دروس مقياس الكمياء الحيوية

إعداد: د. زيــان الهواري

بسم الله الرحمٰن الرحيم

- قال تعالى: قوله تعالى: "لَقَدْ خَلَقْنَا الْإِنْسَانَ فِي أَحْسَنِ تَقْوِيمٍ" (التين: 3)، عن ابن عباس (فِي أَحْسَنِ تَقْوِيمٍ) قال: في أعدل خلق (الطبري).

- وقال:" سَنُرِيهِمْ آيَاتِنَا فِي الْآفَاقِ وَفِي أَنفُسِهِمْ حَتَّىٰ يَتَبَيَّنَ لَهُمْ أَنَّهُ الْحَقُّ ۗ أَوَلَمْ يَكْفِ بِرَبِّكَ أَنَّهُ عَلَىٰ كُلِّ شَيْءٍ شَهِيدٌ" (فصلت: 53).

(وَفِي أَنْفُسِهِم) مما اشتملت عليه أبدانهم، من بديع آيات الله وعجائب صنعته، وباهر قدرته، وفي حلول العقوبات والمثلات في المكذبين، ونصر المؤمنين (حَتَّى يَتَبَيَّنَ لَهُمْ) من تلك الآيات، بيانًا لا يقبل الشك (أَنَّهُ الْحَقُّ) وما اشتمل عليه حق (السعدي).

فهرس المواضيع:

.1مدخل إلى علم الكمياء الحيوية: 8

1.4.1الكمياء الحيوية و النشاط البدني:.....9

مجالات تدخل بيوكمياء النشاط البدني:.....9

2.بعض المصطلحات المستعملة (من معجم: "Oxford Dictionary of Biochemistry and Molecular Biology (TIBS)," 1998):..... 9

3.بنية العالم الأرضي أو ما يسمى بالمحيط الحيوي Biosphere:.....14

3.4 الذرة: 14

4. الجزيئة: 15

4.4الجزيئة الضخمة The Macromolecule: 15

النظام الإيكولوجي Ecosystem:.....16

.1**الخلية الحيو انية:**..... 17

4.5الخصائص الكميائية لمكونات الخلية:..... 26

الأيونات الغير عضوية IONS INORGANIC (Theillet et al., 2014):..... 26

4.5.1الأس الهيدروجيني pH (Theillet et al., 2014): 26

4.5.2المستقلبات METABOLITES (Theillet et al., 2014): 27

4.5.3الخصائص العزلية DIELECTERIC PROPERTIES (Theillet et al., 2014):..... 27

4.5.4اللزوجة VISCOSITY (Theillet et al., 2014):..... 28

4.5.5إزدحام الجزيئات الضخمة (Theillet et al., 2014):..... 28

4.6البنية الطبقية لجسم الانسان:..... 29

.5المكونات الأساسية لجسم الانسان:.....29

5.4المكونات الاساسية لجسم الانسان باعتبار الكتل و المواد العضوية:..... 32

6.الغذاء ومنابع إنتاج الطاقة في جسم الإنسان:.....34

6.4المركبات الطاقوية في جسم الانسان:..... 34

6.5ما هو الـ **ATP** : 35

6.5.1دور الـ ATP في الوظيفة الخلوية:..... 36
تفصيل تدخل الـ ATP في الوظائف المذكورة سابقا:..... 37
.7الكربوهيدرات أو السكريات:.....38
7.4انواعها:..... 38
7.5البنية الكميائية للسكريات (MacLaren & James, 2012): 41
7.6وظائف الكربوهيدرات في الجسم:..... 43
8.الدهون FAT : 44
8.4دور الدهون في جسم الإنسان:..... 45
8.5الأحماض الدهنية:..... 46
8.6أنواع الأحماض الدهنية في الجسم:..... 47
8.6.1الأحماض الدهنية المشبعة:..... 47
8.6.2الأحماض الدهنية الغير مشبعة:..... 47
8.7المستويات المعيارية لقيم كوليسترول الدم:..... 49
9.البروتينات:.....50
9.4دور البروتينات:..... 51
9.5الأحماض الآمنية:..... 52
9.6اهم المنابع الغذائية للأحماض الآمنية الأساسية:..... 54
9.7الاحماض النووية **NUCLOID ACIDS** :..... 56
9.8مضاعفات داء فرط تناول البروتين:..... 57
9.9إختبارات معرفة مستويات البروتينات في جسم الإنسان:..... 59
9.9.1اختبار الدم:..... 59
9.9.2اختبار البول:..... 59
9.9.2.1مستويات البروتين النموذجية في البول والدم:..... 59
9.9.3متى أحتاج إلى اختبار البروتين الكلي؟..... 60
9.9.3.1تفسير النتائج:..... 60

9.9.3.2ماذا تعني مستويات البروتين العالية؟..... 61

9.9.3.3الإجراء:..... 62

10.الأيض METABOLISM:.....62

11. الهدم Catabolism:.....64

12. البناء anabolism :.....64

13.هدم و بناء الكربوهيدرات أو السكريات:.....66

13.4هدم السكريات:..... 66

13.4.1تحليل الجليكوجين glycogenolysis:..... 66

13.4.2الجلكزة glycolysis:..... 67

13.4.3أيض اللاكتات أو حمض اللبن lactate metabolism: 71

13.4.4تفاعل نزع كربوكسيل البيروفات أو أكسدة البيروفيك أو تفاعل اللإرتباط 'link' The reaction؛ إنتاج الأستيل-مرافق الأنزيم أ Acetyl-CoA :..... 72

13.4.4.1حلقة ثلاثي الستريك أو حلقة كرابس Three carboxylic cycle (TCA or Krebs): ... 73

13.4.4.2سلسلة نقل الإلكرونات Electron transport chain: 74

13.4.4.3الفسفرة التأكسدية Oxidative phosphorylation:..... 75

13.4.4.4حساب الـ ATP المخلق من أكسدة الجلوكوز Calculation of in glucose oxidation ATP generated :..... 76

- **إعادة نظرو تصحيح في الحصيلة الطاقوية الناتجة عن للفسفرة التأكسدية:.....77**
- **فارق الطاقة الناتجة من الهدم الكلي و الجزئي للجلوكوز:.....78**

13.4.5أيض الفركتوز FRUCTOSE METABOLISM:..... 79

13.5بناء الجلوكوز Gluconeogenesis: 79

13.5.1بناء الجليكوجين Glycogenesis:..... 82

13.6أيض الدهون FAT METABOLISM:..... 84

13.6.1هدم الدهون Lipolysis:..... 84

13.6.2أكسدة الأحماض الدهنية β-oxidation: 87

13.6.2.1تكون الجسم الكيتوني **Ketone body formation**: 89
13.7بناء الدهون:..... 90
13.7.1تكوين الأحماض الدهنية Formation of fatty acids:..... 90
13.7.2إستخلاص ثلاثي الغليسيريد Triglyceride synthesis: 90
13.8أيض البروتينات **Protein Metabolism** :..... 92
13.8.1هدم البروتينات Proteins catabolism:..... 93
13.8.2الدورة البولية Urea Cycle:..... 94
13.8.3طرق تحليل الأحمض الآمنية Pathways of Amino Acid Degradation: 95
13.9بناء البروتينات:..... 96
13.9.1تشكيل الأحماض الآمنية Amino acid synthesis:..... 96
13.9.2زمن تخليق البروتينات Time duration of protein synthesis: 96
14.طرق الأيض:..... 97
14.4العوامل المساعدة على الأيض:..... 98
15.أهم طريق و منابع السلسلة التنفسية لإنتاج الطاقة الـ ATP داخل خلايا الانسان:..... 99
15.4دور الـ **ATP** في الوظيفة الخلوية:..... 99
15.4.1منابع وأنظمة إنتاج الطاقة (ATP) خلال الجهد البدني:..... 100
15.5ميزان الطاقة والوزن:..... 101
15.5.1الطاقة الداخلة Energy Intake (EI):..... 102
- **الطاقة المستهلكة Energy expenditure (EE)**:..... 104
15.5.2تغيرات ميزان الطاقة و ترجمة الوزن:..... 106
كيف تعرف صنف وزنك؟..... 107
16.الفيتامينات Vitamins:..... 109
17.الأملاح المعدنية: 111
18.الهرمونات:..... 112
18.4مكونات الجهاز الهرموني:..... 112

18.5تصنيف الهرمونات Hormones classification: 113
18.6أنواع الإفرازات الهرمونية:..... 113
19.محاور الإفراز الهرموني وخصائصه:..... 114
19.4بعض الهرمونات: غدتها المفرزة وأهدافها وأثرها..... 115
19.5تعديل الإفراز الهرموني:..... 118
19.6طرق تأثير الهرمونات على الخلية البشرية:..... 120
19.7تأثير التمرين البدني على مستويات تركيز الهرمونات:..... 120
المراجع:..... 123

بسم الله الرحمن الرحيم

1. مدخل إلى علم الكمياء الحيوية:

تعريف :

يوصـــف علم **الكيمياء الحيوية** أحياناً بأنه **علم كيمياء الحياة** وذلك نظراً لارتباط الكيمياء الحيوية بالحياة، فقد ركز العلماء في هذا المجال على البحث في كيمياء الكائنات الحية على اختلاف أنواعها، عن طريق دراســة المكونات الخلوية لهذه الكائنات من حيث التراكيب الكيميائية لهذه المكونات ومناطق تواجدها ووظائفها الحيوية، فضــلا عن دراســة التفاعلات الحيوية المختلفة التي تحدث داخل هذه الخلايا الحية، من حيث البناء والتخليق، أو من حيث الهدم وإنتاج الطاق.

و جاء في (Oxford dictionary of Biochemistry and molecular biology, 2006, p 75) أن الكمياء الحيوية أو *الكمياء البيولوجية* هي فرع من فروع الكمياء التي تبحث في *الروابط*، *التفاعلات*، و *عمليات أخرى تحدث في الجســم*. Lehninger عبر عن تحديات كميائي الحياة فيما يلي: "الكائنات الحية مكونة من جزيئات غير حية، و عند عزل هذه الجزيئات و إختبارها فإنها تخضــع لجميع قوانين الفيزياء و الكمياء المتعلقة بســلوك المواد الجامدة، و مع ذلك فإن الكائنات الحية تملك خصــائص لا تظهر في مجموعات الجزيئات الجامدة"، و في هذا الصــدد Horowitz إقترح مجموعة من المعايير للكائنات الحية حيث يقول :" الأنظمة الحية لها خصــائص التكرار، البناء و التحول"، فلذلك كميائيو الحياة هم بالتالي معنويون بالطريقة التي تعرض بها هذه الجسام الحية هذه الخصائص.

