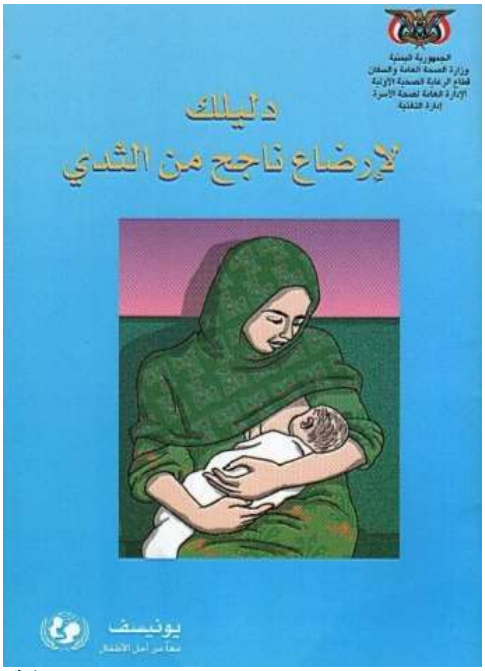
9 – التغذية الجيدة للأم المرضع تعد من أهم من العوامل التي يمكن من خلالها زيادة كمية حليب الأم، فالأمهات المرضعات (ببساطة) يحتجن إلى ما يعادل وجبة صغيرة إضافية يومياً تشمل المزيد من اللحوم أو الأسماك، وكميات إضافية من الخضروات والفواكه.

10 – على الأم المرضع الحرص على الراحة وعدم تعرضها للضغوط النفسية والتوتر فذلك قد ينقص الحليب ولكن لا يغير من تركيبه وفائدته. كما أن شعور الأم يؤثّر على تدفق الحليب، فشعورها بالثقة بأنّ حليبها هو الأفضل يجعل الحليب يتدفق أكثر، والشعور بالقلق الشديد قد يؤثر أيضاً على تدفق الحليب. ولحسن الحظ، فإنّ أيّ توقّف لتدفّق الحليب هو أمر مؤقّت. كما أن شعور الطفل بعدم ارتياح الام و هدوئها يؤدي إلى عزوفه عن الرضاعة.

11 – على الأم أن تلجأ فوراً إلى الرعاية الصحية عند ظهور بعض المشاكل التي قد تعوق عملية الرضاعة من الثدي مثل تقرح الحلمتين أو وجود التهابات أو بثور في فم الطفل.

12 – عدم إعطاء الطفل زجاجة الإرضاع فذلك قد يشجعه على ترك الرضاعة من الثدي.

وقد أصدرت إدارة التغذية التابعة لوزارة الصحة اليمنية بالتعاون مع منظمة اليونيسيف كتيب بعنوان (دليلك لإرضاع ناجح من الثدي) يحتوي على العديد من النصائح والمعلومات المهمة التي لا غنى لأي أم مرضع عنه، وأتمنى أن يتم نشر هذا الكتيب على نطاق واسع في المجتمع لتعم الفائدة المرجوة منه.



الشكل رقم (185) كتيب دليلك لإرضاع ناجح من الثدي، (من إصدار إدارة التغذية - وزارة الصحة اليمنية).

إرضاع المواليد الخدّج وناقصي النمو:

قبل أن ننتقل إلى موضوع تغذية الرضع خلال فترة الشهر السابع وحتى نهاية العام الأول، يتحتم علينا مناقشة موضوع إرضاع الأطفال الخدّج وناقصي النمو لأهمية هذا الموضوع وحساسيته. والخديج (كما عرّفناه سابقاً) هو الطفل الحي المولود قبل الأسبوع 37 من الحمل، بغض النظر عن وزن الولادة أو مسببات الولادة المبكرة، أما المولود ناقص الوزن فهو الطفل الحي المولود بوزن أقل من الوزن الطبيعي البالغ 2500 جرام.

والطفل الخديج (وكذلك الطفل المولود ناقص الوزن) اكثر عرضة لمشاكل النقص الغذائي عن الطفل العادي بسبب قلة المخزون من الدهون والبروتين والعناصر المعدنية وكذلك المقدرة على هضم وامتصاص وتمثيل العناصر الغذائية، وذلك لعدم اكتمال نمو وتطور اجهزة الهضم والإخراج، والنسبة بين مساحة جسم الطفل الخديج ووزنه تكون عالية مما يزيد من حاجة الطفل للعناصر الغذائية. وتبدأ تغذية الوليد الخديج من الساعة الأولى بعد الولادة، ولكن نوعية التغذية تعتمد على مقدرة المولود على تناول الغذاء بدون أن يؤثر ذلك عليه بالتعب والإرهاق، وهو ما يعتمد على عمر ووزن الولادة، وهناك أكثر من طريقة للتغذية، ومنها:

1- **التغذية الطبيعية عن طريق الفم (الرضاعة الطبيعية): وهي الطريقة الأفضل لكنها وتتطلب وجود مقدرة للمص القوي والتنسيق بين المص والبلع وانغلاق الحنجرة بلسان المزمار، والتحرك الطبيعي للمريء، وتلك غالباً ما تكون غير موجودة قبل 34 أسبوع من الحمل، كم أن هناك بعض الموانع للرضاعة الطبيعية منها: عدم اكتمال نمو اجهزة الهضم والإخراج، نقص الاكسجين وضيق التنفس وهبوط القلب والدورة الدموية، وإصابة المولود الخديج بالالتهابات.**
2- **التغذية بواسطة الأنبوب: عند وجود موانع الرضاعة الطبيعية تتم تغذية المولود الخديج بواسطة أنبوب بلاستيكي طري يمرر عبر الأنف ليصل إلى المعدة، ويمكن إبقاء هذ الأنبوب لمدة تتراوح بين ثلاثة أيام إلى أسبوع قبل تغييره، ومن خلال الأنبوب يمكن تغذية الطفل بخلطات خاصة ومحاليل سكرية أما عن طريق التنقيط المستمر أو الجرعات المتكررة (وهنا يحدد طبيب الأطفال أو أخصائي التغذية العلاجية كيفية التغذية ومحتواها)، ويسمح للكمية المقاسة من الغذاء بالجريان بواسطة الجاذبية. وعند تغيير الأنبوب البلاستيكي يتم استبداله بأنبوب مشابه يوضع (هذه المرة) في الفم لأن وضعه في الأنف سيصعب عملية التنفس. ويمكن الانتقال إلى التغذية الطبيعية تدريجياً حالما يبدي الطفل نشاطاً كافياً للتغذية الفموية.**
3- **التغذية الوريدية: تستخدم التغذية الوريدية للمواليد الذين تقل اوزانهم عن 1500 جرام، لأن فتحات انف الطفل تكون ضيقة ولا تسمح بمرور هواء التنفس وانبوب التغذية معا، وتؤمن التغذية الوريدية الكاملة ما يكفي من السوائل والسعرات الحرارية والأحماض الأمينية والعناصر المعدنية والفيتامينات لدعم النمو عند المواليد الخدّج وناقصي وزن الولادة.**

تغذية الرضع خلال الفترة الثانية (من الشهر السابع وحتى نهاية العام الأول):

في هذه الفترة يكون حليب الأم (أو بدائله) المصدر الرئيس Major source للتغذية، لكن خلال هذه الفترة تبدأ أسنان الطفل الرضيع بالظهور وهي إشارة من الخالق عز وجل بأن هذا الطفل الرضيع بحاجة إلى إدخال بعض الأغذية التكميلية الخاصة المحضرة التي تزداد بشكل تدريجي مع زيادة الأطفال في النمو حيث يصبحون بحاجة إلى كميات أكبر من الأغذية التكميلية لسد الفجوة بين العناصر الغذائية التي يوفرها حليب الأم، وبين احتياجات الأطفال من العناصر الغذائية، فحليب الأم لا يمكن أن يوفر وحده كل العناصر الغذائية اللازمة للنمو خلال هذه الفترة.

إن استعداد الطفل الرضيع لتناول الأغذية التكميلية يعتمد على:

1. **تناقص ألية المص Sucking وعملية البثق الانعكاسي Extrusion reflex التي يقوم فيها الرضيع بلفظ واخراج أي مواد تدخل لفمه (تلاشي ردة فعل اللسان البدائية لدى الطفل والمتمثلة بدفع الطعام الموجود في الفم الى الخارج)، واستبدالها بحركة لسان معاكسة تعمل على دفع الطعام المطحون في الفم الى الداخل باتجاه الحلق (تطور قدرة الطفل على البلع Ability to swallow)، وهذا التناقص في ألية البثق والتطور في مقدرته على البلع يحدث عند الطفل ما بين الشهرين الرابع والسادس من عمره.**
2. **إنتاج الإنزيمات الهاضمة (بخلاف المستخدمة في هضم حليب الأم)، فيبدأ إنزيم اميليز اللعاب في الظهور في الشهر الثالث، وتبدأ إنزيمات البروتيز (الهاضمة للبروتينات) في الظهور بحدود الشهر الرابع إلى السادس، وبظهور هذه الإنزيمات تتناقص مخاطر الإصابة بحساسية الأغذية Food allergies بسبب احتوائها على بروتينات غريبة Foreign proteins.**
3. **تعبير الطفل الرضيع عن رغبته في تناول الطعام، من خلال فتح فمه وانحنائه إلى الأمام بانتظار وضع الطعام في فمه، وكذلك تعبيره عن عدم الرغبة في الطعام أو الشبع حين يبتعد للخلف ويقفل فمه عند تقديم الطعام له، (وتتطور هذه القدرة لدى الطفل ما بين الشهرين الرابع والسادس من عمره).**
4. **قدرة الطفل على الجلوس بشكل مستقل وإمساكه للطعام بيده ومحاولة وضعه في الفم. عند ذلك الوقت يصبح الطفل جاهزاً لتقبل الطعام المطحون والمُعد على هيئة حساء رقيق يتم تكثيفه تدريجيا فيما بعد حسب رغبة الطفل. ويستطيع الطفل في هذه المرحلة أن يبدأ مع مساعدة من والديه بشرب رشفة ماء من كوب صغير مغلق، (وتتطور هذه القدرة لدى الطفل ما بين الشهرين السابع والتاسع من عمره).**
5. **تبدأ كُلى الطفل الرضيع بالنضوج بشكل كافي للتعامل مع المحتوى العالي من الأملاح المعدنية الموجودة في حليب الأبقار بحدود الشهر العاشر إلى الثاني عشر من عمر الطفل، ولذلك لا يعطى الطفل الرضيع حليب الأبقار قبل بلوغه العام.**

ولإدخال الأغذية التكميلية بنجاح يجب مراعاة ما يلي:

1 – البدء التدريجي لهذه الأغذية التكميلية حيث يتم تعويد الطفل الرضيع على هذه الأغذية الجديدة والغريبة في مذاقها عليه بإعطائه كميات صغيرة جداً (كأن تكون ملعقة صغيرة) ثم زيادتها بالتدريج وبشكل يومي كلما أقبل هذا الطفل الرضيع على تناول هذا الطعام بشهية.

2 – عدم إعطاء هذا الطفل الرضيع أكثر من طعام واحد في كل مرة ويمكن البدء بإعطائه نوع واحد من الحبوب كالأرز أو القمح (على شكل عصيدة أو حساء كثيف القوام) ثم بعد أن يتعود على هذا النوع يعطى نوع أخر، ثم يتم بالتدريج إدخال أنواع من الخضروات المطهية كالبطاطس أو الجزر أو القرع، واخيراً يتم إدخال الفواكه ويجب أن يتم الحرص على أن يتم إدخال الفواكه بعد إدخال الخضروات وليس قبلها حتي يتعود الطفل الرضيع على مذاق الخضروات ولا يرفضها، كما يتم إدخال صفار البيض (وليس البياض) في تغذية الطفل الرضيع من الشهر السابع لإمداده بعنصر الحديد الذي يحتاجه ابتداءً من هذه المرحلة العُمرية.

3 – في هذه المرحلة العُمرية يعطى الطفل الرضيع الماء وأن تحرص الأم على أن لا يعاني الطفل من العطش لأنه يأكل أقل في حالة شعوره بالعطش، ولكن يتوجب عليها أن لا تملأ معدة الطفل بكثير من السوائل قبل وأثناء الوجبة، ويحب الحرص على أن يكون الماء من مصدر آمن ونظيف، ويفضل أن يحتوي على عنصر الفلور (الفلورايد) لوقاية أسنانه من التسوس لاحقاً.

4 – من الشهر الثامن يمكن إدخال البقوليات كالبازيلاء والفاصوليا وكذلك الزبادي والحقين ولحوم الدواجن في حين يمكن إدخال اللحوم الحمراء في نهاية الشهر التاسع وأما الأسماك فتعطى في بداية الشهر العاشر من عمر الطفل، في حين لا يعطى حليب الأبقار إلا بعد بلوغه العام.

5 – يجب الحرص على تحضير الأغذية التكميلية بشكل حساء كثيف القوام أو عصائد كثيفة وغير رقيقة بحيث تكون سهلة الأكل والهضم، وأن لا تحتوي الأغذية التكميلية على عظام أو قطع صلبة يمكن أن تسبب الغّصة، كما يجب أن لا تحوي على كمية زائدة من البهارات والملح أو السكر.

6 – ببلوغ الأطفال ثمانية أشهر من العمر، فإنهم يفضلون أيضاً الأغذية المحضرة على هيئة يمكنهم الإمساك بها، وحين يبلغون من العمر عام واحد فإن معظم الأطفال يستطيعون تناول غالبية الأغذية المتوفرة في مائدة العائلة.

7 – على الأم أن لا تجبر طفلها على تناول الغذاء الذي لا يرغب فيه بل تقدم له بدائل أخرى (في النوعية والكيفية) قد يرغب فيها، وأن تجعل وقت اطعام الطفل للوجبة وقت مسلي ووقت لتعليمه أسماء الأغذية المختلفة.

تغذية الرضع خلال الفترة الثالثة (خلال العام الثاني من عمر الطفل الرضيع):

وفي هذه الفترة يكون التحول لأغذية البالغين مع الاستمرار في إرضاع الطفل وزيادة كميات الأغذية التكميلية (المتوفرة في مائدة العائلة) بحيث تحل محل عدد من الرضعات للوصول بالطفل إلى مرحلة الفطام، وفي هذه المرحلة العُمرية ينبغي مراعاة النقاط الواردة سابقاً مع الحرص على ما يلي:

1 – يجب على الأم إطعام الطفل مع بقية أفراد الأسرة، وعليها تشجيع طفلها على تناول الطعام بمفرده كلما تطورت قدراته على إمساك الملعقة أو إمساك بعض قطع الطعام بيديه وأن تخصص له طبقه وملعقته الخاصة للتأكد من حصوله على حصته المناسبة من الطعام، وعليها أن لا تقلق بشأن الفوضى التي قد يتسبب فيها تناول الطفل لطعامه بنفسه.

2 – على الأم إن تطعم طفلها في هذه المرحلة العمرية وجبات إضافية حيث أن معدة الأطفال صغيرة الحجم ولا يستطيعون أن يتناولون كميات كبيرة من الطعام، وعليها أن تحرص على زيادة عدد الوجبات مع تقدم نموه.

3 – على الأم إن تتجنب إرغام الطفل على تناول الطعام لأن هذا يزيد الضغط وينقص الشهية أكثر فأكثر، وعليها أن لا تستعجل في إطعام الطفل فهو قد يأكل قليلاً ويلهو قليلاً، ثم يعاود الأكل مجدداً، وأن لا تتطعم طفلها في حالة ما كان يشعر بالتعب أو النعاس.

وفي هذا الخصوص أصدرت إدارة التغذية التابعة لوزارة الصحة اليمنية بالتعاون مع اليونيسيف أيضاً كتيب بعنوان (تغذية الطفل منذ الولادة وحتى بلوغه عامين كاملين) وهو كسابقه يحتوي كذلك على العديد من النصائح والمعلومات المهمة في تغذية الأطفال خلال تلك الفترة.

الشكل رقم (186) كتيب تغذية الطفل منذ الولادة وحتى بلوغه عامين كاملين، إصدار إدارة التغذية - وزارة الصحة اليمنية.

وفيما يلي مقتطفات (بسيطة) من هذا الكتيب الرائع والمفيد لكل أم:

المرحلة الأولى من العمر

(منذ الولادة وحتى بلوغه ستة أشهر من العمر)

- يجب البدء بإرضاع الطفل من ثدي أمه خلال النصف ساعة الأولى بعد الولادة مباشرة.

- الاستمرار بإرضاع الطفل من ثدي أمه كلما رغب ليلاً ونهاراً.

- عدم إعطاء الطفل أي سوائل أو ماء أو أي إغذية أخرى سوى لبن أمه فقط، فهو أفضل غذاء يمكن تقديمه للطفل من بعد الولادة مباشرة وحتى نهاية الشهر السادس من عمره.

المرحلة الثانية من العمر

(من نهاية الشهر السادس من عمر الطفل حتى يبلغ من العمر عامين كاملين)

- الاستمرار بإرضاع الطفل من ثدي أمه كلما رغب ليلاً ونهاراً.

- البدء بتقديم الغذاء المكمل للرضاعة الطبيعية تدريجياً حسب عمر الطفل ابتداءً من بداية الشهر السابع حسب توصية الطبيب مع اتباع الإرشادات والنصائح التالية قبل البدء بالتغذية المكملة للرضاعة الطبيعية:

- لا يعطى الطفل القهوة أو الشاي نهائياً لأنه يقلل من امتصاص الحديد وبالتالي يؤثر على قيمة الأغذية التي يتناولها الطفل والمفيدة لجسمه.
- إذا كان لدى بعض أفراد الأسرة حساسية من البيض، يجب عدم إعطاء الطفل بياض البيض قبل عمر 12 شهراً.

- ينبغي أن تقدم للطفل طعاماً طازجاً وعدم إعطائه طعاماً جاهزاً أو معلباً لأنه يحتوي على المواد الحافظة والملونة والسكر والملح التي يمكن أن تسبب الحساسية للطفل.

- هناك بعض الأطعمة التي يمكن أن تسبب للطفل مشاكل أثناء البلع مثل البزر وقشر العنب والجزر غير المطبوخ.

- متأكدة أيضاً من أن طعام طفلها في قوام سليم بمعنى أنه ليس سائلاً أو جامداً أكثر من اللازم.

إذا رفض الطفل الطعام:

إذا رفض الطفل الطعام الذي يُقدم له فعلى الأم اتباع التالي:

- الصبر على الطفل وعدم إجباره على تناول طعام لا يحبه.
- إذا كان الطفل غير متعوداً على تناول الطعام، فلا يقدم له أي طعام آخر في نفس الوقت الذي رفض فيه الطعام الأول، لأنه سوف يرفضه أيضاً دون محاولة تذوقه، والانتظار بعض الوقت قبل أن يقدم له طعاماً مختلفاً.
- إذا حاولت الأم ثلاث أو أربع مرات، ومازال طفلها غير راغب في طعام معين، عليها الانتظار بضعة أيام ثم تحاول مرة أخرى، وخلال هذه الفترة على الأم محاولة تقديم أصنافاً أخرى تعجبه.

- إذا تسبب سلوك طفلها في أي وقت في إحداث قلق لديها، عليك استشارة الطبيب حيث قد يكون سبب رفض الطفل للأطعمة المكملة راجعاً إلى ظروف صحية تحتاج إلى علاج.

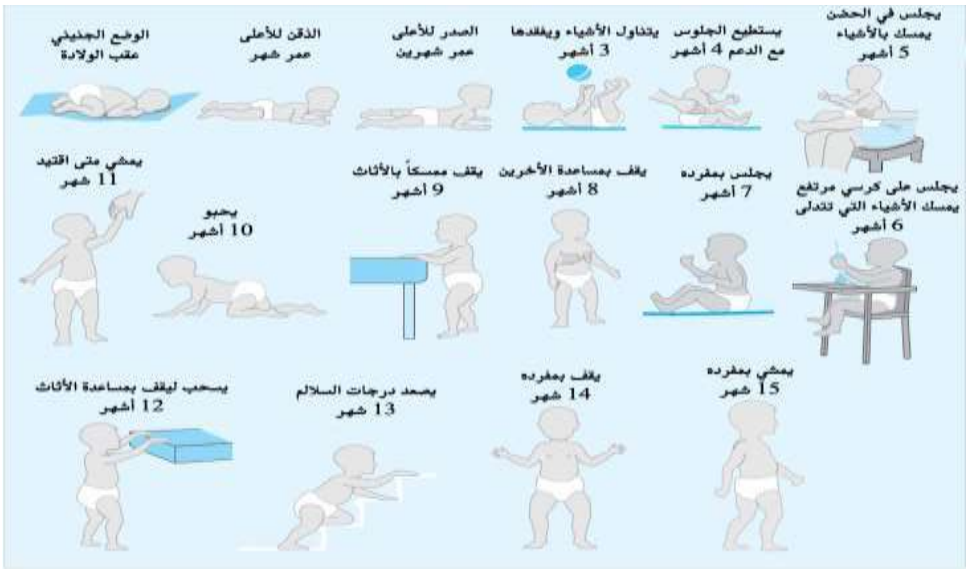
الشكل رقم (187) مقتطفات من كتيب تغذية الطفل منذ الولادة وحتى بلوغه عامين كاملين، إصدار إدارة التغذية - وزارة الصحة اليمنية.

والشكل التالي المقتبس عن منشور لإدارة التغذية التابعة لوزارة الصحة اليمنية يعطي توجيهات قيمة لإعطاء الطفل الرضيع خلال فترة الرضاعة.

الشكل رقم (188) منشور يوضح بعض التوجيهات القيمة لإعطاء الطفل الرضيع خلال فترة الرضاعة (مقتبس عن إدارة التغذية - وزارة الصحة اليمنية).

مراقبة نمو الطفل خلال مرحلة الرضاعة وما بعدها:

على الأم مراقبة النمو الجسدي لطفلها منذ لحظة ولادته وملاحظة الزيادة (الطبيعية) في وزن الطفل وطوله وصفاته الجسمية الأخرى مثل نمو محيط الرأس و بقية أعضاء الجسم، كما ينبغي عليها متابعة تطوره الطبيعي والذي يرتبط بصورة كبيرة بالجهاز العصبي المركزي في الجسم مما يعني اكتساب الطفل لمهارات ووظائف معينة كالزحف والجلوس والمشي والركض بصورة تدريجية مع تقدم العمر إضافة إلى مهارات ذهنية واجتماعية وعاطفية ونفسية وفكرية، وذلك بهدف الاطمئنان على الصحة العامة للطفل. ولعلنا نتذكر قصة الطفل بيلي Billy الواردة في بداية هذا الكتاب فعندما أخذاه والداه للطبيب الذي أخبرهما أنهما تأخرا في عرضه عليه وأن التخلف العقلي الذي يعانيه بسبب المرض الوراثي المسمى البيلة الفنيلية الكيتونية (PKU) قد ازاد سوء وكان من الممكن أن يعيش بيلي Billy حياة طبيعية إذا ما تم تشخيص إصابته بعد الولادة مباشرة حيث كان سيتم وضع نظام غذائي خاص لبيلي يبدأ قبل بلوغه الشهرين من العمر للتأكُّد من التطور العقلي الطبيعي والحد من حدوث تلف للجهاز العصبي بسبب المرض. والشكل التالي يوضح مراحل التطور والنضج الطبيعي للطفل الرضيع خلال السنتين الأولى من عمره.



الشكل رقم (189) مراحل التطور والنضج الطبيعي للطفل الرضيع، عن (Brown, Judith; 2011).

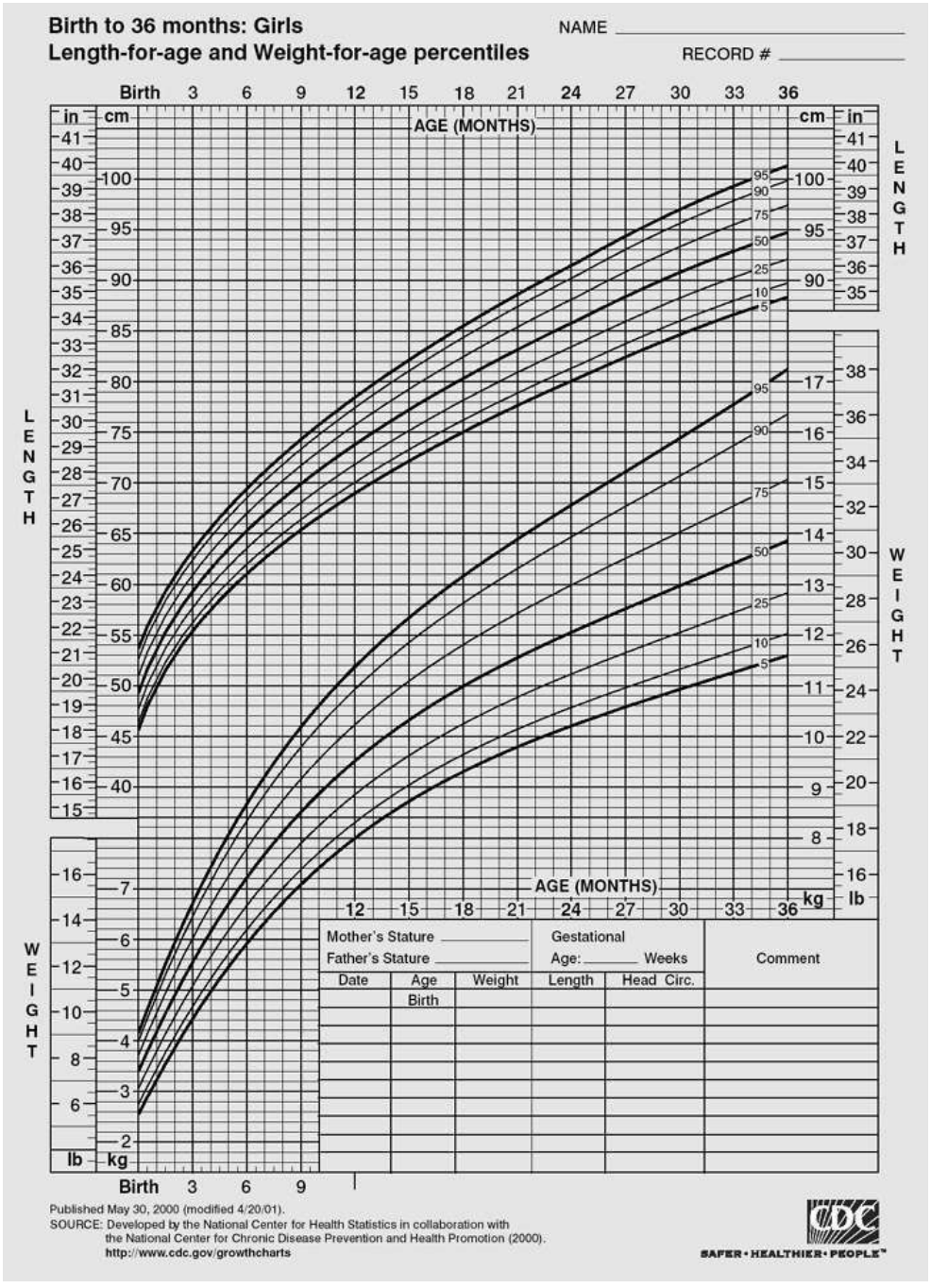
وتكتسب عملية مراقبة نمو الطفل أهمية كبرى خلال مرحلة الرضاعة كون النمو والتطور والنضج يحدث خلال هذه الفترة بسرعة أكبر من أي فترة زمنية أخرى، فيمر الأطفال بعد الولادة بمرحلة نمو سريع، يتضاعف فيها وزنهم قبل نهاية الأشهر الستة الأولى من عمرهم (فهو بعد الولادة يكون بحدود 3 كيلوجرام ليصبح وزنه حوالي 6 كيلوجرام) ويصبح ثلاثة أضعاف وزنه بنهاية السنة الأولى ليصل إلى حدود 9 كيلوجرام، كما أن طـول الطفل عند الولادة يكون بحدود