فالكمياء الحيوية : هي كمياء الحياة التي تهتم بدراسة:

أ- المكونات الجزئية للخلية الحيوانية من الناحية التركيبة و الوظيفية.

ب- تهتم بالتفاعلات الكميائية البيولوجية التي تحدث داخل الخلية، مثل عملية الأيض أو الميتابوليزم (METABOLISME)، و العوامل التي تنظم هذا التفاعلات، و هذا الاختصار يشمل عدة مؤشرات متعلقة بأنظمة الجسم، و حالات تغير قيمها المعيارية في حالة الصحية أو المرضية أو النمو أو خلال مراحل مماسة النشاط البدني.

1.4.1 الكمياء الحيوية و النشاط البدني:

حســب ما ســبق من التقريب المتعلق بمبادئ الكمياء الحيوية العامة، فإن الكمياء الحيوية المطبقة في حالة النشاط البدني بجميع مستوياته الممارستية و فئاته العمرية، هو ميدان يسلط الضوء بشكل كبير على الأيض و منابع الطاقة خلال فترات الجهد البدني، و ما يحدث كذلك من تغيرات كمائية قبلية و بعدية تابعة أو مرافقة للجهد البدني داخل الخلايا و خارجها، و كذلك التغيرات الطارئة في محتويات الدم و من عمل الهرمونات و الأنزيمات ، بل و كل ما يتعلق بالنشـاط البدني من الجانب الكميائي لجميع أنظمة و أجهزة الجسم، قد تتطرق إليها الكتب المتخصصة في هذل الميدان بعدة أوجه.

مجالات تدخل بيوكمياء النشاط البدني:

الكمياء الحيوية علم يدرس الكائنات الحية في مســتوا جزيئ و حتى ذري، مما تدعو حاجيات البيولوجيا و الطب و الصــيدلة و البيطرة و النشــاط البدني بجميع تخصــصــاتهم، إلى دراســته و تدخل آلياته في معرفة عمل الكائنات الحية كميائيا، لتدقيق مستوى و أثر التدخل في موضوع تلك العلوم.

فمن الميادين التي تدرس فيها الكمياء الحيوية، لدينا:

- ميدان النشــاط البدني ككل، و يعم ذلك الترفيهي و الرفيع المســتوى و الصــحي و التربوي و حتى السريري.
- الصحة العامة.
- التدريب الرياضي.
- النشاط البدني الترفيهي.
- النشاط البدني المكيف.
- النشاط البدني للصحة.

و قد جاء في كتاب "BIOCHIMIE DES ACTIVITES PHYSIQUES"، قول المؤلفين:

"*La compréhension des grandes adaptations de l'organisme à l'exercice impose donc une connaissance approfondie des mécanismes biochimiques sans lesquels l'application des techniques d'entraînement serait purement empirique et spéculative...il semble de plus en plus important aux entraîneurs, éducateurs, médecins du sport, kinésithérapeutes, etc., d'appréhender et de maîtriser ces mécanismes physiologiques sous-jacents de la performance motrice humaine.*" p IIV (Poortmans & Boisseau, 2003).

2. بعض المصطلحات المستعملة (من معجم: "Oxford Dictionary of Biochemistry and Molecular Biology (TIBS)," 1998):

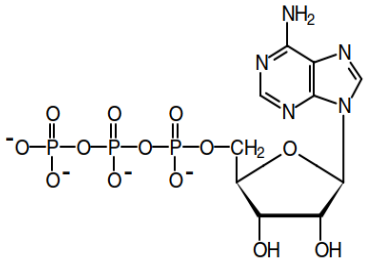
* **الكربوهدارت أو الفحوم المهدرجة Carbohydrates:** هي مجموعة من المكونات العضوية أساسها المعادلة العامة $C_X(H_2O)_Y$. المجموعة تظم أحاديات السكر Monosaccharides، و الثنائية أو ضئيلة السكر Oligosaccharides و متعددت الســكر Polysaccharides، و التي يتوســع عادة إدراج مشــتقاتها، و بعض الأحيان، الســيكليتولات

(المشبعات الحلقية الغولية، أي مشبعات حلقية متعددة الوظيفة الكحولية) المستعملة في عدة ميادين كالأدوية و غيرها، كما أنها تشكل مع مركبات أخرى كالدهون و البروتينات مركبات معقدة، مثل: DNA و RNA و glycoproteins و glycolipids و glycoaminoglycans، مثل amylose، amylopectin، chitin.

* **الدهون Fats: 1** أي ثلاثي الغليسيريد أو خليط من ثلاثي الغليسيريد، الذي يتجمد في درجة أقل من 20° مئوية، و عادة ما يشار إلى الزيوت التي تكون سائلة في نفس درجة الحرارة. **2**/*اسم بديل* للدسم lipid. **3**/*اسم بديل* للنسيج الدهني.
* **البروتينات Proteins:** هي المحتوى الرئيسي من الجزيئات الضخمة لأي مجموعة كبيرة من المكونات العضوية الموجودة الأجسام الحية، كما أن كل الأنزيمات هي عبارة عن بروتينات، كما أن النشاط البنائي يتشكل أساسا من طرف جزيئات من الأحماض النووية.
* **الطاقة Energy (*E*)**: قدرة النظام على القيام بعمل، و توجد أشكال متعددة من الطاقة-القدرة، الحركية، الكهربائية، الكميائية، النووية، و المشعة- التي يمكن تحويلها داخليا بطريق مناسبة.

نظام الوحدات الدولية International system units (SI) للطاقة هو الجول Joule.

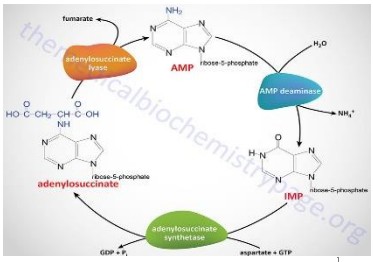
* **الحريرات Calorie:** يرمز إليه بالكلوري cal، و هي أي وحدة من مختلف وحدات الحرارة أو الطاقة في نظام س.غ.ث CGS (المسافة، الوزن، الزمن)، و في الأصل هي كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة 1 غرام من الماء بدرجة مئوية واحدة (C° مثلا)، و هو ما يعادل 4.1868 جول في الجدول الحريري الدول(cal_{IT}). و في علم التغذية **1 كيلوكلوري= 10^3 كلوري ($1\ Kcal = 10^3\ cal_{IT}$).**
* **الأيض أو الاستقلاب Metabolism: 1** مجموعة التفاعلات الكميائية و التغيرات الفيزيائية التي تحدث داخل الكائنات الحية، و هو متضمن للبناء و الهدم.
* **الهدم Catabolism:** هي عملية أيضية يدخل فيها تكسير مواد معقدة إلى نواتج صغيرة، بما فيها تكسير و إنفصال الروابط الكربونية مع تحرر طاقة لتستعملها الخلية الحية.
* **البناء anabolim**: هو الجزء من الأيض الذي يتطلب طاقة أين تتحول به المركبات البسيطة إلى مركبات أكثر تعقيدا، كما في النمو و عمليات التخليق الحيوي *biosynthetic*.
* **ATP**: إختصار للأدينوزين 5'-ثلاثي الفوسفات ***adenosine 5'-triphosphate:*** يرمز إليه بـ ***PPP*'5Ado أو pppA**؛ و الإسم الموصى به للأدينوزين ثلاثي الفوسفات **(إختصار: ATP):** و عالميا هو مرافق أنزيم و أنزيم معدل.



الشكل 1: البنية الكميائية لـ ATP

* **ADP**: إختصار للأدينوزين 5'-ثنائي الفوسفات ***adenosine 5'-diphosphate***. يرمز إليه بـ***PP*'5Ado أو ppA**، و الاسم الموصى به **(إختصاره: ADP)**، و هو أحد مشتقات **ATP**، بحيث: $ATP \rightarrow ADP + Pi$

* **AMP**: إختصار للأدينوزين 5'-فوسفات ***adenosine 5′-monophosphate***. يرمز إليه بـ ***Ado5′ P***؛ الاسم البديل الموصى به **(إختصاره: 5'AMP)**، و هو أحد مشتقات ATP، بحيث: $ATP \rightarrow AMP + 2\ Pi$
* **PC**: مخلقة الفوسفات و إختصار للإسم الثلاثي للـ ***N^{ω}-phosphocreatine*** عند الفقريات. و الاسم القديم الغير موصى به هو فوسفاتية التخليق creation phosphate ، بحيث: $PC + ADP \rightarrow C + ATP$
* **IMP**[1]: إختصار **للإينوزين أحادي الفوسفات** ***Inosine monophosphate***، أحد مشتقات الـ **ATP** الناتج من استعماله داخل العضلة الهيكلية المخططة، نتيجة التمرين الرياضي المرهق، بحيث يتبع هذا المركب سلسلة من التفاعلات ليدخل في حلقة **البورينات النووية Purine nucleotides cycle**، و التي ينتهي بدوره إلى البول بعد تحوله في الكبد.



الشكل 2: حلقة البورينات النووية داخل العضلية الهيكلية المخططة.

* **الغوانوزين ثلاثي الفوسفات *Guanosine triphosphate* (GTP)**[2]:

هو مركب عضوي متكون من الغوانين Guanosine (حلقة غوانين و سكر الريبوز) و من مجموعة ثلاثي الفوسفات، صيغته الكميائية $C_{10}H_{16}N_5O_{14}P_3$، **يحتوي على رو ابط فوسفاتية غنية بالطاقة تستعمل في عملية بناء الجلوكوز *gluconeogenesis* و تشكيل البروتين و كوحدة من RNA**، و قد يتم تحويله إلى ATP عن طريق الإنزيم النووي ثنائي فوسفاتي كيناز Nucleoside-diphosphate kinase.