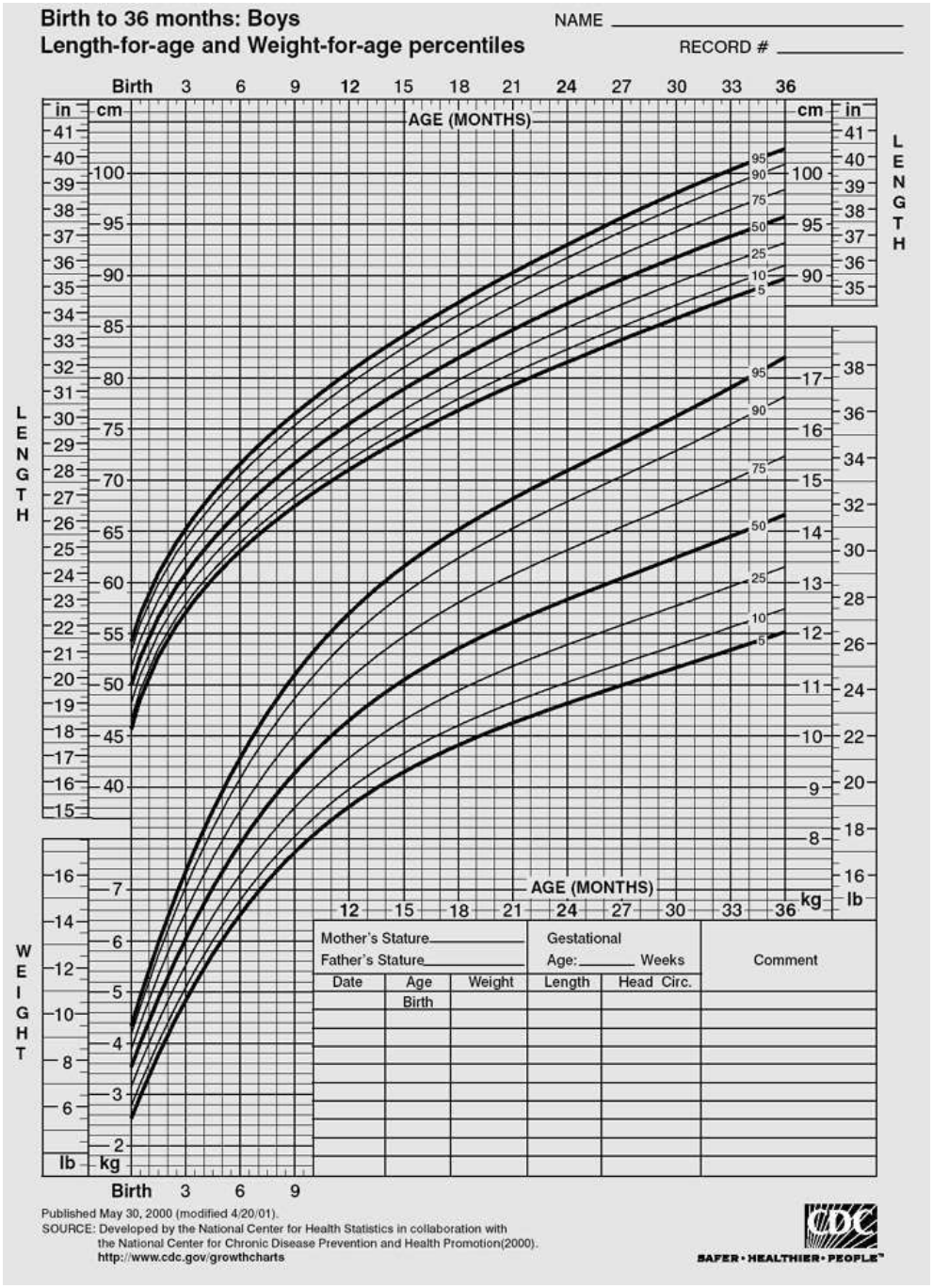
50 سنتيمتر ويكتسب الطفل 25 سنتيمتر إضافية من الطول خلال هذه السنة ليصل إلى حوالي 75 سنتيمتر، ويستمر النمو بعد ذلك ولكن بوتيرة أبطاء نسبياً، فوزن الطفل بعد السنة الأولى إلى غاية سنتين من عمره قد لا يزيد إلا بمقدار 1 أو 2 كيلوجرام في الوزن (حيث يبلغ حوالي 11 كجم) كما يزيد طوله بحدود 5 إلى 10 سنتيمتر (ليصل إلى حدود 80 إلى 85 سنتيمتر عند نهاية السنة الثانية)، أما محيط رأس الطفل فيكون بحدود 35 سنتيمتر عند الولادة ليصل إلى حوالي 47 سنتيمتر عند نهاية السنة الأولى، وحوالي 49 سنتيمتر تقريباً عند نهاية السنة الثانية من عمره.

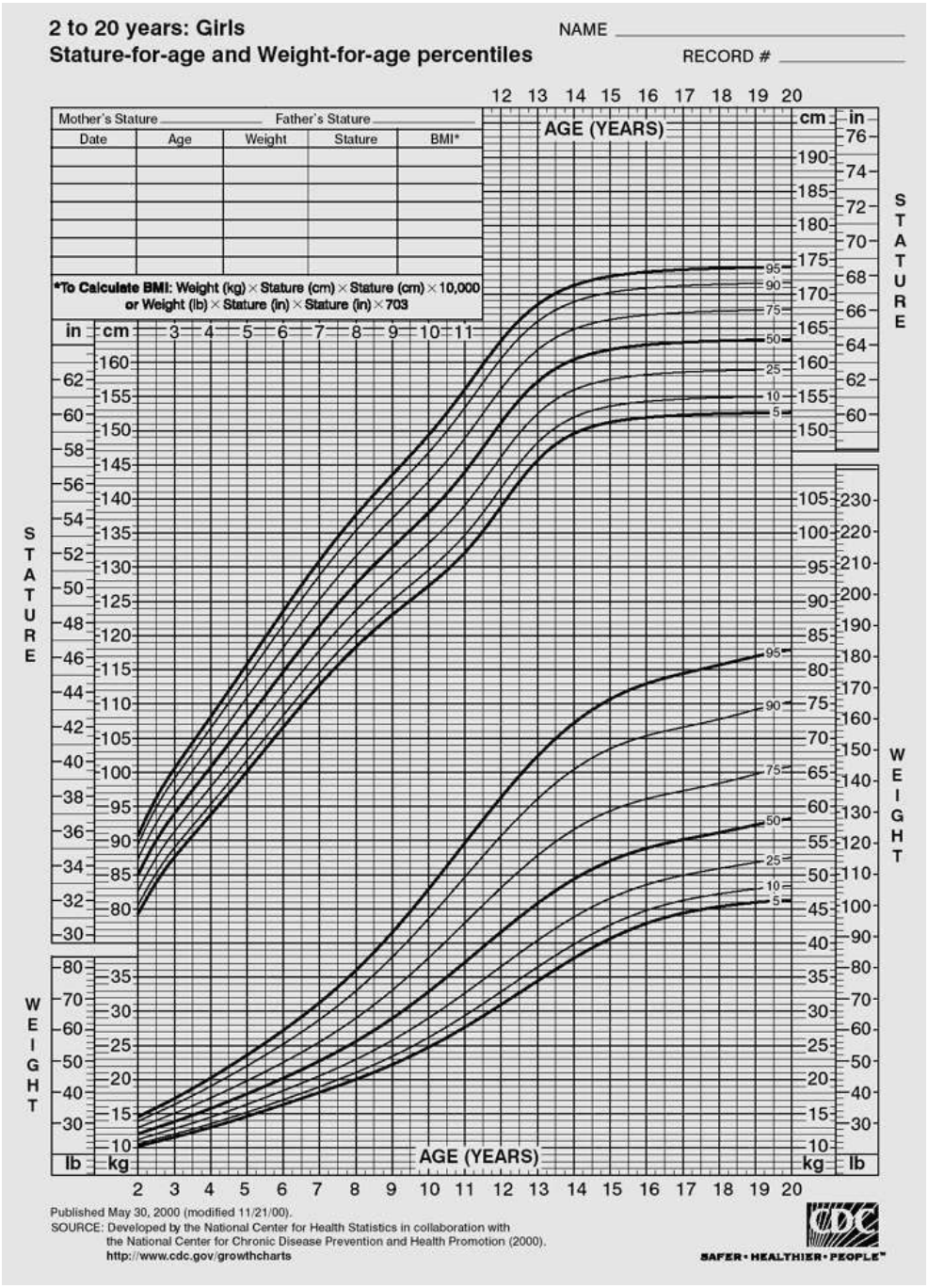
إن سرعة نمو الطفل تختلف من مرحلة عمرية لأخرى، ولذلك ينبغي مراقبة هذه الزيادة في النمو من خلال مخططات النمو للاطمئنان على الصحة العامة للطفل واتخاذ الإجراءات المناسبة لمعالجة أي مشاكل في النمو والتطور والنضج الطبيعي للطفل تظهر وبشكل مبكر.

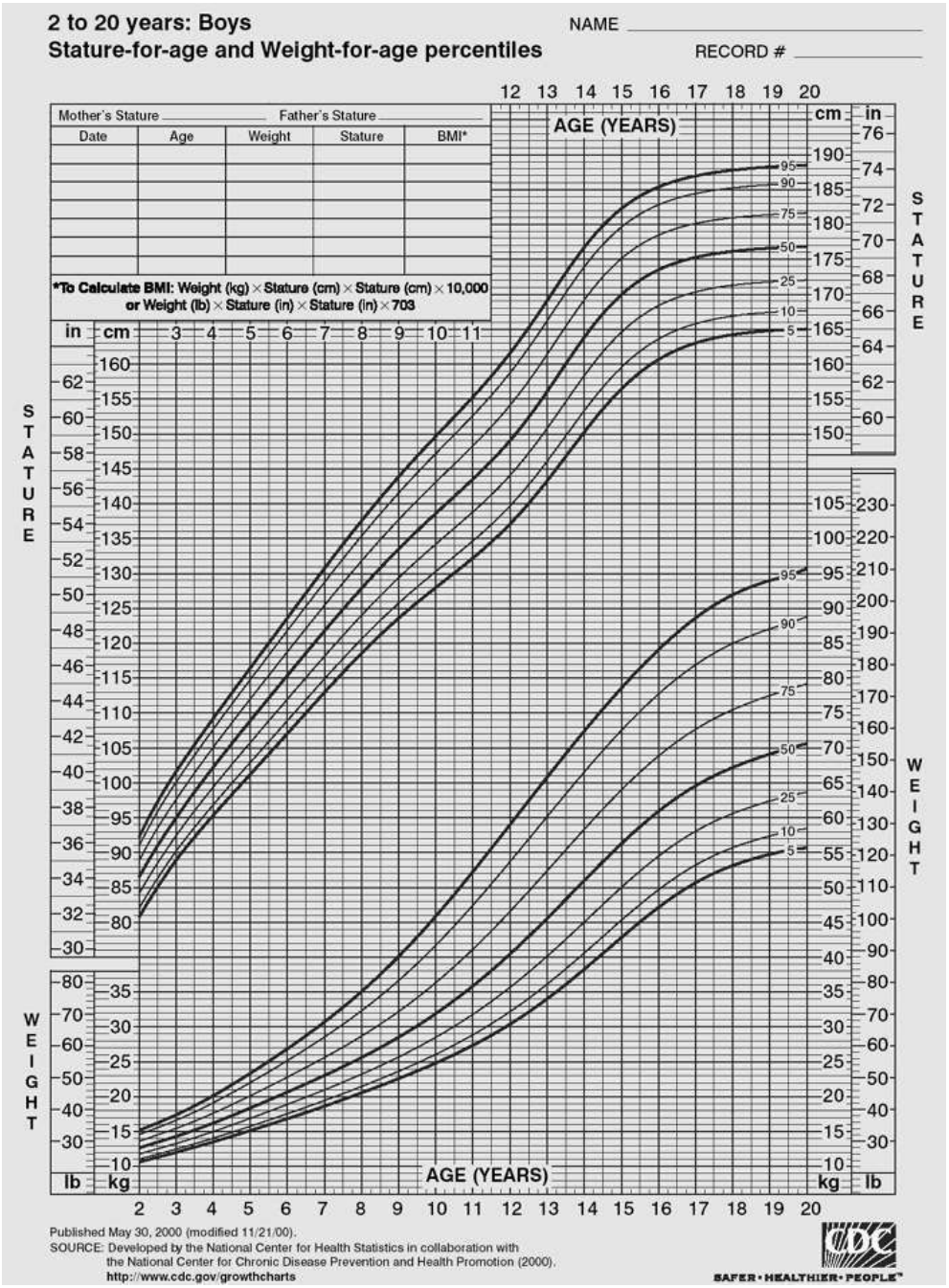
ومخططات النمو المشار إليها أعلاه (والموضحة في الشكل التالي) هي مجموعة من الرسوم البيانية تبين المجال الذي يعتبر فيه كل من الوزن و الطول و محيط الرأس ضمن المجالات الطبيعية او خارجها وذلك مقارنة مع العمر، وعند قراءة هذه المخططات يستخدم تعبير النِسْبَةٌ المِئَوِيَّة percentiles للمجال الذي يقع فيه طول و وزن الطفل بالنسبة لعمره (والذي هو عبارة عن نقطة التقاء الخط الممتد من المحور الذي يعبر عن طول أو وزن الطفل مع الخط الممتد من المحور الذي يعبر عن عمره)، ويكون اكثر الاطفال الطبيعيين عادةً في مجال حول خط النِسْبَةٌ المِئَوِيَّة 50 % وما بين النِسْبَتين المِئَوِيَّتين 25 % و 75 %، أما إذا وقع الطفل وزن الطفل أو طوله مثلاً ضمن مجال أقل من 25 % فهذا يعني أن الطفل أقل من الوزن أو الطول الطبيعيين فهو يعاني من الهزال أو قصر القامة حسب النِسْبَةٌ المِئَوِيَّة مما يعني أن هذا الطفل يعاني من نقص حرج في النمو و التغذية، أما إذا وقع وزن الطفل ضمن مجال أعلى من 90 % فهذا يعني أن الطفل يعاني من البدانة. ويجب القيام مراقبة نمو الأطفال الرضع ما بين الولادة الى سن 6 أشهر مرة واحدة في الشهر على الأقل، ثم مرة كل ستة أشهر للطفل ما دون الثلاث سنوات الأولى من العمر، وللأطفال أكثر من ثلاث سنوات فيتم مراقبة نموهم مرة كل سنة، وفي حالة الشك في معدل نمو الطفل يتم القياس مرة كل ثلاثة اشهر.