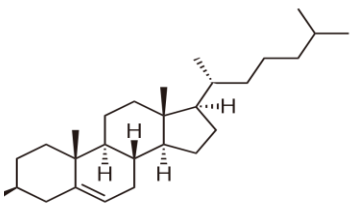
* **حلقة كر ابس Krebs cycle**: نسبة لمكتشفها، و هي حلقة الأحماض ثلاثي ة الكربون *tricarboxylic acids cycle*، أو الحلقة التنفسية التي تحدث داخل الميتوكندري.
* **الهرمونات Hormones**: أي مادة مشكل, بكميات قليلة جدا في عضو ما أو مجموعة خلايا، والتي تنقل (عن طريق الدم أحيانا) إلى عضو أو مجموعة أخرى في نفس الكائن الحي، و التي لديها عمل تنظيمي معين؛ الغدد الصماء.
* **الأنزيمات Enzymes**: أي مادة مركبة ضخمة مكونة من بروتينات، مشكلة طبيعيا أو اصطناعيا، و التي تحفز تفاعل بيوكميائي واحد على الأقل في درجات حرارة مخفضة.
* **حمض اللبن Lactic acid**: حمض ***α*-**هيدركسيبروبيونيك ***α*-hydroxypropionic acid، حمض 2-هيدركسيبروبيونيك 2-hydroxypropionic acid ، حمض قوي (pK_a[3]= 3.86 عند درجة الحرارة 25 °C)، يتواجد في الأنظمة البيولوجية على شكل شارة موجبة، و هو نافع كحافظ للمواد الغذائية.
* **اللبن Lactic**: المتعلق والمشتق من الحليب.
* **حلقة حمض اللبن Lactic acid cycle**: إسم بديل لإسم **حلقة كوري Cori cycle.**
* **الغلكوجين Glycogen**: متعدد الوحدات، و هو تفرع عال من الجلوكان أو متعدد الجلوكوز، متكون من سلاسل D-جلوكوز متفاضلة في الرابطة ***α*(1⟶4)** الجليكوليكية glycosidic linkage ***α*(1⟶4)**، مرتبطة ببعضها البعض بروابط جليكوليكية **α(1⟶6)**؛ عدد قليل من الروابط الجليكوليكية ***α*(1⟶3)** و قد تحدث فيه روابط تراكمية ***α*(1⟶6)**.

[1] https://themedicalbiochemistrypage.org/nucleotides-biosynthesis-catabolism/

[2]

[3] ثابت تفكك الحمض.

* **ثلاثي الغليسريد Triglyceride:** الاسم المكون لثلاثي الغليسيرول Triacylglycerol، حيث لم يعد يستعمل هذا الأخير ، لأن ثلاثي الغليسريد Triglyceride هو المصطلح الصحيح لمركب لديه ثلاثة غليسريلات (الكارديولبين Cardiolipin).
* **الأحماض الدهنية الحرة Free fatty acid (FFA):** أحماض دهنية غير مؤسترة، و غالبا ما يستعمل هذا المصطلح (FFA) لكل الأحماض في الدم.
* **الكوسترول Cholesterol (cholest-5-en-3β-ol):** الستيرول أو مركب حلقي كحولي (وظيفة كحولية في C3) عند الفقريات يشتق منه عدة ستيرويدات (مركبات حلقية)، بما فيها الأحماض الصفراوية و الهرمونات الستيرويدية، حيث يتواجد في جميع الأنسجة الحيوانية، خاصة في الدماغ و الحبل الشوكي، العصارة الصفراوية (هضم الأحماض الدهنية)، حصاة المرارة، و هو أحد مكونات الأغشية الثنائية الطبقة، و كل من الكولسترول و مؤسترات الكولسترول موجودة في البروتينات البلازمية، والمستويات الزائدة منها في البلازما تؤدي إلى تشكل الطبقات الوعائية Atherogenesis.



الشكل3 : البنية الكميائية للكولسترول Cholesterol

* **البروتين الدهني العالي الكثافة high-density lipoprotein (HDL):** أحد أقسام البروتينات الدهنية Lipoprotein الموجودة في بلازمة الدم عند الكثير من الحيوانات، و يعرف كذلك بالـ α بروتينات الدهنية α lipoproteins، حيث إستنبطت تسميتها من كونها تملك ناقلية كهروطبقية عالية highest electrophoretic mobility، و هي حبيبات صغيرة جدا قطرها: 7.5-10 نانومتر nm.
* **البروتين الدهني المخفض الكثافة low-density lipoprotein (LDL):** أحد أقسام البروتينات الدهنية Lipoprotein الموجودة في بلازمة الدم عند الكثير من الحيوانات، و يعرف كذلك بالـ β بروتينات الدهنية β lipoproteins، حيث تملك ناقلية كهروطبقية متوسطة بين الـ α بروتينات الدهنية و بين الأصل، أو ناقلية منخفضة، و هي حبيبات يبلغ قطرها: 19.6-22.7 نانومتر nm.
* **الأملاح المعدنية Mineral: 1** أي نوع من المواد الغير العضوية التي يحصل عليها غالب من التعدين، مثل: الفحم، الحجر، النفط، أو **2** أي نوع من المواد الغير الغضوية محددة التركيب الكميائي و الخواص الفزيائية، و غالبا ما تكون بلورية الصفة.
* **المعادن Metals: 1** أي قسم واسع من العناصر الكميائية التي لها خواص إستثنائية، فهي مرنة، صلبة ، و لها صفة اللمعان، و هي نواقل جيدة للكهرباء و الحرارة، و هي عموما من الأيونات الموجبة البسيطة، او **2** أي مادة أو معدن مكون بكامله أو بغالبيته من واحد أو عدة معادن .

* **المستقلب Metabolite:** أي مادة إما داخلية التشكيل أو خارجية التشكيل بالنسبة للكائن الحي، تشكلت أو تحولت عن طريق عملية الأيض.
* **قوة الهيدروجين Potential of Hydrogen (pH):** أبعاد كمية تعرف باللوغرتم العشاري للنشاط المولي لشوارد الهيدروجين في المحلول، و بما أنه لا يمكن قياس نشاط نوع واحد من الشوارد، فإن الـ pH يعرف عمليا بالمعادلة التالية:

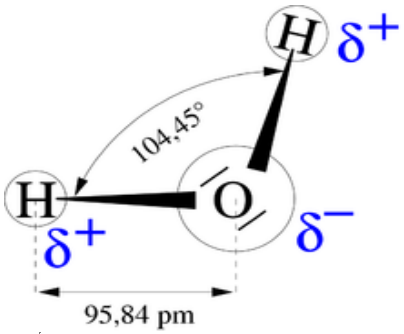
$$pH(X) = pH(S) + (E_s - E_x)F/(RT\ln 10)$$

* **إنزيم الأدينوسين ثلاثي الفوسفات ATPase :** قسم من الإنزيمات الغشائية مرتبطة بالأيض الطاقوي، و التي تميه أو تشكل جزيئات الـــ **ATP** ، و ذلك بنقل الشوارد من جهة إلى أخرى من الغشاء، و هي عدة أنواع: **P-ATPase** ، **P-Uniport-ATPase**، **P-Antiport-ATPase**، **V-ATPase**.
* **الكيناز Kinase:** أي إنزيم ناقل للفوسفور ينقل مجموعة فوسفات عموما من الـــ **ATP**، و الكينازات تنقسم إلى أقسام ثانوية حسب طبيعة مجموعة الفوسفات المستقبلة فيها؛
  - **phosphotransferases – EC 2.7.1 فيها مجموعة كحولية مستقبلة.**
  - **phosphotransferases – EC 2.7.2 فيها مجموعة كربوكسيلية مستقبلة.**
  - **phosphotransferases – EC 2.7.3 فيها مجموعة نتروجينية مستقبلة.**
  - **phosphotransferases – EC 2.7.4 فيها مجموعة فوسفاتية مستقبلة.**
* **الأدينوزين أحادي الفوسفات-منشط البروتين كيناز Adenosine monophosphate-activated protein kinase (AMPK):** بروتين السيرين/التريونين كيناز الذي يمثل وسيط للـــوحدة الفرعية α، و المعدل للوحدات الفرعية β و γ.

3. بنية العالم الأرضي أو ما يسمى بالمحيط الحيوي Biosphere:

الحيز الذي توجد به الحياة ويمتد من أبعد عمق توجد به الحياة في البحار إلى أعلى ارتفاع توجد عليه الحياة في الجبال، حيث يمثل سمكه 14 كم تقريبا، ومكوناته:

- يشمل جميع الكائنات الحية
- أجزاء من القشرة الأرضية
- الطبقات السفلى من الغلاف الهوائي
- أعماق البحار (الغلاف المائي)



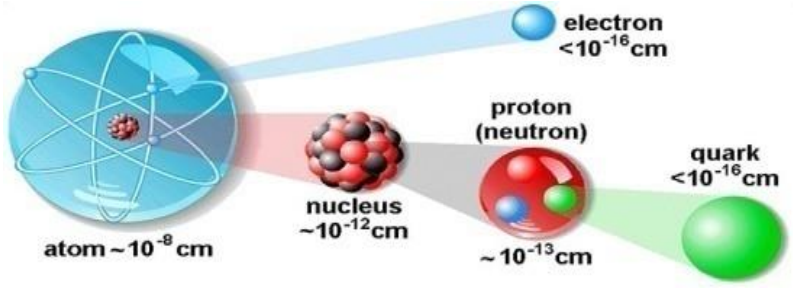
الشكل 4: قطبي جزيئة ماء H_2O

ووحدة بناء الغلاف الحيوي هو النظام الإيكولوجي ومن أمثلة الأنظمة الإيكولوجية: الغابة والصحراء والواحات والبحار والأنهار(Wikipedia contributors, 2020)[4].

و تتكون الأرض من عدة أنظمة منسجمة و متناسقة و متكاملة فيما بينها، و التي تسمى بالنظام الايكولوجي Biosphere، و الذي بدوره يتكون من الناحية الطبقية من عدة مستويات أحجام، أولها:

3.4 الذرة:

تتكون الذرة من نواة يقدر حجمها بـــ 10^{-1} ســم، يدور في مجالها الخاص فرد أو مجموعة من الإلكترونات و التي يقدر حجمها بـــأقل من 10^{-16} ســم ، و تتكون النواة بدورها من مجموعة من البروتونات التي يقدر حجمها تقريبا بأقرب من 10^{-13} سم.



الصورة 1: بنية الذرة.

لكل ذرة خلقها الله خاصـياتها البنائية، و يحدد عدد الإلكترونات الموجودة في طبقتها الخارجية علقتها بالذرات الأخرى.