وهناك مجموعتين من مخططات النمو، المجموعة الأولى منها تخص الأطفال الرضع منذ الولادة وحتى عمر 36 شهر (وتحتوي على مخططين احدهما للفتيات والأخر للأولاد)، أما المجموعة الثانية منها فتحتوي أيضاً على مخططين الأول يخص الإناث والثاني يخص الذكور وكليهما لمدى من العمر يمتد من سنتين إلى 20 سنه. ويمكن الحصول على مخططات النمو النموذجية من خلال الموقع الإلكتروني لمَراكِزُ مُكافَحَةِ الأَمْراض http://www.cdc.gov/growthcharts في الولايات المتحدة الأمريكية. والشكل التالي يوضح هذه المخططات حسب الجنس والعمر.


Birth to 36 months: Girls
Length-for-age and Weight-for-age percentiles
NAME
RECORD #
AGE (MONTHS)
LENGTH
WEIGHT
95
90
75
50
25
10
5
Mother's Stature
Father's Stature
Gestational Age: Weeks
Date
Age
Birth
Weight
Length
Head Circ.
Comment
Published May 30, 2000 (modified 4/20/01).
SOURCE: Developed by the National Center for Health Statistics in collaboration with the National Center for Chronic Disease Prevention and Health Promotion (2000).
http://www.cdc.gov/growthcharts
SAFER • HEALTHIER • PEOPLE™

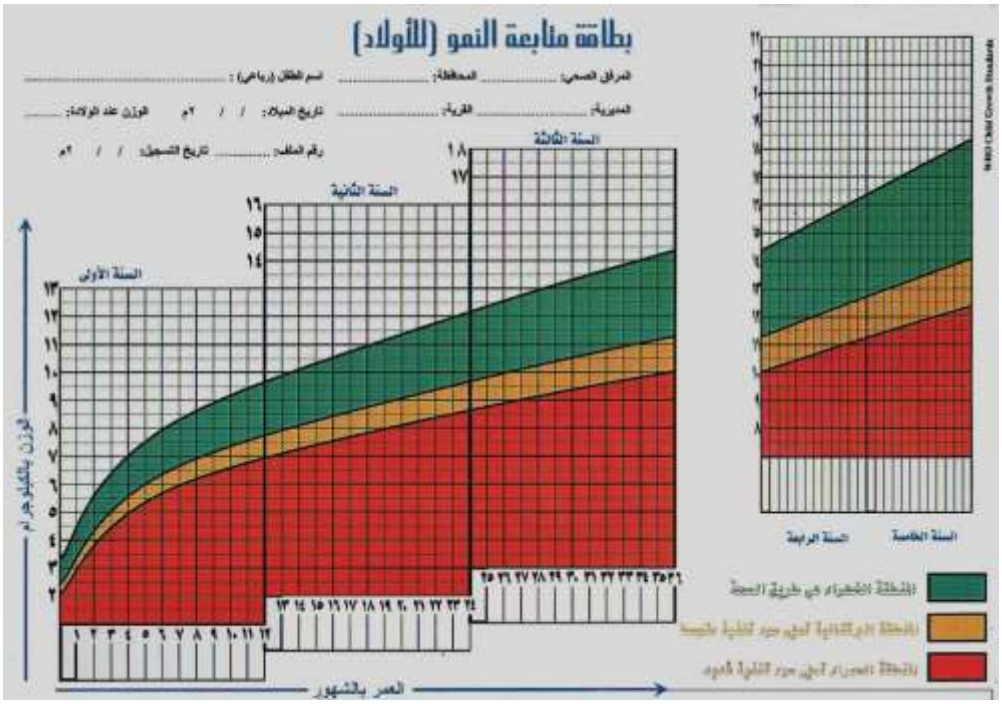

Birth to 36 months: Boys
Length-for-age and Weight-for-age percentiles
NAME
RECORD #
AGE (MONTHS)
LENGTH
WEIGHT
95
90
75
50
25
10
5
Mother's Stature
Father's Stature
Gestational Age: Weeks
Date
Age
Weight
Length
Head Circ.
Comment
Birth
Published May 30, 2000 (modified 4/20/01).
SOURCE: Developed by the National Center for Health Statistics in collaboration with the National Center for Chronic Disease Prevention and Health Promotion(2000).
http://www.cdc.gov/growthcharts
SAFER • HEALTHIER • PEOPLE™

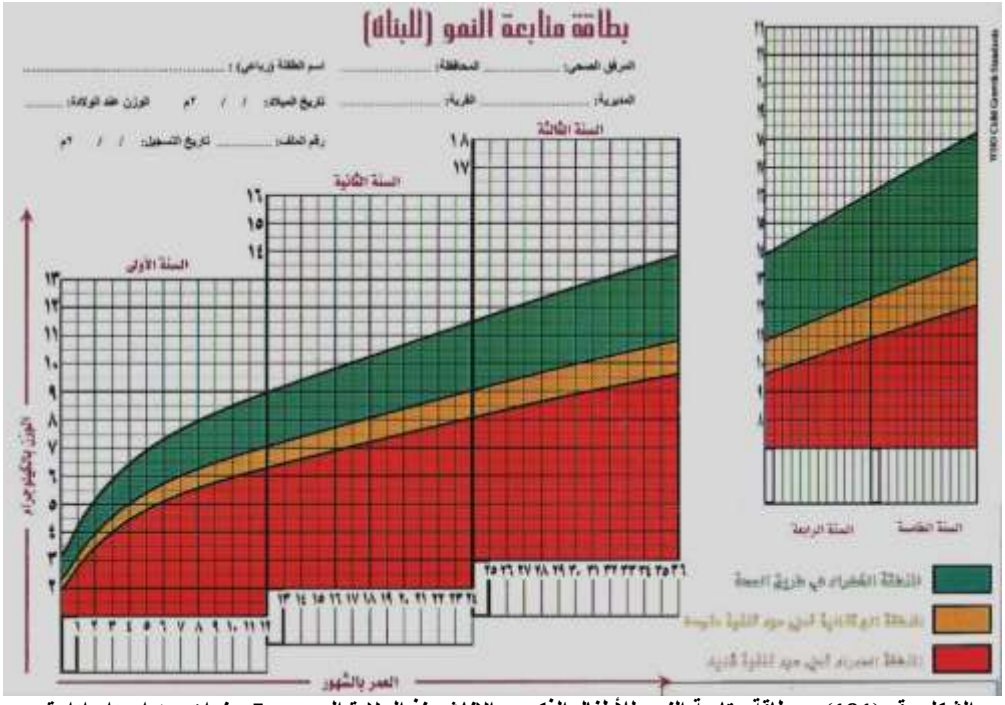

2 to 20 years: Girls
Stature-for-age and Weight-for-age percentiles
NAME
RECORD #
Mother's Stature
Father's Stature
Date
Age
Weight
Stature
BMI*
*To Calculate BMI: Weight (kg) × Stature (cm) × Stature (cm) × 10,000
or Weight (lb) × Stature (in) × Stature (in) × 703
AGE (YEARS)
STATURE
WEIGHT
95
90
75
50
25
10
5
Published May 30, 2000 (modified 11/21/00).
SOURCE: Developed by the National Center for Health Statistics in collaboration with
the National Center for Chronic Disease Prevention and Health Promotion (2000).
http://www.cdc.gov/growthcharts
SAFER • HEALTHIER • PEOPLE™



الشكل رقم (190) مخططات النمو النموذجية من الموقع الإلكتروني لمَراكِزُ مُكافَحَةِ الأَمْراض .http://www.cdc.gov/growthcharts

وهناك مخططات لمتابعة تطور الوزن للأطفال الذكور والإناث منذ الولادة إلى عمر 5 سنوات (بطاقة متابعة النمو) من إصدار إدارة التغذية، ـ وزارة الصحة اليمنية كما يوضح الشكل التالي:





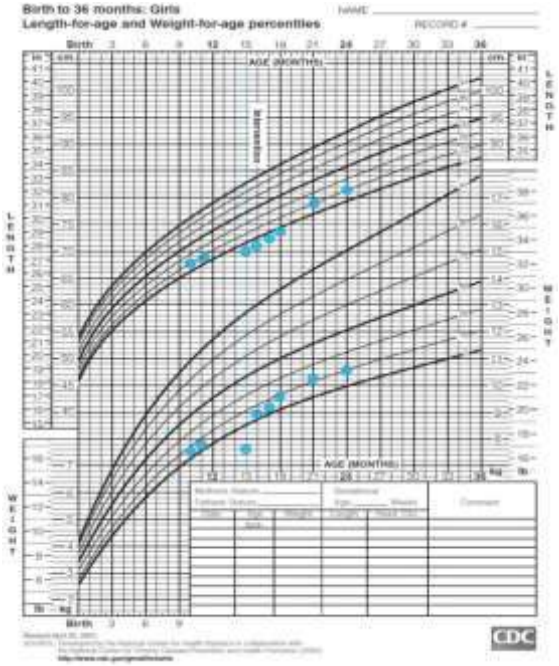
الشكل رقم (191) م بطاقة متابعة النمو للأطفال الذكور والإناث منذ الولادة إلى عمر 5 سنوات من إصدار إدارة التغذية - وزارة الصحة اليمنية.

حالات سوء التغذية Malnutrition وفشل النمو Failure to thrive عند الأطفال:

عرّفنا سوء التغذية في بداية هذا الكتاب بأنه مصطلح يصف ما يحدث من اعتلال أو تدهور في صحة الإنسان نتيجة تناول أغذية غير متوازنة من حيث الكمية أو النوعية أو نتيجة وجود خلل في عمليات الهضم أو الامتصاص أو التمثيل الغذائي لواحد أو أكثر من العناصر الغذائية الأساسية. وعرفنا أن حالات سوء التغذية لا تقتصر على التغذية الناقصة Under-nutrition الناجمة عن وجود نقص في السعرات الحرارية المتناولة أو واحد أو أكثر من العناصر الغذائية، بل تشمل أيضاً التغذية المفرطة Over-nutrition الناجمة عن وجود زيادة في السعرات الحرارية المتناولة أو واحد أو أكثر من العناصر الغذائية مما يتسبب بوجود مشاكل صحية.

كما أن فشل النمو عند الأطفال Failure to thrive (FTT) ليس مرضاً بحد ذاته وإنما هو تعبير عن عدم اكتساب الطفل للوزن المناسب لمرحلته العمرية وقد يترافق مع بطء النمو في الطول (قصر القامة)، مما يعني إن الطفل الذي لا يكسب الوزن لا يحصل على الكمية الكافية من السُعرات الحرارية اللازمة لنموه (وهذا ما يعرف بسوء التغذية الأولي) أو أنه يحصل عليها ولكنه لا يستطيع الاستفادة منها بسبب حالة مرضية ما (وهذا ما يعرف بسوء التغذية الثانوي).

وعلى الأم أن تعلم أن معدل نمو الأطفال يختلف من طفل لآخر، فلا يجوز مقارنة طفلها مع الأطفال الأخرين وأن لا تحكم على بطء نموه إلا من خلال مراقبة مخططات النمو المشار إليها سابقاً وللفترات المذكورة (كما هو موضح في الشكل التالي)، كما أن عليها أن تنتبه لأي ظاهرة ملفتة في تراجع وزن طفلها أو شهيته أو سلوكه النفسي والاجتماعي.



الشكل رقم (192) مخطط نمو لطفلة تعاني من فشل النمو Failure to thrive، عن (Brown, Judith; 2011).

أن أبرز حالات سوء التغذية وفشل النمو عند الأطفال قد يكون ناتج عن نقص في البروتينات والسُعرات الحرارية التي يتناولها الطفل في غذائه أو ما يعرف بالهزال Marasmus كما يحصل في حالات التغذية غير الجيدة في المجتمعات الفقيرة أو في حالات المجاعة، أو نتيجة الفطام المبكر للطفل وبالتالي حرمان هذا الطفل من البروتينات عالية القيمة الحيوية الموجودة في حليب الأم واستبداله بأغذية الفطام التي تكون في أغلبها من الحبوب الغنية بالكربوهيدرات في حين تكون من البروتينات النباتية غير الكاملة في محتوها من الأحماض الأمينية الأساسية (الضرورية) وهذه الحالة تُعرف بالكواشيوركور Kwashiorkor، وفي هذه الحالة ينبغي معالجة الحالة بتصحيح السبب الذي أدى لهذه الحالة وتغذية الطفل على أغذية عالية السُعرات وحاوية بروتينات عالية القيمة الحيوية والحرص على إعطاء هؤلاء الأطفال العناصر الغذائية الصغرى (الفيتامينات والعناصر المعدنية) للاستفادة من غذائهم بشكل جيد. وفيما يلي استعراض لأهم حالات سوء التغذية وفشل النمو عند الأطفال في مرحلة الرضاعة وما بعدها:

1- نقص البروتين والطاقة Protein–Energy Malnutrition (الهزال Marasmus):

هي حالة من سوء تغذية ناتجة عن نقص شديد في البروتينات والسُعرات الحرارية (الطاقة) معاً عند الطفل. ويصاب الطفل بالهزال Marasmus نتيجة الفطام المبكر المفاجئ للطفل الرضيع وتغذيته على خلطات الرضع التي تُحضر بالنسب والكميات غير الصحيحة مما قد يتسبب في إما خسارة الطفل الرضيع للوزن وإصابته بالهزال نتيجة نقص السُعرات الحرارية وكميات العناصر الغذائية (Underfeeding) كما لاحظنا سابقاً في الشكل رقم (182)، أو تغذيته بأغذية محضرة ناقصة في محتواها من البروتينات والسُعرات الحرارية بحيث لا تكفي حتى للقيام بالعمليات الحيوية بالجسم، فيفقد الطفل وزنه ويبدأ الجسم في استخدام الدهون الموجودة به ثم البروتينات الموجودة في العضلات لإمداد الجسم بالطاقة فيظهر نحيفا جدا ويفقد الدهون تحت الجلد وخاصة تحت جلد البطن ثم الفخذ ثم الوجه الذي يصبح مجعد ويشبه وجه الرجل العجوز، مع حدوث ضمور للعضلات وهى حالة متقدمة للمرض. كما قد تظهر أعراض أخرى غير ثابتة للهزال Marasmus كتغير لون الشعر الأسود إلى البني والتهاب الجلد وتضخم الكبد (وهذه الأعراض مشابهه للأعراض في حالة الكواشيوركور Kwashiorkor) كما يتميز الطفل بعيون براقة وشعور دائم بالجوع مع حالة من التيقظ والانتباه في كل الأوقات وظهور تشققات في جوانب الفم نتيجة خسارته للفيتامينات، كما يعاني الطفل المصاب بالهزال من حدوث التهابات معدية ـ معوية بصورة متكررة لا سيما في فصل الصيف.