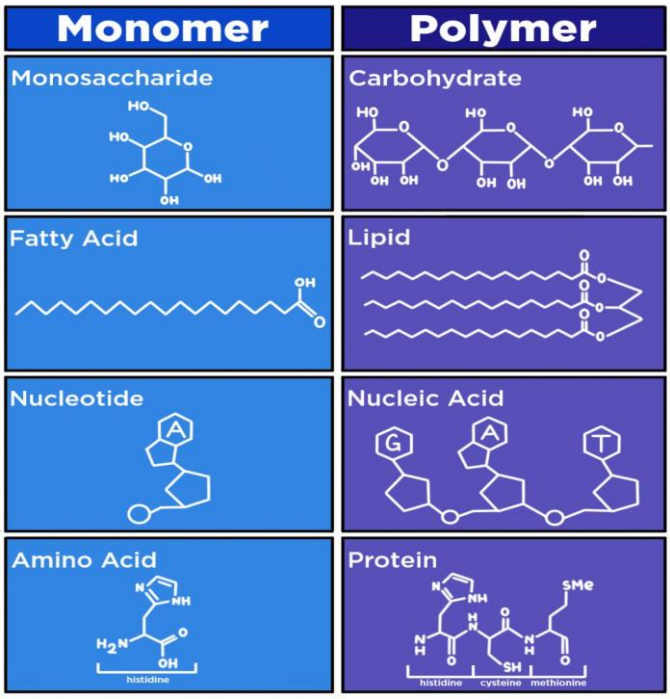
[4] https://ar.wikipedia.org/wiki/%D9%85%D8%AD%D9%8A%D8%B7_%D8%AD%D9%8A%D9%88%D9%8A#cite_ref-5

4. الجزيئة:

و هي أصغر وحدة للمادة تتألف من ذرتين فأكثر، و قد تكون على شكل سائل مثل جزيئة الماء H_2O، أو شكل غاز كغاز الأكسجين O_2 أو الميثان CH_4.

4.4 الجزيئة الضخمة The Macromolecule:

و هي جزيئة جد كبيرة و التي تتشكل بفعل بلمرة أو كوثرة Polymerization وحدات فرعية تسمى أحادية الجزيئ Monomers، و المجموع الناتج من عملية البلمرة أو البناء يشكل ما يسمى بمتعدد الجزيئات Polymer، و هذه الجزيئات الضخمة هي أحد اللبنات البنائية للبروتينات و السكريات و الدهون و غيرها، حيث يقدر عدد الذرات فيها بعدة آلاف من الذرات أو أكثر، و اتحاد هذه الجزيئات الضخمة في جسم الانسان يسمح ببناء العضيات الخلوية Cell Organels، و البلمرات الأكثر إنتشارا في الجسم هي النحو التالي:

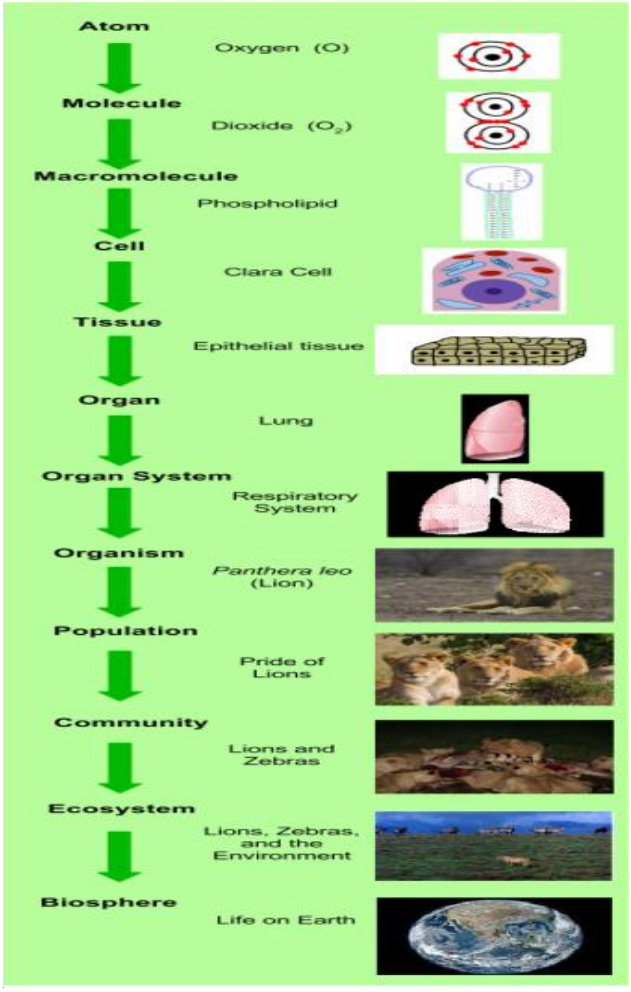


الشكل 5: أحادية الأجزاء و مشتقاتها من عملية البلمرة أو الكوثرة.

النظام الإيكولوجي Ecosystem:

هو مجتمع (مجموعة أو تجمعات مشـــتركة من نوعين أو أكثر من الأجناس في محيط واحد وزمن واحد) من الكائنات الحية تشترك في حياتها مع مكونات غير حية في محيط واحد.

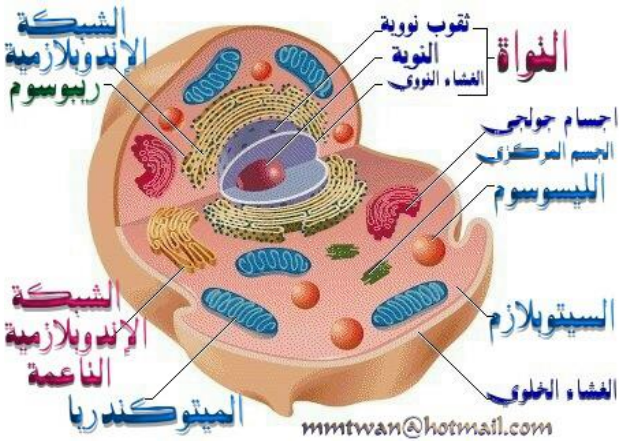
نلاحظ الترتيب الطبقي لمكونات هذا العالم الأرضي، حيث يتدرج من الذرة التي لا نراها بالعينة المجردة إلى الأرض أو لكوكب الأرض الذي لا يدرك أبعاده بالعين المجرة.



الصورة 2: مستويات بنية العالم المحسوس الذي توصل إليه البشر

1. الخلية الحيوانية:

الخلية هي الوحدة البنائية للأجسام الحية (TALBOT, RICHIE, CRAWFORD, & TAGRIN, 1961, p. 3)



الصورة 1: الخلية الحيوانية

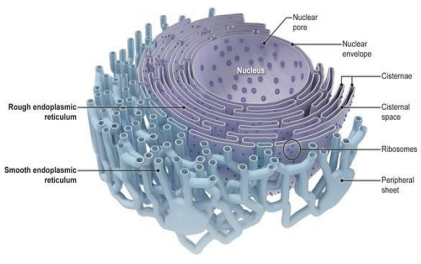
تتكون معظم الخلية من السيتوبلازم وهو سائل شبه مائي يسهل نقل المواد الغذائية بسرعة بين تراكيب الخلية ، كما يعمل على تخزين الفضلات الى أن يتم التخلص منها، ويحتوي على مجموعة من التراكيب المحاطة بأغشية تسمى يالعضيات، ومنها:

- **الشبكة إندوبلازمية:**

ترتبط بالغلاف النووي و الغشاء البلازمي كما أنها تصل بين سيتوبلازم خلية و أخرى عبر نقر في الجدار السيليولوزي للخلية، وهي لا توجد في كرات الدم الحمراء الناضجة وتوجد في البكتريا و الطحالب الزرقاء، حيث تنتشر في سيتوبلازمها رغم عدم وجود غشاء نووي مميز فيها، وهي عبارة عن قنوات وأنابيب على شكل شبكة.

انواعها:

- **الشبكةالإندوبلازمية الناعمة أو الملساء:**



الصورة 3 : الشبكة الأندوبلازمية المحببة والملساء

Rough and Smooth endoplasmic reticulum (by

Goyal U, Blackstone C (2013) Untangling the web: mechanisms underlying ER network formation *Biochimica Et Biophysica Acta* 1833:2492–2498. https://doi.org/10.1016/j.bbamcr.2013.04.009/Google Scholar).

وظيفتها:

- تخليق الليبيدات في الخلية.
- تحويل الكربوهيدرات إلي جليكوجين.
- تعديل طبيعة بعض المواد الكيميائية السامة للخلية لتقليل سميتها.

تواجدها :

تزداد نسبة تواجدها في خلايا الكبد حيث يتم تحويل سكر الجلوكوز إلي جليكوجين الذي يخزن في الكبد، و تحويل بعض المركبات السامة إلي مركبات أقل سمية .

- **الشبكةالإندوبلازمية المحببة أو الخشنة:**

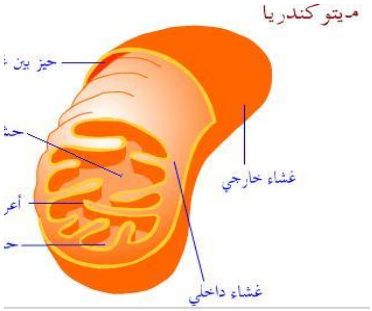
وظيفتها:

- تخليق البروتين في الخلية.
- إدخال التعديلات علي البروتين الذي تفرزه الريبوسومات.
- تصنيع الأغشية الجديدة بالخلية.

تواجدها:

تزداد نسبة تواجدها في خلايا بطانة المعدة و خلايا الغدد الصماء، حيث أن هذه الخلايا مسؤولة عن إفراز الانزيمات و الهرمونات.

- **الميتوكندريا** : توجد في السيتوبلازم وهي تزود الخلية .



الصورة 2: الميتوكندري

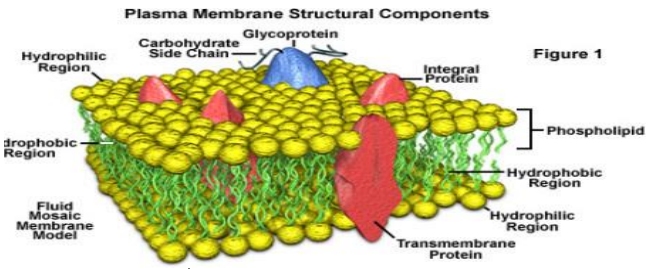
- **الرايبوسومات** : تقوم بصنع البروتينات باستخدام معلومات من النواة ومواد من السيتوبلازم.