الشكل رقم (193) يوضح طفل مصاب بالهزال Marasmus، عن (Grosvenor and Smolin, 2010).

2- الكواشيوركور Kwashiorkor:

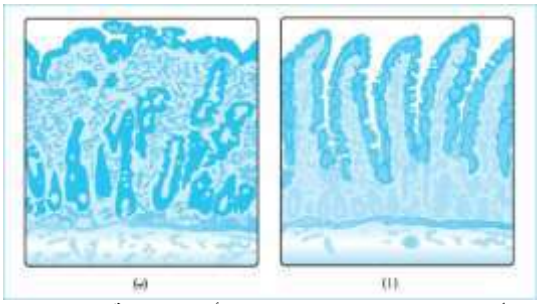
هي كلمة غانية (افريقية) تعني حرفياً (الأول - الثاني) ويقصد بها أصابه الطفل الأول بالمرض نتيجة ولادة طفل ثاني أخذ مكانه في الرضاعة من ثدي الأم، وهي حالة من سوء تغذية ناتجة عن نقص البروتينات أكثر بكثير من السُعرات الحرارية، وهو أقل حدوثاً من الهزال Marasmus فهو يحدث نتيجة الفطام المبكر للطفل وبالتالي حرمان هذا الطفل من البروتينات عالية القيمة الحيوية الموجودة في حليب الأم واستبداله بأغذية الفطام التي تكون في أغلبها من الحبوب الغنية بالكربوهيدرات في حين تكون من البروتينات النباتية غير الكاملة في محتوها من الأحماض الأمينية الأساسية (الضرورية).

ومن أعراض هذا المرض توقف نمو الطفل أو بطء نموه، وفي الحالات الأكثر شدة تبدأ العضلات في الضمور، ويفقد الجلد لونه الطبيعي ويتورم بفعل السوائل التي يفرزها الجسم وتتجمع حول الخلايا، ويظهر التورم في جميع أجزاء الجسم وبشكل واضح في الأرجل والوجه (أو ما يعرف بوجه القمر Moony face فيبدو أن الطفل سليم لكنه يعاني من البدانة) لكن بالضغط بالإصبع على الأطراف المتورمة لمدة نصف دقيقة يلاحظ انخساف عميق، ويرجع سبب التورم كما ذكرنا سابقاً إلى نقص البروتين في الدم. ويصاب الطفل بالوهن الشديد ولا يتقبل أي نوع من الإزعاج ولا حتى إطعامه، ومع اطراد المرض يفقد الجلد لونه الطبيعي وقد تتكون عليه بقع سوداء، وتتكرر حدوث حالات الاسهال نتيجة التهاب وانحلال الأغشية المخاطية المبطنة لجدران الأمعاء الدقيقة، كما يتضخم حجم الكبد وتظهر عليه ترسبات دهنية، وقد يتسبب في تغير لون الشعر الأسود إلى اللون البني المائل للحمرة، وقد يؤدي هذا المرض إلى الوفاة ما لم يحصل المصاب به على البروتين من مصادر ملائمة.

الشكل رقم (194) طفلان مصابان بالكواشيوركور Kwashiorkor، عن (Boyle and Long, 2007).

كما قد تنجم حالة فشل النمو عند الأطفال عن بعض أمراض الجهاز الهضمي التي لا تسمح لهؤلاء الأطفال من الاستفادة من غذائهم بالشكل المطلوب، وقد يكون بعض هذه الأمراض مؤقتاً وبالتالي يعاود الطفل نموه بعد شفائه من هذا المرض، إلا أن هناك أمراض قد تصاحب الطفل لفترات طويلة من حياته ومن أهم هذه الأمراض مرض السيلياك Celiac disease الذي له تسميات كثيرة في اللغة العربية حيث لم يُتفق على تسمية واحدة فهناك من يطلق عليه أسم مرض الأحشاء أو المرض الجوفي أو الداء الزلاقي.

وهذا المرض عبارة عن اعتلال معوي ناتج عن التحسس لبروتين الجلوتين الموجود في حبوب القمح والشعير والجاودار (الشَيْلَم Rye) أو احد منتجاتها، حيث يتحول الجلوتين بواسطة الإنزيمات الهاضمة إلى مركبات ضارة بالنسيج المبطن للأمعاء الدقيقة مما يؤدي إلى التسبب بأضرار جسيمة النسيج المعوي وإصابته بالالتهاب وتسطح الزَّغابات المِعَويَّة (الخملات) وفقدانها لشكلها المميز (كما في الشكل التالي)، وهذا يؤدي إلى أن تصبح الأمعاء غير قادرة على امتصاص العديد من العناصر الغذائية المهمة، وبالنتيجة ضهور حالة فشل النمو على الطفل المصاب.



الشكل رقم (195) المقطع (أ) يوضح النسيج السليم المبطن للأمعاء الدقيقة، (ب) يوضح النسيج المبطن للأمعاء الدقيقة عند إصابته بمرض السيلياك ويظهر تسطح الخملات وفقدانها لشكلها المميز، (Brown, Judith; 2011).

وتظهر على الطفل المصاب بمرض السيلياك Celiac disease أعراض فقر الدم نتيجة ضعف امتصاص الحديد وحامض الفوليك، وقد يعاني من الكساح نتيجة عدم القدرة على امتصاص الكالسيوم، وقد يصاب بالاستسقاء Edema نتيجة نقص البروتينات في الجسم، إضافة إلى كثير من المشاكل التغذوية الأخرى الناتجة عن سوء امتصاص العناصر الغذائية المهمة. وعلاج هذا المرض يتمثل بالتغذية على وجبات خالية من الجلوتين Gluten Free Diet وتجنيب المريض أي أغذية تحتوي على القمح والشعير والجاودار، وعلى الأم أن تستخدم دقيق الذرة والبطاطا والأرز والصويا والفاصوليا واللوبيا في عمل منتجات مثل الخبز وأنواع المعجنات الأخرى لتغذية طفلها المصاب وكذلك تعريفه بمخاطر تناول أي أغذية خارج المنزل قد تحتوي على الجلوتين.

وهناك علامات أساسية لسوء التغذية عند الأطفال يوضحها الجدول التالي:

جدول رقم (31): يوضح علامات سوء التغذية عند الأطفال*

	علامات التغذية الجيدة	علامات التغذية السيئة	حالات النقص المحتملة للعناصر الغذائية
الشعر	لامع، متماسك، وثابت في فروة الرأس	باهت، متقصف، جاف، سائب، متساقط	نقص البروتين والطاقة PEM
العين	لامعة، تتأقلم بسهولة مع الضوء	شاحبة الأغشية، محمرة، لا تتكيف بسرعة مع الظلام	فيتامين A، فيتامينات B، الزنك، الحديد
الأسنان واللِّثة	أسنان لامعة غير متسوسة أو مؤلمة ولثة متماسكة	أسنان مسوسة، متساقطة، ولثة اسفنجية منتفخة نازفة	فيتامين C، بعض العناصر المعدنية
الوجه	صافي البشرة خالي من الجفاف أو القشرة	باهت، جاف، متقشر، متشقق البشرة	نقص البروتين والطاقة، فيتامين A، الحديد
الغُدَدُ	خالية من أي كتل أو نتوء أو وَرَم	منتفخة ناحية الرقبة والوَجْنَة	نقص البروتين والطاقة، اليود
اللِّسان	صلب أحمر كثير الأخاديد	متقرح، ناعم، ارجواني، منتفخ	فيتامينات B المركبة
الجلد	قوي، ناعم جيد اللّون	جاف، خشن، مبقع (كورق الصَّنْفَرَة)، متقرح، يفتقر للدهون تحت الجلد	نقص البروتين والطاقة، الأحماض الدهنية الأساسية، فيتامين A ، فيتامينات B، فيتامين C
الأظافر	قوية، وردية اللّون	مُخَدَّدة، متقصفة، على هيئة الملعقة	الحديد
الأجهزة الداخلية	انتظام معدل دقات القلب وضغط الدم وعدم وجود مشاكل في وظائف الهضم أو أي مشاكل عصبية	عدم انتظام معدل دقات القلب وضغط الدم، تضخم في الكبد والطحال، مشاكل في الهضم، حرقة وتنميل في الأيدي والأقدام، فقدان التوازن، ارتباك في الوظائف العصبية، حِدَّةُ الطَّبْع، إجهاد	نقص البروتين والطاقة، بعض العناصر المعدنية

* المصدر (Whitney and Rolfes, 2008).

التغذية خلال مرحلة ما قبل المدرسة Preschool Stage:

تمتد هذه المرحلة من نهاية مرحلة الرضاعة Infancy Stage وحتى السنة الخامسة من عمر الطفل، وفي هذه المرحلة قد يتصف الأطفال الصغار غالباً بالبطء في تناول الطعام وقلة الترتيب، كما يسهل تشتت انتباههم عن تناول الطعام، في حين أنهم يتناولون قدراً أكبر من الطعام حين يشرف الأهل على تغذيتهم ويشجعونهم علي الأكل، ولذلك على الأمهات مراعاة الآتي:

1 – **الالتزام بجميع النصائح الواردة سابقاً والمتعلقة بكيفية إطعام الأطفال خلال السنة الثانية من أعمارهم.**

2 – **يمر الأطفال في هذه المرحلة العمرية بحالة تتمثل في محاولتهم فرض شخصيتهم على من حولهم من خلال رفضهم لتناول الطعام أو رفض أغذية معينة كانوا يفضلونها سابقاً أو طلبهم لغذاء معين بشكل متكرر في كل وجبة أو تعجيز أمهاتهم بطلب أغذية غير متوفرة في المنزل أو من الصعب تحضيرها في ذلك الوقت....الخ، وعلى الأمهات التعامل بحكمة مع هذه الحالة من خلال اعطاء طفلها اهتماماً أكبر عندما يتناول طعامه بشكل جيد، وأن تظهر له أنها غير منتبهة لما يفعل عندما يحاول أن يجذب الانتباه عن طريق رفضه للطعام، وأن تشركه (حسب ما هو ممكن) في شراء وإعداد وتحضير الطعام فيستمتع بتناوله.**

3 – **الحرص على اختيار الأغذية الأكثر جودة والمحتوية على العناصر الغذائية الضرورية (الأساسية) والابتعاد عن الأغذية ذات السُعرات الفارغة التي تُشعر الأطفال بالشبع دون أن تمدهم بالعناصر الغذائية التي يحتاجونها.**

4 – **عليهن أن يقمن بإعداد وجبات الطفل بطريقة مفرحة محببة لديه وأن يرعين التنوع والتغير في إعداد هذه الوجبات.**

5 – **إذا كان الطفل ينتقي ويأكل فقط أغذية معينة مفضلة لديه فعلى الأم أن تقوم بمزج الأغذية مع بعضها البعض (وبطريقة محببة للطفل) حتى تتأكد من حصول طفلها كل محتوى الوجبة من الأغذية المختلفة.**

6 – **أن يحرصن على إطعام أطفالهن كميات مناسبة من الخضروات والفواكه والحبوب الكاملة والبقوليات، فهذه الأغذية تحتوي على مواد كربوهيدراتية غير قابلة للهضم (الألياف الغذائية الذائبة)، وهذه المواد تعرف بالبريبايوتكس Prebiotics، وهذه المواد تشكل عناصر غذائية مهمة للبكتيريا النافعة Probiotic bacteria التي تستوطن القناة الهضمية للطفل، مما يسهم في حماية الطفل من النزلات المعوية وزيادة مناعة الطفل ومقاومته للأمراض، كما أن للبريبايوتكس Prebiotics دور فعال في تعزيز امتصاص المغذيات وتوازنها في الجسم.**

7 – **على الأمهات أن يقمن بإطعام أطفالهن حال شعورهم بالجوع ولا ينشغلن بأي أعمال أخرى.**

8 – أن يجلسن مع أطفالهن ويشجعوهم على تناول طعامهم والتحدث إليهم عن أهمية الغذاء لنموهم والحفاظ على صحتهم، وأن يجعلن أوقات تناول الطعام أوقات ممتعه وليس وقت معركة مع الطفل.

9 – تجنب استخدام المال (أو أي مكافئة مادية) كوسيلة لترغيب الأطفال لتناول طعامهم.

10 – على الأهل أن يكونوا قدوة جيدة للطفل في كيفية تناول الطعام واختيار الأطعمة المغذية وتجنب الأغذية غير الصحية ومنخفضة القيمة الغذائية ليحتذي الأطفال الصغار بهم.

الشكل رقم (196) اشراك الأطفال في إعداد وجباتهم الغذائية مما يجعلهم يستمتعون في إعدادها وفي تناولها (أعلى)، تحضير هذه الوجبات بشكل مفرح ومحبب إليهم (وسط واسفل).