الصورة 3: الريبوزومات

- **غشاء الخلية:**

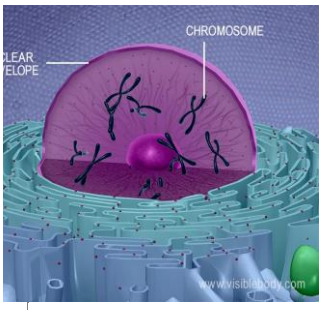
يتحكم في حركة المواد من و إلى الخلية الحية، حيث تدخل عبره المواد الغذائية و الهرمونات و الأملاح المعدنية و غير ذلك، و تخرج نواتج الأيض و الفضلات.



الصورة 4: الغشاء الخلوى

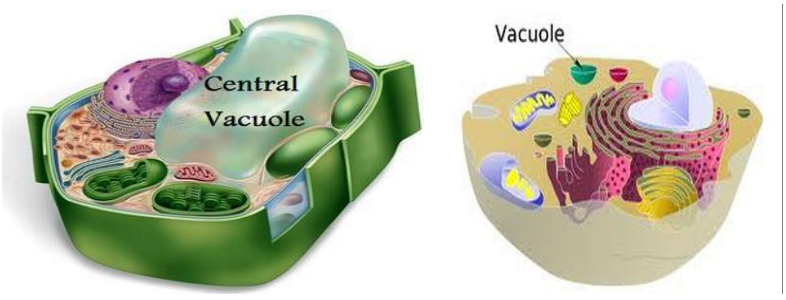
- **النواة** : النواة هي مركز التحكم، والذي يوجه أنشطة الخلية عن طريق الكروموسومات التي توجد داخلها، حيث تحتوي على مواد وراثية لكل جزء من الخلية.

.



الصورة 4 : نواة خلية حيو انية.

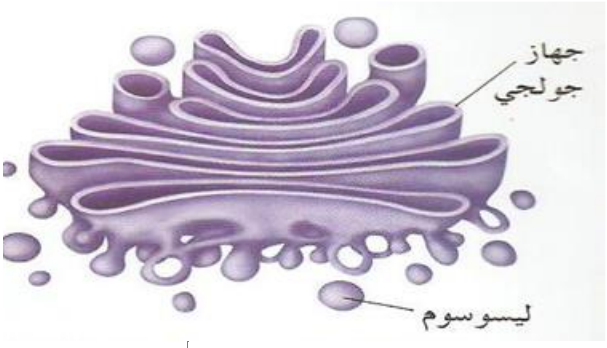
- **الفجوة** : توجد في بعض الخلايا الحيوانية وتقوم بتخزين الطعام الزائد والفضلات.



الصورة 5: الفجوة في الخلية الحيو انية و النباتية

- **جهاز جولجي :**

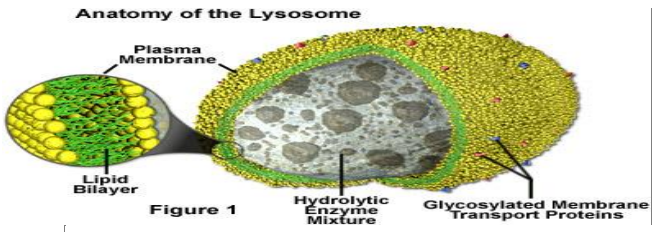
تعد الوظيفة الأساسية لجهاز جولجى هي تكوين وإنتاج بعض الجزيئات مثل البروتينات والشحوم، كما أنه يعتبر الموقع الذي يتم فيه تخليق عديدات التكسر مثل المخاط .



الصورة 6: جهاز غولجي

- **الأجسام الحالة:**

حويصلات تنفصل من جهاز غولجي، وهي ذات أشكال وأحجام وأعداد مختلفة، تحاط بغشاء مفرد، تحتوي على نحو أربعين (40) نوعاً من الإنزيمات ، تسمى انزيمات التحليل المائي، لها القدرة على هضم الكربوهيدرات، والبروتينات، والدهون و الأحماض النووية، لذا تعد الأجسام الحالة بمنزلة الجهاز الهضمي داخل الخلية.



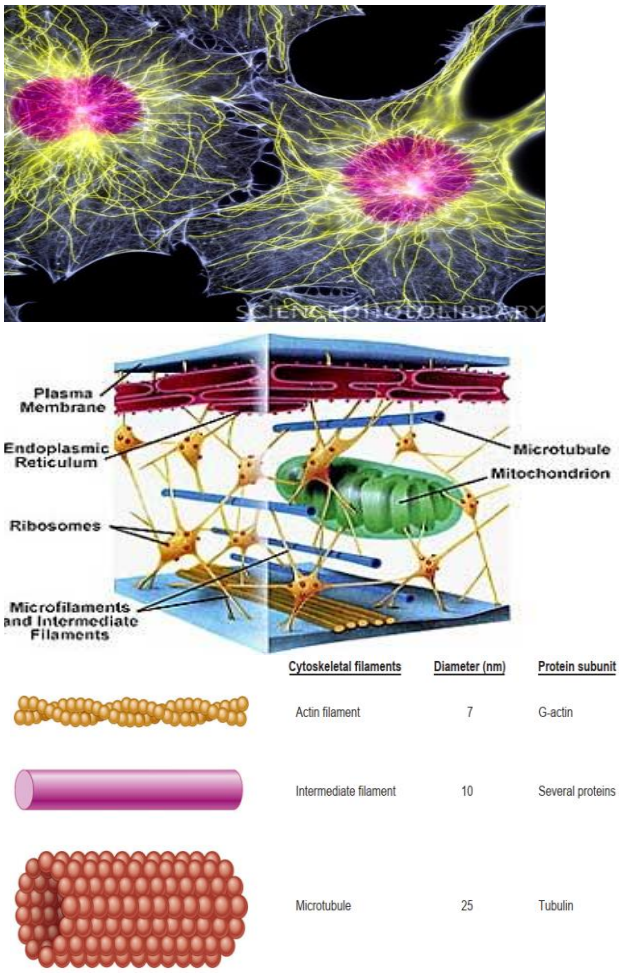
الصورة 7: الأجسام الحالة أو الريبوزومات

- **الشبكة الداعمة (Cytoskeleton):**

هي عبارة عن عضية مهمة في دعم وإعطاء شكل الخلية، تمتد هذه الشبكة من الغشاء النووي إلى الغشاء الخلوي، و تتكون هذه العضية من ثلاثة أنواع من الخيوط البروتينة:

- خيوط الأكتين و قطرها 7 نانومتر.
- الأنابيب الدقيقة و قطرها 10 نانومتر.
- الخيوط المتوسطة و قطرها 25 نانومتر.

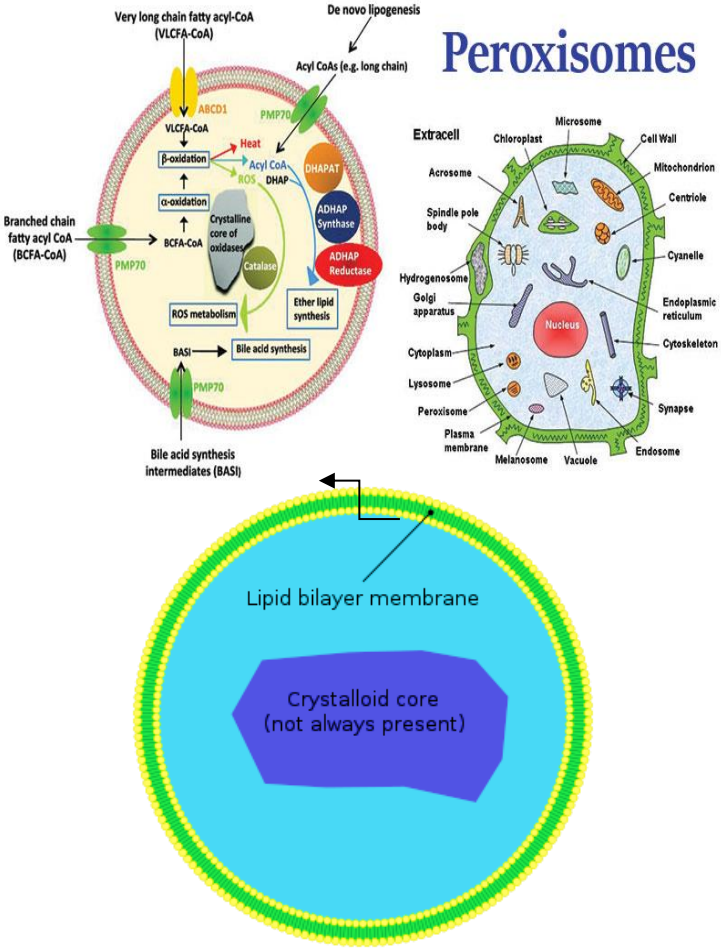
يتمثل دورها في الحفاظ و التغيير من شكل الخلية، و تسمح كذلك بحركة الخلية، كما أنها مسالك لتنقل العضيات الأخرى المكونة للخلية و في نفس الوقت هي أمكان تثبيت لها، و تدخل في كثير من عمليات الإشارات الخلوية أو ما يسمى إتصال خلية-خلية (Cell signalling or cell-cell communication)، و كذلك عمليات الادخال أو الالتقام الخلوي Endocytosis (WIDMAIER, RAFF, MEDICAL, & STRANG, 2011).



الصورة5 : الشبكة الداعمة و أنواع الألياف البروتينة المؤلفة لها.

- **البيروكسيسوم:**

جسيم فوق الأكسيد، أو **البيروكسيسومات**، أو **الجسيمات التأكسدية** هي عضيات خلوية تسبح ضمن السيتوبلازما الخلوي وتتكون في الشبكة البلازمية الخشنة، وهي عبارة عن حويصلات صغيرة، مصفوفات حبيبية، بيضوية أو كروية الشكل، و يبلغ قطرها 1-0.1 µm عند الحيوانات، و إلى 1.7 µm عند النباتات. µm، تُنتج بيروكسيد الهيدروجين H_2O_2، وتحوي أنزيمات تتوسط عمليات الأكسدة، مما يجعلها ذات أهمية في الكثير من العمليات الحيوية التي يحتاج إليها في تفاعلات الأكسدة في الخلية، و تحوي على بعض الأنزيمات ذات الصلة بالتمثيل الغذائي للدهون.



الصورة6 : البيروكسوزوم

ينتج الـ H_2O_2 بإستخدام الأنزيمات التأكسدية و جزيئ الأوكسجين O_2، وبأكسدة حمض اليوريك و بعض ألفا الأحماض الكيتونية.

إنتاج بيروكسيد الهيدروجين: $RH_2 + O_2 \longrightarrow R + H_2O_2$

نزع السمية (الكبد، الكلى خاصة): $H_2O_2 + R'H2 \Rightarrow R' + 2\,H2O$

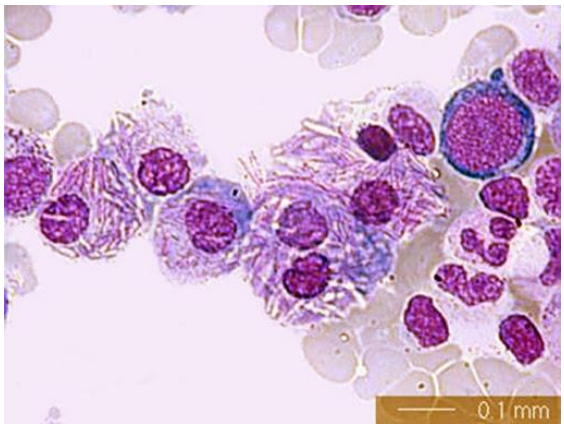
التخلص من فائض البيروكسيد هـ.: $H_2O_2 + H_2O_2 \Rightarrow O_2 + 2H_2O$

يوجد في الجسيم التأكسدي أوكسيديز الأحماض الأمينية وأكسيديز حمض اليوريك وألفا أكسيديز حمض الهيدروكسي، و تكون الانزيمات التأكسدية المنتج الأساسي لـ H_2O_2 .

انزيم الكاتالاز الموجود في الجسيمات الأكسدية يحول الـ O_2H_2 إلى ماء H_2O و أوكسجين O_2، و تحفز المركبات المختلفة مع الـ O_2H_2 عملية الأكسدة، و توجد بشكل كثيف في الدم ونخاع العظام والأغشية المخاطية والكليتين والكبد.

تتجمع المركبات الضارة بجزيئات الخلية المنتجة للـ O_2H_2 والأنزيمات المستخدمة في نفس المنطقة، وتوفر الحماية للخلية من التأثيرات السامة لـ O_2H_2، و بذلك فهي مسؤولة عن إزالة السمية في الخلية.
تقوم بأكسدة الأحماض الدهنية بشكل أساسي مع المتوكوندري، وتقوم بأكسدة سلاسل طويلة جداً من الأحماض الدهنية، بعد تكسير الأحماض الدهنية الطويلة إلى 6-8 سلسلة في الجسيمات التأكسدية، و تُتابِع أكسدة هذه الأحماض في الميتوكوندريا، بتركيب غليسيرين الدهون الفوسفاتية (gliserophospholipids) و البلازمالوجين (plasmalogen)، كما تتم أكسدة السلسلة الجانبية للكوليسترول في الجسيمات التأكسدية(Peroxysome," 2021").

- **المُشْتَمَلاَت أو الضمنيات الخلوية Cell Inclusions** (*Inclusion (cell)*, 2006):



الصورة7 : المشتملات أو الضمنيات الخلوية

Cell Inclusions

هي جسيمات، موجودة في الخلايا، تحتوي مواد كيميائية، ومنها ما يحتوي المواد المغذية المخزنة (حبيبات السكر في خلايا الكبد والعضلات، الفجوات الحاوية للماء في الخلايا...) وحبيبات المواد المُفْرَزَة و الحبيبات الصِبَاغِيّة.
وهذه الجُسَيْمَات هي مناطق تخزين لا تحتوي على غشاء خلوي، وأهمها الجلايكوجين، دهون البلورات (الكريستال) والصبغات.

- **الجلايكوجين:** هو الصيغة التي يخزن بها السكر (الجلوكوز) في الخلايا الحيوانية، و يتركز في خلايا الكبد والعضلات، وهو مصدر مهم للطاقة حيث يتكسر عادة في حالة الجوع والصوم تحت تأثير هرمون الجلوكاجون، ويعطي السكر (الجلوكوز)اللازم للطاقة، ويظهر الجلوكاجون تحت المجهر الإلكتروني كعناقيد أو على هيئة وردة أو شكل بيتا، وتشبه الريبوزومات في الشكل، ويوجد بقرب الشبكة الإندوبلازمية الملساء أو الناعمة.

- **الدهون:** تخزن الدهون في الخلايا الدهنية على هيئة دهون ثلاثية الغليسريدات داخل مشتملات أو انغمادات الخلية، وأيضا يُخَزَنْ الدهن على هيئة قطرات دهنية حرارية في الخلايا المختلفة وخصوصا خلايا الكبد، وتعطي الدهون طاقة حرارية أكبر من ضعفي الطاقة الناتجة من طاقة الكربوهيدرات.
- **البلورات (الكريستال):** تم اعتبار البلورات (الكريستال) مكونات طبيبعة لمشتملات الخلايا، مثل التي هي موجودة في خلايا (ليدج Leydig cells) وخلايا (سيرتولاي Sertoli cells) في الخصية، وأحيانا داخل الخلايا الأكولة (المايكروفاج macrophage)، ويعتقد أنها بروتينات بلورية توجد في كل مكان داخل الخلية).
- **الصبغات:** وتنقسم إلى صبغات

1- **صبغات داخلية طبيعة:** ويتم تصنيع هذه الصبغيات داخل الجسم مثل (الهيموجلوبين، هيموسيدرين, بليروبين (العصارة الصفراء، ليبوفوكسين) وأهمها صبغية الميلانين التي توجد بوفرة في خلايا الشعر والجلد والمسؤولة عن لون البشرة والشعر، وتوجد أيضا في شبكية العين وفي خلايا الدوبامين داخل المادة السوداء في الدماغ.

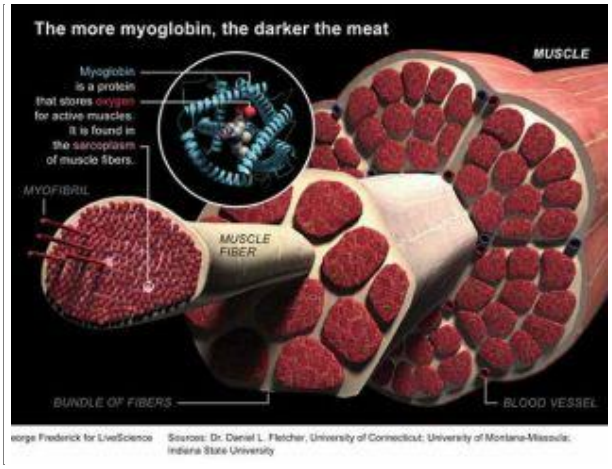
2- **صبغات خارجية:** الصبغات الأكثر إنتشارا في الجسم زيادة عن هيموغلوبين كريات الدم الحمراء هي الميلانين Melanin، المنتجة في مواقع الميلانين Melanocytes في الجلد و الشعر، و صبغيات قرنية العين و الصبغات الخاصة بخلايا المادة العصبية السوداء في الدماغ، وهذه الصبغيات تحمي الجلد و تساعد القنية على تحسس الضوء، و لم يعلم بالكلية دورها في الدماغ، كما توجد صبغيات أخرى في النسيج العضلي و في ألياف الجهاز العصبي المركزي صفراء إلى بنية اللون تسمى دهون بنية Lipofuscin، و يعتقد البعض أن لها نشاط لزوزومي.

- **ميوغلوبين MYOGLOBIN:**

الميوغلوبين (رمزه Mb أو MB) هو بروتين يربط الحديد والأكسجين ويوجد في الأنسجة العضلية للفقاريات بصورةٍ عامّة، وجميع الثديات بصورةٍ خاصّة . ؛ وهو ذات صلة بالهيموغلوبين (بروتين ربط الحديد والأكسجين في الدم، وتحديدًا في خلايا الدم الحمراء). فعند البشر يتم العثور على الميوغلوبين فقط في مجرى الدم بعد إصابة في العضلات، فوجود الميوغلوبين في الدم هو غير طبيعي، ويكون مقياس في تشخيص بعض الأمور الطبيّة .

الميوغلوبين هو الخصاب الحامل للأكسجين في الأنسجة العضلية، و تركيزات عالية من الميوغلوبين في خلايا العضلات تسمح للكائنات الحية أن تحبس أنفاسها لفترة أطول من الزمن، و هذا كثير عند الثدييات البحرية مثل الحيتان و الفقمات التي لها عضلات تتوفر فيها كميات عالية من الميوغلوبين. يتم

العثور على ميوغلوبين في العضــلات من النوع الأول، النوع الثاني أو النوع الثاني ب، ولكن معظم البحوث تعتبر أن الميوغلوبين غير موجود في العضلات الملساء.



الصورة8 : صورة مجهرية لبروتين الميوغلوبين في الخلية العضلية.

الميوغلوبين يمكنه البقاء كأوكسيهيموغلوبين (MbO2) ، والكربوكسيميوغلوبين (MbCO) ، والميتميوغلوبين (met-Mb). بشكل مشابه، يمكن للهيموغلوبين أن يأخذ أشكال الأكسيهيموغلوبين (HbO2)، الكربوكسيهيموغلوبين (HbCO) ، والميتهيموغلوبين (met-Hb)(Wikipedia contributors, 2021).

4.5 الخصائص الكميائية لمكونات الخلية:

الأيونات الغيرعضوية IONS INORGANIC (Theillet et al., 2014):

التركيز الكلي للأيونات الهيولية حسب وحدة قياس العصيات القولونية (Escerischia Coli) التابعة لمعطيات CyberCell، هو ما يقارب 300 ميلي مولار (~mM)، حيث يمثل البوتاسيوم K^+ المعدني الأكثر وفرة للحاجة الوظيفة له، حيث يتراوح تركيزه حسب الدراسات 200-250 ميلي مولار، و يليه تركيز المنغنيزيوم الذي تتفاوت نسب تركيز حسب الخلايا 20- 100 ميلي مولار، كما أن تقديرات الأيونات اللاعضوية المشتركة التي تجمع Na^+ ~ 5 ميلي مولار، Ca^{2+} ~ 0.1، و كذلك Cl^- و إجمالي الفوسفات ($H_2PO_4^-/HPO_4^{2-}/PO_4^{3-}$) نحو 6 و 5 ميلي مولار على الترتيب، دون نسيان المعادن و الأملاح المعدنية الأخرى.