التغذية خلال مرحلة المدرسة School Stage:

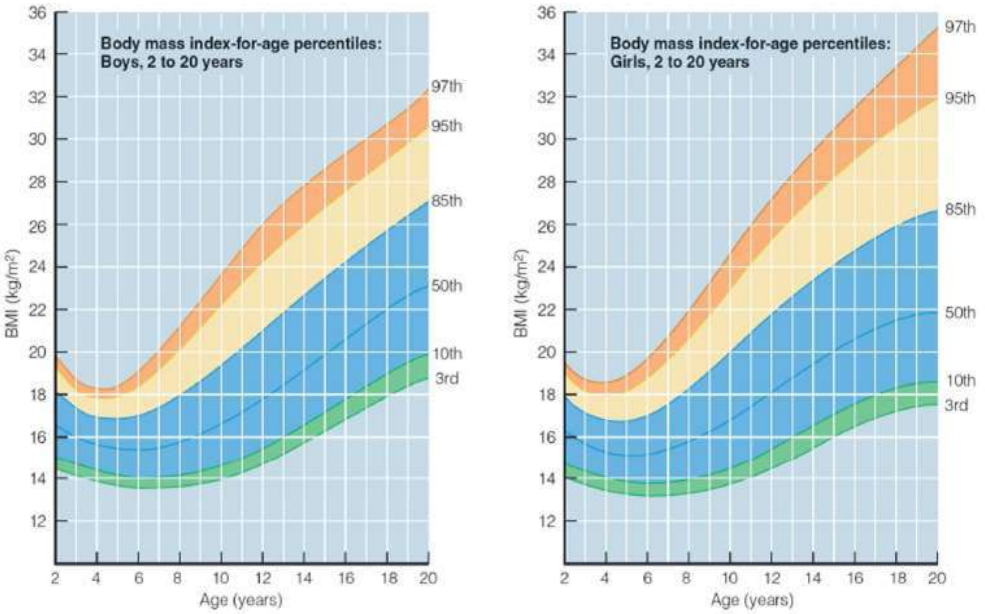
تكتسب هذه المرحلة أهمية في كون الأطفال يقضون وقت طويل خارج المنزل وقد يتناولون الكثير من الأغذية ذات السُعرات الفارغة ومنخفضة القيمة الغذائية والأغذية غير الصحية، ونتيجة لإقبال الأطفال على أغذية الشارع هذه وإفراطهم في تناول الأغذية السكرية والدهنية إضافة إلى قلة الحركة تزداد مخاطر إصابتهم بالبدانة (السمنة Obesity) التي تعني زيادة وزن الجسم عن الوزن المثالي بأكثر من 20% نتيجة تراكم المواد الدهنية في الجسم على شكل نسيج دهني. ويتم معرفة ما إذا كان الطفل ضمن مدى الوزن الطبيعي أو بدين أو نحيف أما من خلال مخططات النمو المُشار إليها سابقاً أو من خلال مقياس مُؤشِّر كتلة الجسم BMI الذي نحسبه من خلال المعادلة: $\text{مُؤشِّر كتلة الجسم} = \frac{\text{وزن الجسم بالكيلوجرام}}{(\text{الطول بالمتر})^2}$

مع العلم أنه لا يكفي مُؤشِّر كتلة الجسم BMI لتقدير حالة الطفل من خلال هذا الرقم الدال على مُؤشِّر كتلة الجسم كما هو عند البالغين (لاحظ صفحة 297)، وإنما يجب رسم المخطط الخاص بمُؤشِّر كتلة الجسم ووضع قيمة كتلة الجسم عليه ضمن مجالات يعبر عنها أيضاً بالنِسْبَةٌ المِئَوِيَّة percentiles للمجال الذي يقع فيه مُؤشِّر كتلة الجسم بالنسبة لعمره بالسنوات، ويكون الأطفال طبيعيي الوزن ضمن مجال حول خط النِسْبَةٌ 50 % وما بين النِسْبَتين 10 % و 85 %، وإذا وقع مُؤشِّر كتلة الجسم للطفل ضمن مجال أقل من 10 % فهذا يعني أن الطفل يعاني من النحافة، أما إذا وقع الطفل وزن الطفل ضمن مجال أعلى من 85 % فهذا يعني أن الطفل يعاني من زيادة الوزن، وإذا وقع ضمن مجال أعلى من 95 % فهذا يعني أن الطفل يعاني من البدانة.

إن الأطفال الذين يزيد وزنهم عن الوزن الطبيعي يكونون معرضين في المستقبل لخطر الإصابة بأمراض الداء السكري والقلب والسكتة الدماغية وارتفاع ضغط الدم وتفاقم أمراض المفاصل والتهاب المرارة وحدوث خلل في هرمونات البلوغ مما يؤدي الى زيادة احتمالية العقم عند النساء، وكذلك ارتفاع احتمال الإصابة ببعض أنواع السرطان.

الشكل رقم (197) مظاهر واسباب السمنة (المرضية) عند الأطفال.

والشكل التالي يوضح المخطط الخاص بمُؤشِّر كتلة الجسم للفتيات من سن سنتين إلى 20 سنه (يمين)، وللأولاد (يسار).



الشكل رقم (198) يوضح المخطط الخاص بمُؤشّر كتلة الجسم للفتيات من سن سنتين إلى 20 سنه (يمين)، وللأولاد (يسار)، عن (Whitney and Rolfes, 2008).

وعادةً ما يُفوّت الأطفال في هذه السن وجبة الإفطار المهمة لزيادة القدرة على الاستيعاب والأداء الدراسي. ولمعالجة هذه المشكلة على الأم تعويد طفلها على الاستيقاظ باكراً من النوم ليتناول وجبة الإفطار في المنزل حيث أن الأطفال الذين لا يتناولون وجبة الإفطار يكونوا أقل قدرة على التركيز والانتباه ويشعرون بالجوع والإرهاق بعد فترة قصيرة من بدء اليوم الدراسي، كما أن على الأم تحضير وجبة إضافية مكملة لكي يتناولها الطفل في المدرسة ليتجنب الأغذية غير الصحية التي تباع في الشارع أو في مقصف المدرسة والتي تتسبب له بالعديد من المشاكل الصحية مثل حالات التسمم الغذائي، والمشاكل التغذوية كالتعرض لمخاطر الإصابة بالأمراض المستقبلية المصاحبة للبدانة، وإضافة إلى مخاطر الإصابة بالبدانة، فإن الإكثار من الأغذية ذات السُعرات الفارغة ومنخفضة القيمة الغذائية والأغذية غير الصحية المتمثلة في المشروبات الغازية والحلويات والسكاكر وغيرها تزداد مخاطر تسوس الأسنان، لذلك فعلى الأمهات البدء بتعويد أطفالهن على العادات الغذائية السليمة وتحفيزهم على زيادة حيويتهم البدنية وإيجاد توازن بين ما يتناولونه من غذاء ونشاطهم البدني الذي يبذلونه بشكل يومي من مراحل مبكرة خصوصاً في مرحلة ما قبل المدرسة Preschool Stage.

وعلى الأم أن تراعي عند إعدادها للوجبة المكملة التي يأخذها طفلها للمدرسة أن تلبي احتياجاته للطاقة والنمو والوقاية وتغطي أنشطته البدنية والعقلية والحركية واللعب والحيوية والنشاط المستمر الذي يزاوله الطفل خلال يومه الدراسي.

التغذية خلال مرحلة المراهقة Adolescence Stage:

تبدأ هذه المرحلة في الغالب عند الفتيان في سن تتراوح بين 12 إلى 15 سنة أما عند الفتيات فتتراوح بداية سن المراهقة بين 10 إلى 12 سنة، وتتميز هذه مرحلة المعروفة بسن البلوغ الجنسي بالنمو السريع والنشاط الزائد، نتيجة الزيادة المفاجئة في نشاط بعض الغُدد في الجسم وخصوصاً غدة ما تحت المهاد Hypothalamus والغدة الصنوبرية والنخامية والدَّرَقيّة والغدد الجنسية، وبالتالي زيادة الاحتياجات الغذائية للمراهقين بشكل عام وخصوصاً احتياجات الطاقة، مما يجعل المراهقين يشعرون بالجوع في معظم الأوقات الأمر الذي يدفعهم لأن يأكلوا كميات كبيرة من الطعام كما تزداد الاحتياجات الغذائية للبروتينات والعناصر الغذائية الصغرى (الفيتامينات والعناصر المعدنية)، وخصوصاً عنصر الحديد لدى الفتيات المراهقات حيث تتضاعف احتياجاتهن للحديد حين يبلغن سن الحيض (الطمث أو الدورة الشهرية)، وتزداد احتياجهن طيلة السنوات التي تلي بدأ الحيض وحتى انقطاعه إلى كميات من الحديد أكبر بكثير من حاجة الفتيان، لذا يجب عليهن تناول كميات أكبر من الأغذية الغنية بالحديد.

وفي مرحلة المراهقة تزداد فترة تغيب المراهقين عن المنزل ويفوتون بعض الوجبات الأساسية في المنزل خاصة وجبة الإفطار، ونتيجة لذلك يزداد كمية ما يتناولونه من أغذية خارج المنزل Over-nutrition، خاصةً الوجبات السريعة Fast Food المليئة بالدهون والسكريات والملح وكذلك المشروبات الغازية والحلويات المرتفعة في محتواها من السُعرات الفارغة، مما يؤدي إلى زيادة إصابتهم بالسمنة Obesity (لاحظ الفقرة السابقة وكيفية معرفة هل المراهق ضمن وزنه الطبيعي أم يعاني من مشاكل تغذوية)، وارتفاع ضغط الدم ونسبة الكوليسترول بالدم، كما يعانون من ضعف مناعة الجسم نتيجة نقص العناصر الغذائية الصغرى وخاصة فيتامينات A و E و C وبعض فيتامينات مجموعة B المركبة، وذلك لأنهم يتّبعون عادة أنظمة غذائية سيئة وغير متوازنة، ولذلك تزداد احتمالية الإصابة بالسمنة مع جهل المراهقين بالعادات الغذائية السليمة وكيفية التخطيط لوجبات غذائية صحية (وهذا ما سبق التنويه إليه في الفصل العاشر).

ومن المشاكل التغذوية التي تواجه المراهقين مشكلة نقص التغذية Under-nutrition وهذه المشكلة قد تكون إما ناتجة عن تناول كميات غير كافية من العناصر الغذائية بما يقل عن الاحتياجات الغذائية الضرورية للنمو في هذه الفترة لمدة طويله، خصوصاً في المجتمعات الفقيرة أو عند المراهقين الذين يعانون من أمراض مزمنة مثل الإصابات الطفيلية أو السل.....الخ. أو قد تكون مشكلة نقص التغذية عند المراهقين ناتجة عن نقص نوعي لأحد العناصر الغذائية الأساسية وخصوصاً الحديد الذي يؤدي نقصه في الغذاء وخصوصاً عند الفتيات المراهقات إلى الإصابة بمرض فقر الدم المتميز بصغر كريات الدم الحمراء وانخفاض كمية الهيموجلوبين فيها.

وتتسبب العديد من العادات الغذائية الخاطئة عند المراهقين في حدوث مشكلة نقص التغذية النوعي، فكما ذكرنا سابقاً أن إتباع أنظمة غذائية سيئة وغير متوازنة يودي إلى نقص العناصر الغذائية الصغرى وخاصة فيتامينات A و E و C وبعض فيتامينات مجموعة B المركبة، كذلك فالإكثار من شرب الشاي عقب الوجبات إلى قلة امتصاص الحديد مما يؤدي إلى الإصابة بفقر الدم، إضافة إلى إن الإقبال على تناول المشروبات الغازية الحاوية على حامض الفوسفوريك مثل الكولا والعزوف عن تناول الحليب ومنتجاته يؤدي إلى الإصابة بحالة هشاشة العظام.

ويمر المراهقين بمرحلة من التقلبات والاضطرابات النفسية التي قد تؤدى إلى الامتناع عن تناول الطعام وهو ما يعرف بفقدان الشهية العصبي **Anorexia nervosa**، أو تناول الطعام بشراهة خوفاً من النحافة وهو ما يعرف بالشَّرَهُ المَرَضيُّ **Bulimia nervosa**.

وفقدان الشهية العصبي **Anorexia nervosa** هو أحد أنواع الاضطرابات المتصلة بالتغذية التي تحدث في الغالب في أوسط الفتيات المراهقات والنساء الصغيرات أو الأشخاص التي تتطلب وظائفهم النحافة مثل عارضات الأزياء أو العدائين....الخ، مما يتسبب بحالة نفسية قد لا يتعرف بها الشخص الذي ينتابه خوف مرضي من أن يصبح بديناً وتتطور عاداته الغذائية بناءً على هذا الخوف ويظل يعتقد أنه يعانى من زيادة في وزنه أو السمنة على الرغم من أنه نحيف والكل يخبره بذلك، مما يؤدي إلى فقدان الشخص الذي يعاني من هذا المرض لوزنه الطبيعي ويعاني من النحافة المرضية، كما يعاني من انخفاض ضغط الدم وبطء ضربات القلب ونمو شعر ناعم على الجسم وتأخر بداية البلوغ كما قد تعاني الفتيات من تأخر دورات الحيض لديهن والأخطر من ذلك قد يعزل العديد من مرضى فقدان الشهية العصبي أنفسهم عن أسرهم وأصدقائهم.

وقد يصل الحال بالشخص الذي يعاني من فقدان الشهية العصبي **Anorexia nervosa** إلى الإصابة بحالة تعرف بالشَّرَهُ المَرَضيُّ **Bulimia nervosa** حيث يعانون من جوع يجعلهم يأكلون بشراهة ونهم وبدون تحكم ويلتهمون كميات كبيرة من الطعام، وفيما بعد يجبرون أنفسهم على التقيؤ (خوفاً من الإصابة بالسمنة) مما يؤدي إلى فقدان السوائل من الجسم وتقرح الحنجرة الدائم والإصابة بتلف الأسنان واللَّثة نتيجة تأثير العصارة المعدية الموجودة في القيء.

الشكل رقم (199) يوضح أعراض الإصابة بفقدان الشهية العصبي (يمين)، عن (Sizer and Whitney, 2008)، الشَّرَهُ المَرَضيُّ وتقيؤ الطعام خوفاً من السمنة (يسار)، عن (Whitney and Rolfes, 2008).

التغذية خلال مرحلة البالغين Adult Stage:

إن الملامح العامة للتغذية خلال هذه الفترة تم استعراضها في الفصل السابق حيث ينبغي عند التخطيط للوجبات الغذائية اليومية الحرص على مراعاة القواعد الواردة فيه، بحيث نحرص على الكفاية Adequacy لضمان تناول العناصر الغذائية بالكمية والنوعية المناسبة، والتوازن Balance بين العناصر الغذائية والطاقة بحيث يُتحكم في السعرات الحرارية Calorie control التي يحتاجونها بدون زيادة أو نقصان مع تكثيف العناصر الغذائية Nutrient density المتمثلة في الفيتامينات والعناصر المعدنية مع الحرص على التنوع Variety في المصادر بحيث يحتوي على كل مجاميع الأغذية.

وهذه المرحلة تلي مرحلة المراهقة وتمد حتى بداية مرحلة الشيخوخة، وتتميز هذه المرحلة بتوقف النمو الجسدي الذي استمر خلال مراحل الحياة السابقة وخصوصاً مرحلتي الطفولة المبكرة والمراهقة ولذلك على البالغين مراعاة هذا الأمر وخصوصاً عند حساب كمية السُعرات الحرارية التي يحتاجونها وبما يتماشى مع النشاط البدني اليومي الذي يبذلونه.

وكما سبق الإشارة إلى إن عدم التوازن بين الغذاء النشاط البدني اليومي والإفراط في كمية السُعرات الحرارية التي يتناولها الشخص يؤدي إلى إصابته بالسمنة، وقد سبقت الإشارة أيضاً إلى أنه يمكن معرفة هل الشخص سمين أو نحيف أو ضمن مدى الوزن الطبيعي من خلال مقياس مُؤشِّر كتلة الجسم (BMI)، إلا أن هذا المؤشر لا يعطى نتائج صحيحة مع الأشخاص الذين يقومون بأعمال بدنية شاقة كالحدادين وعمال المناجم والرياضيين فهؤلاء يكون المؤشر لديهم عالي بالنسبة لطولهم بسبب زيادة كتلة العضلات لديهم، وبالتالي زيادته عن الحدود التي سبق ذكرها لا يعني أنهم يعانون من السمنة.

ومع أن السمنة هي تراكم غير طبيعي للدهون في مخزون الأنسجة الدهنية في كل أجزاء الجسم إلا أن الدهون المتراكمة في منطقة البطن (حول الخصر) أشد خطرا من الدهون الموجودة في محيط الأرداف أو في أي جزء آخر في الجسم، فهي تشكل العامل الأكثر خطورة للإصابة بالأمراض المصاحبة للسمنة حيث ترتبط بزيادة مقاومة الجسم لفعل الإنسولين حيث يعجز الجلوكوز عن دخول خلايا الجسم، فيقوم البنكرياس بإفراز كميات إضافية من الإنسولين للمحافظة على مستوى السكر بالدم ويؤدي ذلك إلى ضعف خلايا بيتا في البنكرياس وحدوث مرض السكر النوع الثاني. ومن المشاكل الأخرى لتراكم الدهون في منطقة البطن حدوث المتلازمة الايضية Metabolic Syndrome التي تتمثل في الاستعداد للإصابة بكثير من المشاكل الصحية

كأمراض القلب والسكتة الدماغية وارتفاع ضغط الدم واضطرابات دهون الدم.

الشكل رقم (200) يوضح زيادة ملحوظة في كمية الدهون المتراكمة في منطقة البطن عند الأشخاص الذين يعانون من السمنة، عن (Whitney and Rolfes, 2008).

ومن الملاحظ أنه عند الذكور تتركز الدهون في منطقة الصدر وأعلى البطن وأسفل الظهر (وهو ما يعرف بالسمنة المركزية أو شكل التفاحة)، في حين تتركز الدهون عند النساء في الغالب في الأرداف وأعلى منطقة الفخذ وأسفل البطن (وهو ما يعرف بالسمنة الطرفية أو شكل الكمثرى)، ولذلك فقد أُعتمد قياس محيط الخصر كمؤشر لمعرفة السمنة، فهنالك ارتباط بين محيط الخصر ومحتوى الدهون في البطن (مكان تجمع معظم الدهون).

الشكل رقم (201) يوضح السمنة المركزية أو شكل التفاحة عند الذكور والسمنة الطرفية أو شكل الكمثرى عند الإناث، عن (Schiff and Wardlaw, 2008).

وتعتبر قياسات محيط الخصر مثالية إذا كانت أقل من 94 سم عند الرجال وأقل من 80 سم عند النساء لكن إذا كانت قياسات محيط الخصر بين 94 - 101 سم للرجال، و 80 - 87 سم للنساء تزداد خطورة الإصابة بالمُتَلَازِمَة الأيضية Metabolic Syndrome أو ما تُعرف بمتلازمة مقاومة الأنسولين وهي مزيج من الاضطرابات الصحية التي تزيد من خطر الاصابة بأمراض القلب والشرايين والداء السكري، حيث تعني الاستعداد للإصابة بكثير من المشاكل الصحية المرتبطة كأمراض القلب وتصلب الشرايين واضطرابات دهون الدم وارتفاع سكر الدم وارتفاع ضغط الدم والجلطات الدماغية. في حين أنه إذا كانت قياسات محيط الخصر أعلى من 102 سم للرجال، وأعلى من 88 سم للنساء فإن ذلك يشكل مشكلة صحية خطيرة.

لذلك فأن على الأشخاص الذين يعانون من زيادة الوزن أو السمنة إنقاص وزنهم بشكل تدريجي وبمعدل ½ إلى 1 كيلوجرام في الأسبوع، عن طريق نظام غذائي صحي ومتوازن ومنخفض السُعرات يحرصون فيه على تنظيم كميات وأوقات وجباتهم التي يفضل أن تكون ثلاثة وجبات موزعة خلال النهار وعدم تفويت إحداها (وخصوصاً وجبة الإفطار) لان ذلك يجعل الوجبات السريعة مطلوبة لديهم للتغلب على شعور الجوع، وفي حال شعورهم بالجوع فعليهم تناول وجبات خفيفة ذات سعرات حرارية قليلة غنية بالخضراوات والفواكه الطازجة، ومراعاة النصائح الموجودة ضمن نصائح اختار طبقي Choose MyPlate، إضافة إلى ممارسة النشاط البدني والرياضة بما لا يقل عند 30 دقيقة في اليوم معظم أيام الأسبوع.

أما الوجه الأخر للسمنة هو النحافة، والنحافة وصف لحالة الجسم الذي يكون أقل من معدل الوزن الطبيعي، وتحسب درجة النحافة استناداً لمقياس مُؤشِّر كتلة الجسم BMI، وتقسم درجات النحافة إلى:

- نحافة بسيطة ويكون مُؤشِّر كتلة الجسم BMI بين 18,49 و 17,0.
- نحافة متوسطة ويكون مُؤشِّر كتلة الجسم BMI بين 16,99 و 16,0.
- نحافة شديدة ويكون مُؤشِّر كتلة الجسم BMI أقل من 16,0.

كما يمكن أن نقسم أنواع النحافة إلى نحافة أولية بسبب عدم تناول ما يكفي من الغذاء، وهذه الحالة يمكن تفاديها أو علاجها والحد منها في حال حدوثها بتناول غذاء صحي متوازن يتم فيه زيادة السعرات اليومية للشخص الذي يعاني من النحافة تدريجيا حسب استجابته الشخصية والإكثار من تناول الوجبات الصغيرة الخفيفة الغنية بالعناصر المغذية الدقيقة والبروتينات ذات القيمة الحيوية العالية والسُعرات الحرارية والحرص على تناول الطعام ببطء، وتحاشي العادات الغذائية السيئة المشار إليها سابقاً والتوقف عن التدخين (إذا كان الشخص مدخن للتبغ) مع ممارسة النشاط البدني والأنشطة الرياضية باعتدال وبصورة منتظمة وتجنب التمارين العنيفة، فذلك يساعد علي فتح الشهية وتحسين التمثيل الغذائي.

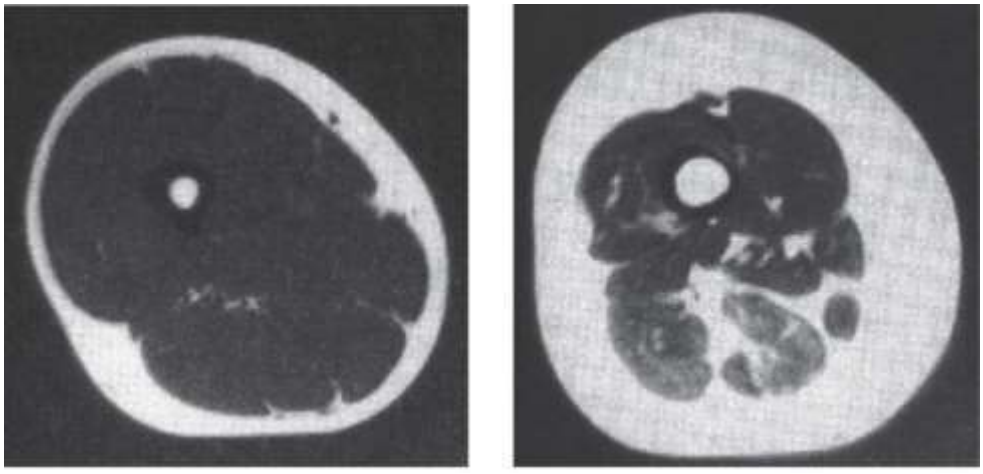
أما النوع الثاني من النحافة فهي النحافة الثانوية التي قد تكون نتيجة لإصابة الإنسان ببعض الأمراض مثل الإصابة بالطفيليات والديدان الطفيلية في الامعاء أو حالة من سوء امتصاص في الامعاء مثل مرض السيلياك أو التهاب جدار الامعاء المزمن أو في حالات العلاج الكيمائي أو الاشعاعي للسرطان أو الإصابة ببعض الأمراض المزمنة مثل الداء السكري أو مشاكل في الغده الدرقية أو الإصابة بمتلازمة نقص المناعة المكتسب (الايدز) أو نتيجة إصابة الشخص بحالة من فرط نشاط الحركة الدودية للأمعاء، كما أن النحافة الثانوية قد تكون نتيجة بعض الاضطرابات العضوية والنفسية كالتوتر والاكتئاب والاحباط.....الخ.

ويمكن علاج هذا النوع من النحافة بعلاج السبب المباشر لها أو التقليل من أثاره المباشرة إضافة إلى ما سبق الإشارة إليه من الالتزام بنظام غذائي صحي متوازن مع ممارسة النشاط البدني والأنشطة الرياضية باعتدال وتجنب العادات الغذائية السيئة.

التغذية خلال مرحلة الشيخوخة Aging Stage:

الشيخوخة هي المرحلة الأخيرة من مراحل حياة الإنسان والمقصود بها التقدم في السن وما يرافقه من تغيرات وظيفية طبيعية وأعراض ضعف بعض أعضاء الجسم، وتحتاج هذه المرحلة إلى عناية خاصة حيث يحتاج الشخص المسن إلى عناية خاصة من ناحية تنظيم و نوعية غذائه و طرق تقديمه، حيث يبدأ المسن بفقد الأسنان وتقل قدرته على مضغ الطعام ويعاني من مشاكل في اللثة كما تقل حاستي الشم و التذوق عند المسن وكذلك يقل معدل افراز العصارات الهاضمة فتنخفض قدرة المسن على هضم طعامه وامتصاصه بشكل جيد.

وإضافة لكل ما سبق يقل كفاءة جهازهم المناعي كما تنخفض نسبة الماء في الجسم عند المسنين وتقل كثافة عظامهم وتزداد هشاشة ويعانون من قصور في الحركة نتيجة التهاب المفاصل والفقرات مما يعرضهم لزيادة امكانية الإصابة بالسمنة وما يصاحبها من مشاكل صحية، كما يحدث ضمور في عضلاتهم بينما تزيد الأنسجة الدهنية وهذا ما يوضحه الشكل التالي.



الشكل رقم (202) مقاطع عرضية من فخذ امرأتين تبدوان بنفس الحجم، إلا أن المقطع العرضي الأيسر لامرأة شابة عمرها 20 سنة نسيج العضلات فيه أكثر كثافة، في حين أن المقطع العرضي الأيمن لامرأة مسنة عمرها 64 سنة يظهر فيه ضمور في نسيج العضلات واكتساب لمزيد من الأنسجة الدهنية فيه، (Whitney and Rolfes, 2008).

ويختلف احتياج المُسنين من العناصر الغذائية مع تقدم العمر، ويؤثر في ذلك العديد من العوامل التي تُلخص في العوامل الوراثية والبيئية والعادات الغذائية (جيده أو سيئة) وممارسة أو عدم ممارسة النشاط البدني والأنشطة الرياضية خلال فترات حياتهم السابقة، وكذلك إصابتهم ببعض الأمراض المزمنة وتعاطيهم لبعض الأدوية التي قد تتداخل مع بعض العناصر الغذائية، إضافة إلى ما سبق ذكره من التغيرات الوظيفية الطبيعية التي يمر بها المسن في هذه المرحلة من مراحل الحياة، ويجب مراعاة جميع ما سبق في تغذية المسنين وحساب الاحتياجات الغذائية لهم.

احتياجات المسنين من السعرات الحرارية والعناصر الغذائية:

اولاً - السعرات الحرارية:

تقل احتياجات المسنين من السعرات الحرارية مع تقدم العمر وذلك لنقص معدل الأيض الأساسي بسبب ضمور العضلات وانخفاض الانسجة العضلية في مقابل زيادة الأنسجة الدهنية لدى المسنين وكذلك نتيجة قلة النشاط البدني المبذول، وتشير المراجع إلى ضرورة تخفيض السعرات الحرارية بمعدل 5 % لكل عقد من العمر بعد سن الخمسين.

وعلى المسنين الحرص على تناول الكربوهيدرات المعقدة (بما يشكل ما معدله 50 إلى 60 % من السعرات الحرارية الكلية المحسوبة للمسن وذلك لادخار البروتينات كي لا تستخدم كمصدر للطاقة) وخصوصاً تلك الموجودة في الحبوب الكاملة والبقوليات والخضروات والفواكه والتي تحتوي أيضاً على الألياف المهمة في الوقاية من الإمساك الذي يشكل مشكلة للمسنين.