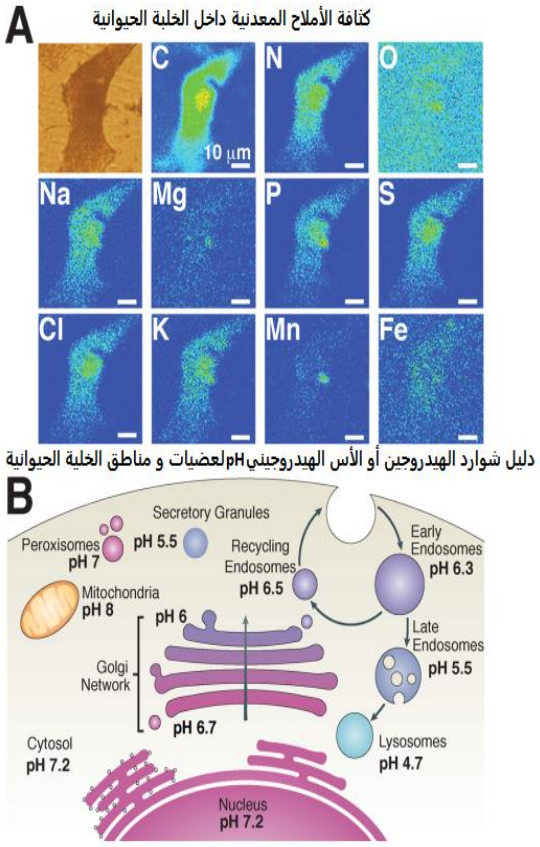


Figure Intracellular composition. (A) Localization of various elements in a mammalian PC12 cell (exposed to $MnCl_2$). Reprinted with permission from ref 44. Copyright 2009 Royal Society Publishing. (B) Average pH values of organelles and compartments in mammalian cells. Adapted with permission from ref 92. Copyright 2010 Nature Publishing Group.

الصورة9 : الأس الهيدروجيني للخلية وعضياتها ومكوناتها الداخلية.

A. كثافة الأملاح المعدنية و المعادن داخل الخلية

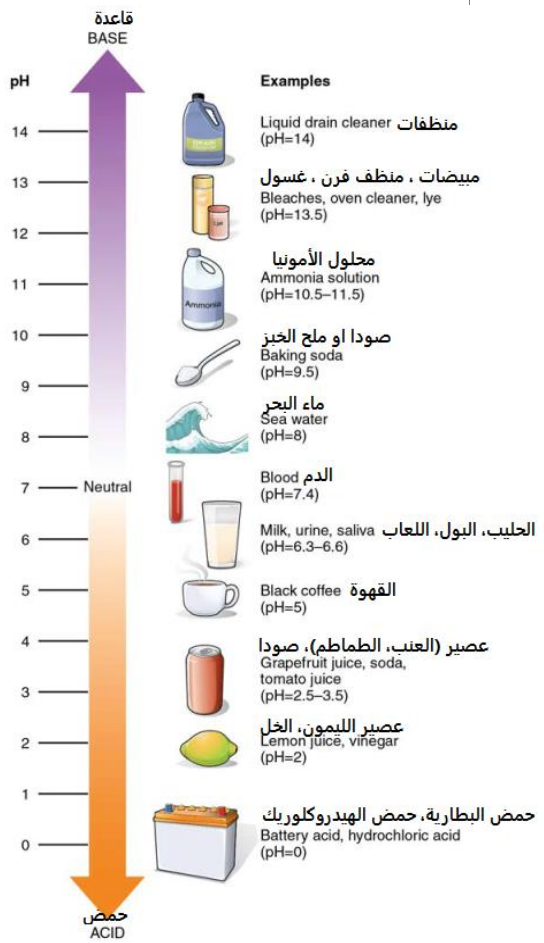
B. دليل الأس الهيدروجيني pH للخلية وبعض عضياتها.

4.5.1 الأس الهيدروجيني pH (Theillet et al., 2014):

كقاعدة عامة فإن pH الهيولة الخلوية هو 7.2، ويصعب تقرير إثبات هذه القيمة لأي كائن حي معين.

الفوســـفات أو شـــوارد ثنائيات الكربون أو الأحماض والقواعد الضـــعيفة داخل الخلية تعطيها قـدرات تخزينيـة مؤقتـة، و حيـث تساهم السلاسل الجانبية للسلاسل الرئيسة للجزيئات الخلوية و الأحماض الآمينة الحرة و الوظائف الحمضـــية النهائية للأحماض الآمنية و الأحماض الدســـمة و البروتينات بـ 1% من قيمة pH الخلية.

كما ان قيمة هذا الـــ pH تتغير من عضـية لأخرى كما هو موضح في الصورة 6: B.



الشكل6 : الأس الهيدروجيني pH (Hydrogen Potential)

4.5.2 المستقلبات METABOLITES (Theillet et al., 2014):

البحوث المتقدمة في تكنولوجيات الأيضـية METABOLOMICS TECHNOLOGIES وافقت على وجود أعداد واسـعة من تركيزات المسـتقلبات الخلوية المقاسـة بوحدة قياس العصـيات القولونية *E.coli*، حيث تقدر كمية المسـتقلبات فيها إجمالا ما يقارب ~ 300 ميلي مولار، منها 96 ميلي مولار من glutamate (Glu^-) و هو الأكثر إنتشارا، و يليه الـــ glutathione بـــ 17 ميلي مولار، ثم fructose-1,6-biphosphate بـــ 15 ميلي مولار، ثم adenosine triphosphate بـــ 9.6 ميلي مولار, إلا أن هذه القيم قد تتغير حسب العوامل و نوع الخلايا الحية(Theillet et al., 2014)(ص 4).

4.5.3 الخصائص العزلية DIELECTERIC PROPERTIES (Theillet et al., 2014):

الشـوارد أو الأيونات و المسـتقلبات المتغيرة تسـاهم في الخصـائص العزلية لمحيط الخلية، حيث تمثل قيمة العزل الثابت للماء الصـافي 78.4 عند درجة الحرارة 25 C°، لكن الأيونات المذابة قد تخفض من هذه القيمة بشكل كبير بسبب ميلان جزيئات الماء نحو الحقول الكهربائية للأيونات المجاورة لها.

و من جهة أخرى فإن كثيرا من المسـتقلبات مثل الأحماض الآمنية التي تحمل شحن محايدة لا تسـاهم في النقل الكهربائي، لكنها تساهم في خصائص العزل الكهربائي للمحيط.

لا يمكن تعيين إستنتاجات ثابتة حول ثوابت العزل الكهربائي الخلوي، لكن حسب الدراسات الموجودة فإن قيمته بالنسبة للهيولة الخلوية يتراوح بالتقريب ~ 15-150، وفيما يخص الغشاء الخلوي فهو يتراوح بالتقريب ~ 2-15، إلا أن هناك تعقيدات أخرى محتملة تؤدي إلى تغيرات معتبرة بين العضيات الخلوية.

4.5.4 اللزوجة VISCOSITY (Theillet et al., 2014):

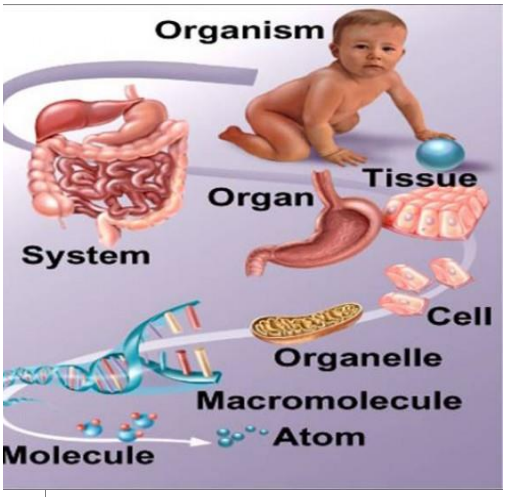
تمثل اللزوجة الخلوية الداخلية ظاهرة تتجسد في عدة قياسات، كون وجود برك واسعة من الجزيئات و الجزيئات الضخمة و تجمعات للجزيئات الضخمة في الهيولة الخلوية، و المرتبة من الماء إلى المستقلبات، و من البروتينات الأحادية القابلة للذوبان إلى الهيكل الخلوي، و من الدهون المعزولة و الأحماض الدهنية إلى الأغشية و العضيات، و من الأجسام و الأحجام و الأشكال و الخصائص الكميائية المختلفة، التي تساهم في حقيقة اللزوجة الخلوية الداخلية.

4.5.5 إزدحام الجزيئات الضخمة (Theillet et al., 2014):

الخاصية العامة للفضاء الخلوي الداخلي هو المحتوى الصافي من الجزيئات الضخمة الواسعة، حيث أن العضيات القولونية تحتوي على ما يقارب ~ 25% من البروتينات، منها ما يقارب ~ 10% هو ألياف الهيكل الخلوي، و ما يقارب ~ 90% منه هي بروتينات قابلة للذوبان، جانبا إلى جانب من الكميات المعتبرة من RNA و DNA، و كذلك من متعددات الجزيئات من الدهون و من متعددات السكريات.

4.6 البنية الطبقية لجسم الانسان:

يمكن تحليل تركيبة جسم الانسان حسب مستويات بناء المحيط الحيوي على أنه مجموعة من الأنظمة، حيث أن كل نظام هو مجموعة من الأجهزة، و كل جهاز هو مجموعة من الأنسجة، و كل نسيجة هو مجموعة من الخلايا، و هو كل خلية هي مجموعة من العضيات، و كل عضية هي مجموعة من الجزيئات الضخمة، و كل جزيئة ضخمة هي مجموعة من الجزيئات، و كل جزيئة هي مجموعة من الذرات مرتبطة ببعضها البعض بروابط متفاوتة في قوة التماسك (Wikipedia contributors, 2020).