ثانياً - الاحتياجات من البروتينات:

يقل معدل افراز العصارات الهاضمة عند المسنين وبالتالي تقل كفاءة هضم وامتصاص البروتينات، ونظراً لأنه ينبغي مراعاة احتياجات المسنين من البروتينات فيجب زيادة المُخَصَّص الموصى به يوميا من البروتين (RDA) من 0,8 جرام من البروتين لكل كيلوجرام من وزن الجسم لدى البالغين لتبلغ مدى بين 1,00 جرام/كيلوجرام إلى 1,25 جرام/كيلوجرام من وزن جسم المسن، من البروتينات ذات القيمة الحيوية العالية والمنخفضة في سُعراتها الحرارية كاللحوم خالية الدهن.

ثالثاً - الاحتياجات من الدهون:

يجب مراعاة أنه لا تتأثر قدرة المسنين على هضم وامتصاص الدهون، ونظراً لوجوب تخفيض السُعرات الحرارية للمسنين فينبغي الحرص على تقليل الدهون المتناولة بشكل عام (بحيث لا تزيد عن 30 % من السعرات الحرارية الكلية) مع الحرص على خفض الدهون الصلبة (المشبعة) والدهون المتحولة (الحاوية على روابط مزدوجة في وضع مخالف Trans)، والإقلال من الأغذية الدهنية الحاوية على الكولسترول.

رابعاً - الاحتياجات من الماء:

تنخفض نسبة الماء في الجسم عند المسنين وتقل فعالية الاستجابة للعطش كما تقل كفاءة الكُلى لديهم في استرداد الماء قبل فقده كبول، وقد تزيد بعض الأدوية من إمكانية فقد الماء، وبالتالي يزداد خطر تعرضهم للجفاف، وعليه ينبغي على المسنين الإكثار من شرب الماء حتى دون الشعور بالعطش.

خامساً - الاحتياجات من الفيتامينات والعناصر المعدنية:

إن نقص كمية الغذاء المُتناول من المسنين وكذلك وتعاطيهم لبعض الأدوية التي تتداخل مع بعض العناصر الغذائية الدقيقة، قد يؤدي إلى نقص بعض الفيتامينات والعناصر المعدنية التي يحتاجونها، كما أن نقص التعرض للأشعة الشمس يزيد من حاجة المسنين لفيتامين D المهم لامتصاص الكالسيوم المهم للمسنين، إضافة إلى أن نقص إفراز المعدة للعنصر الداخلي Intrinsic factor الضروري لامتصاص فيتامين B_{12} في الأمعاء الدقيقة يزيد من حاجة المسنين إلى هذا الفيتامين. وفي المقابل فإن انخفاض وظائف الكبد يجب أن نتجنب معا الكميات الزائدة من فيتامين A وخصوصاً الموجودة في الأغذية الغنية بالفيتامين كزيت كبد الحوت أو على هيئة مكملات Supplements.

ويمكن لكبار السن الحصول على حاجتهم من الفيتامينات والعناصر المعدنية اذا ما تنوعت مصادر الطعام وخصوصا الخضراوات والفواكه التي تكون جميعا مصدر جيد لها ولمضادات الأكسدة المهمة وخصوصاً في هذه المرحلة العمرية، كما تحوي الخضراوات والفواكه على الألياف المهمة في الوقاية من الإمساك الذي يصبح من الأمور المزمنة لدى المسنين بسبب تراجع انقباضات الجهاز الهضمي ونقص مرونة القولون وقلة تناول السوائل.

وقد سبق الحديث عن الهرم الغذائي المعدل لكبار السن Modified Food Pyramid for Older Adults الذي قدم مقترحات لكل مجموعة من مجاميع الأغذية وذلك من خلال إرشادات مُقدمة بطريقة مُبسطة وواضحة، حيث تُشير قاعدته لمجموعة متنوعة من الأنشطة تؤكد ضرورة التمارين و الأنشطة المنتظمة لكبار السن، تعلوها صور ثمانية أكواب من الماء للتذكير بضرورة المحافظة على تناول الماء لتجنب الجفاف، وفي أعلى قمة الهرم يوجد عَلَم يذكر باحتمال احتياج كبار السن إلى كميات إضافية من الكالسيوم و فيتامين D و B_{12} على هيئة مكملات نتيجة زيادة الاحتياج لهذه العناصر مع تقدم العمر، ويؤكد الهرم على تناول الأغذية الغنية بالفيتامينات والمعادن والمواد المغذية الأخرى حتى لا تؤثر نقص كمية الغذاء المتناول من قِبل كبار السن على النسب الضرورية من هذه المغذيات الدقيقة، والتركيز على وفرة الألياف في هذه الأغذية المقترحة لضمان حركة الأمعاء بصورة جيدة وعدم التسبب في الإمساك.

المراجع

References

المراجع العربية:

١- **الأعسر، عبدالمنعم محمد (1996):** أسس الكيمياء الحيوية (المجلد الأول والثاني). المكتبة الأكاديمية، القاهرة، جمهورية مصر العربية.

٢- **التكروري، حامد و المصري، خضر (1994):** تغذية الإنسان. دار حُنين للنشر والتوزيع، عمان، الاردن.

٣- **النوري، فاروق فاضل و الطالباني، لامعة جمال (1981):** تغذية الإنسان. مديرية دار الكتب للطباعة والنشر، جامعة الموصل، الموصل، الجمهورية العراقية.

٤- **بورجيس، آن و سوير، بيتر جلا (2008):** دليل الأسرة التغذوي. منظمة الأغذية والزراعة التابعة للأمم المتحدة، روما، إيطاليا.

٥- **ساجدي، عادل جورج و على، علاء يحي (مترجمون) (1983):** كيمياء الأغذية (أرنولد و ودس، مؤلفون). جامعة البصرة، البصرة، الجمهورية العراقية.

٦- **عبدالسلام، محمد نزار إبراهيم (مترجم) (1984):** الكيمياء والكائن الحي (مولي بلوم فيلد، مؤلف). مديرية دار الكتب للطباعة والنشر، جامعة الموصل، الموصل، الجمهورية العراقية.

٧- **عويضة، عصام بن حسن (1997):** أساسيات تغذية الإنسان. جامعة الملك سعود، المملكة العربية السعودية.

٨- **محمد، رضوان صدقي فرج (1991):** كيمياء الليبيدات. مركز النشر لجامعة القاهرة، جمهورية مصر العربية.

٩- **هولفورد، باترك (2000):** التغذية، الدليل الكامل (مترجم إلى العربية، ترجمة مركز التعريب والترجمة). الدار العربية للعلوم، بيروت، لبنان.

المراجع الأجنبية:

1. **Alsharjabi, F.A.A.; Humran, F.K.; and Ba-abbad, A.M.A. (2009):** Nutritional Effects of Spottail Shark (*Carcharhinus sorrah*) liver oil on Biochemical and Embryological changes of White Mice (*Mus musculus*). Bulletin of the Faculty of Applied Science, 1:(1),1-13.
2. **Alsmeyer, R.H.; Cumningham, A.E. and Happich, M.L. (1974):** Equations Predict PER From Amino Acid Analysis. Food Technol., July, 34-40**.**
3. **Berdanier, C.D.; Dwyer, J. and Feldman, E.B. (2008):** Handbook of Nutrition and Food, 2ed edition, CRC Press, New York, USA.

4. **Blei, L. and Odian, G. (2006):** General, Organic, and Biochemistry, Connecting Chemistry to Your Life, 2ed edition, W. H. Freeman and Company, New York, USA.

5. **Boyle, M.A. and Long, S. (2007):** Personal Nutrition, 6th edition, Thomson Learning Book Publishers, New York, USA.

6. **Brown, Judith E., (2011):** Nutrition through the Life Cycle, 4th edition, Wadsworth, Cengage Learning, Belmont, CA, USA.

7. **deMan, J.M. (1999):** Principles of Food Chemistry, 3rd edition, Aspen Publishers, Inc., Gaithersburg, Maryland, USA.

8. **Despopoulos, A. and Silbernagl, S. (2003):** Color Atlas of Physiology, 5th edition, Thieme, New York, USA.

9. **Dietary Reference Intakes series, National Academies Press.** Copyright 1997, 1998, 2000, 2001, 2002, 2004, 2005 by the National Academies of Sciences.

10. **Fox, S. I. (2003):** Human Physiology, 8th edition, McGraw-Hill Companies. New York, USA.

11. **Gaw, A; Cowan, R.; O'Reilly, D.; Stewart, M. and Shepherd, J. (1999):** Clinical Biochemistry, An Illustrated Colour Text**.** Churchill Livingstone Publisher**,** Edinburgh, Scotland**.**

12. **Grosvenor, M. and Smolin, L. (2010):** Visualizing Nutrition-Everyday Choices, John Wiley and Sons, Inc., USA.

13. **Guthrie, H.L. (1983):** Introductory Nutrition, The C. V. Mosby Company, ST Louis, Missouri, USA.

14. **Jian, J. L.; Jian, S. and Jian, N. (2005):** Fundamentals of Biochemistry, , 6th Revised, S. Chand & Company Ltd. New Delhi, India.

15. **Katch, F. I. and McArdle, W. D. (1993):** Introduction to Nutrition, Exercise and Health, 4th edition, William and Wilkins A Waverly Company. Baltimore, USA.

16. **Kris-Etherton, P.M. and Yu, S. (1997):** Individual fatty acid effects on plasma lipids and lipoproteins: human studies. Am. J. Clin. Nutr. 65 (5 Suppl) : 1628S-1644S.

17. **Lloyd, L. E.; McDonald, B. E. and Crampton, E. W. (1978):** Fundamentals of Nutrition. Freeman and Company, San Francisco, USA.

18. **Koolman, J. and Roehm, K. (2005):** Color Atlas of Biochemistry, Thieme, New York, USA.

19. **Mahan, Kathleen. L. and Escott-Stump, S. (2008):** Krause's Food & Nutrition Therapy, 12th edition, Elsevier, Inc., USA.

20. **Marieb, E. N. (2003):** Essentials of Human Anatomy and Physiology, 7th edition, Pearson Education, Inc., publishing as Benjamin Cummings, San Francisco, CA., USA.

21. **Marieb, E. N. and Hoehn, K. (2006):** Human anatomy and physiology, 7th edition, Pearson Education, Inc., publishing as Benjamin Cummings, San Francisco, CA., USA.

22. **Mudambi, S.R. and Rajagopal, M.V. (2007):** Fundamentals of Foods, Nutrition and Diet Therapy, 5th edition, New Age International (P) Ltd., Publishers, New Delhi, India.

23. **Murray, R. K.; Granner, D. K.; Mayes, P. A. and Rodwell, V.W. (2003):** Harper's Illustrated Biochemistry, 26th edition, McGraw-Hill Companies, New York, USA.

24. **Oser, B.L. (1959):** An Integrated Essential Amino Acid Index for Predicting the Biological Value of Protein, in: "Protein and Amino

Acid Nutrition". A. A. Albanese (ed.), Published by Academic Press, New York.

25. **Riordan, Jan; (2005):** Breastfeeding and Human Lactation, Jones and Bartlett Publishers, International, London, United Kingdom.
26. **Schiff, W.J. and Wardlaw, G.M. (2008):** Nutrition for Healthy Living, McGraw-Hill Higher Education, New York, USA.
27. **Sharlin, J. and Edelstein, E. (2011):** Essentials of Life Cycle Nutrition, Jones and Bartlett Publishers International, London, United Kingdom.
28. **Silbernagl, S. and Lang, F. (2000):** Color Atlas of Pathophysiology, Thieme, New York, USA.
29. **Sizer, F. and Whitney, E. (2008):** Nutrition- concepts and controversies, 11th edition, Thomson Learning Book Publishers, New York, USA.
30. **Smolin, L. and Grosvenor, M. (2011):** Healthy Eating a Guide to Nutrition (Basic Nutrition) 2ed ed., Chelsea House Publisher. New York, USA.
31. **Stanfield, P. S. and Hui, Y. H. (2010):** Nutrition and Diet Therapy Self-Instructional Approaches 5th ed., Jones and Bartlett Publishers International. London, United Kingdom.
32. **Thompson, J. L.; Manore, M. M. and Vaughan, L. A. (2011):** The Science of Nutrition, 2ed ed., Pearson Education, Pearson Benjamin Cummings. San Francisco, USA.
33. **Vander, A. J.; Sherman, J. H. and Luciano, D. S. (2000):** Human Physiology, The Mechanism of Body Function, 8th edition, McGraw-Hill Companies. New York, USA.

34. Wardlaw, G.M. and Hampl, J.S. (2007): Perspectives in Nutrition, 7th edition, McGraw-Hill Companies. New York, USA.

35. Whitney, E.; and Rolfes, S. R. (2008): Understanding Nutrition, 11th edition, Thomson Learning, Inc. Belmont CA, USA.

تم بحمد الله

دار السعيد للطباعة والنشر
Al-Saeed Publishing & Printing House

نبذة عن الكتاب

يتناول هذا الكتاب المبادئ الأساسية لتغذية الإنسان والتمثيل الغذائي بأسلوب علمي أكاديمي يجمع بين الدقة والوضوح. ويعرض الأسس الفسيولوجية للتغذية، ووظائف العناصر الغذائية المختلفة من كربوهيدرات ودهون وبروتينات وفيتامينات ومعادن وماء، ودورها في دعم صحة الإنسان ونموه. كما يناقش مفاهيم الطاقة الغذائية والاحتياجات التغذوية عبر مراحل الحياة المختلفة، ويربط الجوانب النظرية بالتطبيقات العملية للتغذية الصحية.

About the Book

This book addresses the fundamental principles of human nutrition and metabolism in a scientific and academic style that combines precision and clarity. It presents the physiological basis of nutrition, the functions of various nutrients—carbohydrates, fats, proteins, vitamins, minerals, and water—and their role in supporting human health and growth. It also discusses the concepts of energy and nutritional needs across different life stages, connecting theoretical aspects with the practical applications of healthy nutrition

حقوق الطبع محفوظة لدى دار السعيد للطباعة والنشر – جامعة السعيد، تعز – اليمن.
Copyrights Preserved at Al-Saeed Printing & Publishing House, Al-Saeed University, Taiz – Yemen

978-9075-0-1863-7

سلسلة الكتب والمناهج الأكاديمية