الصورة 8: مستويات بنية جسم الانسان

5. المكونات الأساسية لجسم الانسان:

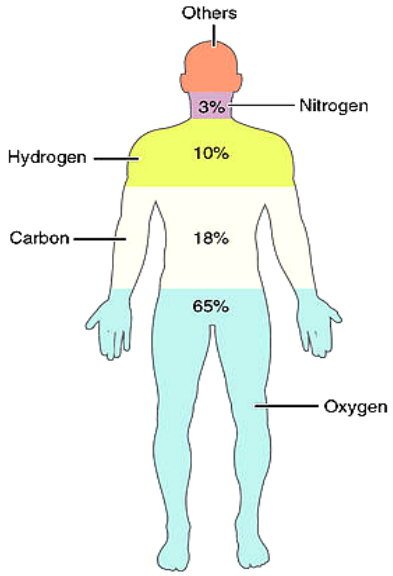
أصغر وأهم مكونات جسم الإنسان هي العناصر الكيميائية الأساسية، وفي الواقع هي المواد الكيميائية التي تسمى قواعد النوكليوتيدات nucleotide bases، فهي أساس الشفرة الجينية التي تحمل تعليمات حول كيفية بناء جسم الإنسان والحفاظ عليه منذ الحمل حتى الشيخوخة، إذ يوجد حوالي ثلاثة مليارات من هذه القواعد الثنائية في الحمض النووي البشري.

تشمل الكيمياء البشرية الجزيئات العضوية (القائمة على الكربون) والمواد الكيميائية الحيوية (تلك التي ينتجها الجسم)، كما تتضمن الكيمياء البشرية أيضًا العناصر التي يعنى بها الذرة أو الذرات و المعادن.

ففي الواقع ، جميع العناصر التي تساهم في التفاعلات الكيميائية و تحول الطاقة و النشاط الكهربائي وتقلص العضلات - عناصر تشمل الفوسفور والكربون والصوديوم والكالسيوم ، على سبيل المثال لا الحصر –موجودة في تراب الأرض التي نعيش عليها(Betts & Dsaix, 2013).

يمكن أن تشكل هذه العناصر بدورها مركبات كيميائية عضوية وغير عضوية مهمة للحياة، بما في ذلك على سبيل المثال: الماء والجلوكوز والبروتينات، وعلى أساسا ما ذكر سابقا حول مكونات المحيط الحيوي الذي نعيش فيه، وكوننا جزء مكون له، فيمكن وصف دراسة مكونات جسم الانسان باعتبار مستويات العناصر المكون له إلى عدة تقسيمات، منها:

❖ بإعتبار العناصر الذرية لدينا المعطيات التالية (شخص متوسط الوزن) :



Element	Symbol	Percentage in Body
Oxygen	O	65.0
Carbon	C	18.5
Hydrogen	H	9.5
Nitrogen	N	3.2
Calcium	Ca	1.5
Phosphorus	P	1.0
Potassium	K	0.4
Sulfur	S	0.3
Sodium	Na	0.2
Chlorine	Cl	0.2
Magnesium	Mg	0.1
Trace elements include boron (B), chromium (Cr), cobalt (Co), copper (Cu), fluorine (F), iodine (I), iron (Fe), manganese (Mn), molybdenum (Mo), selenium (Se), silicon (Si), tin (Sn), vanadium (V), and zinc (Zn).		less than 1.0

الشكل7 : العناصر المكونة لجسم الانسان[5].

يتم عرض العناصر حسب وفرتها في جسم الانسان، وأما في الطبيعة نادرا ما توجد هذه العناصر لوحدها، بل توجد مرتبطة مع عناصر أخرى، هذا الارتباط بعنصر آخر أو عنصرين أو أكثر يكون بروابط كيميائية، والتي يترتب عليها تشكل المادة التي نراها بالعين المجردة.

دور العناصر الذرية و اماكن تواجدها في جسمنا:

- **الأكسجين O**: يشكل 65%، يتواجد في الرئتين، ويعتبر من العناصر الضروريّة لعمليّة التنفس.
- **الكربون C**: يشكل 18%، يتواجد في كلّ جزءٍ عضوي في الجسم، ويتواجد كناتجٍ لعملية التنفس، على هيئة ثاني أكسيد الكربون.
- **الهيدروجين H**: يشكل 10%، وهو أحد العناصر المكوّنة للماء.
- **النيتروجين N**: يشكل 3%، يدخل في تركيب الأحماض النوويّة، والبروتينات، والمركبات العضويّة.
- **الكالسيوم Ca^{2+}**: يشكل 1.5%، يدخل في تركيب العظام، والأسنان، ويساعد في عملية تخثر الدم، ونقل الإشارات العصبية، وانقباض العضلات.

[5] Anatomy & Physiology, Connexions Web site. http://cnx.org/content/col11496/1.6/, Jun 19, 2013.

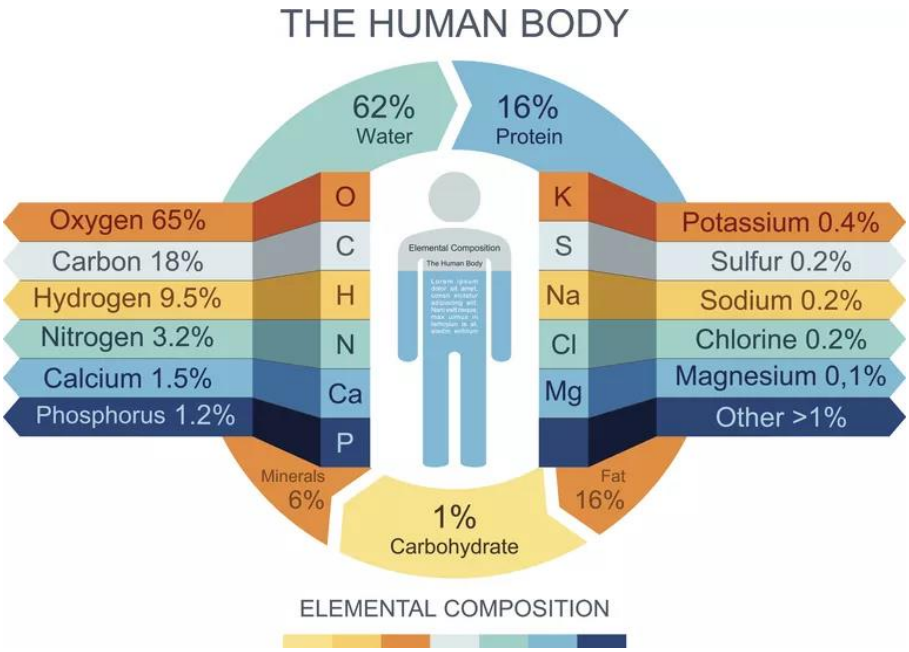
- **الفسفور P**: يشكل 1%، يدخل في عملية تخليص الجسم من الحوامض، أو القواعد الزائدة، ويدخل في تركيب الأحماض النوويّة الأساسيّة المسؤولة عن نقل الصفات الوراثية، وتركيب بعض الأنزيمات، وله دورٌ مهمٌ في عملية انقباض العضلات.
- **الحديد Fe**: يشكل 0.006% ، يدخل في تركيب الهيموجلوبين، والميوجلوجين.
- **النحاس Cu**: يشكل0.0001%، يدخل في بعض التفاعلات الحيويّة، ونقصه يعيق عمل الحديد في أداء دوره.
- **الزنك Zn**: يشكل 0.0032%، يدخل في تركيب بعض البروتينات المسؤولة عن الحمض النوويّ، ونقصه يسبب القزامة.
- **السيلينيوم Se**: يشكل 0.000019%، من العناصر الضرورية لعمل الأنزيمات التي تعمل كمضاد للأكسدة.
- **الفلور F**: يشكل 0.0037% ، يقوّي العظام، والأسنان، ويحافظ عليهما.
- **الكلور Cl**: يشكل 0.15%، يتواجد في المعدة كجزءٍ من حمض الهيدروكلوريك، المستخدم في عملية الهضم، ويتواجد على شكل أيون في سوائل الجسم.
- **اليود I (Iodine)** : يشكل 0.000016%، يدخل في تركيب هرمون الثيروكسين، اللازم لتنشيط التفاعلات الكيميائيّة داخل الجسم.
- **الكوبلت Co (Cobalt)**: يشكل 0.0000021%، يدخل في تركيب فيتامين ب12، اللازم لتحفيز إنتاج كريات الدم الحمراء.
- **المغنيسيوم Mg^{2+} (Magnesium)**: يشكل 0.05%، يحفز الأنزيمات الضروريّة على صنع الهيموجلوبين، ويعتبر من العناصر الضرورية لإنتاج ونمو الهرمونات الجنسيّة، وغدد الحليب، وتحفيز تكوين الجليكوجين في الخلايا، والمحافظة على سلامة العظام.
- **البوتاسيوم k^{+}**: يشكل 0.35%، وهو عنصرٌ مهمٌ لنقل الإشارات العصبيّة، وانقباض العضلات. الكبريت: يشكل 0.25%، ويدخل في تركيب الهرمونات، بعض الفيتامينات، الأحماض الأمينيّة والبروتينات.
- **الصوديوم Na^{2+}**: يشكل 0.15%، وهو عنصرٌ ضروريٌ لتنظيم توزيع الماء والسوائل في الجسم، ويفرز في العرق.

كما يتكون جسم الانسان من الرصاص، والألمنيوم، والليثيوم، والزرنيخ، والفانديوم، والسيلكون، والبروم بكمياتٍ ضئيلة.

5.4 المكونات الاساسية لجسم الانسان باعتبار الكتل و المواد العضوية:

لدينا المعطيات التالية: (شخص متوسط الوزن):

يأخذ بعين الاعتبار في هذا المستوى المكونات الجسمية التي يمكن تكميمها بوحدات قياس كتلية أو بالنسب المئوية، و المعيار الثاني أفضل لكون وجود اختلاف بين بنية الأجسام، فيلاحظ أن الماء هو الأكثر نسبة لكتلة الجسم بـ 62%، ثم تليه البروتينات مع الدهون بـ 16% لكل منهما، و في الأخير نسبة المعادن و الفحوم المهدرجة أو الكربوهيدرات بـ 6% و 1% على الترتيب.



الصورة10 : مكونات جسم الإنسان بإعتبار أوزان الماء WATER و الشحوم FAT و البروتينات، و مكونات مقارنة بها من الغليكوجين و بعض الأملاح المعدنية.

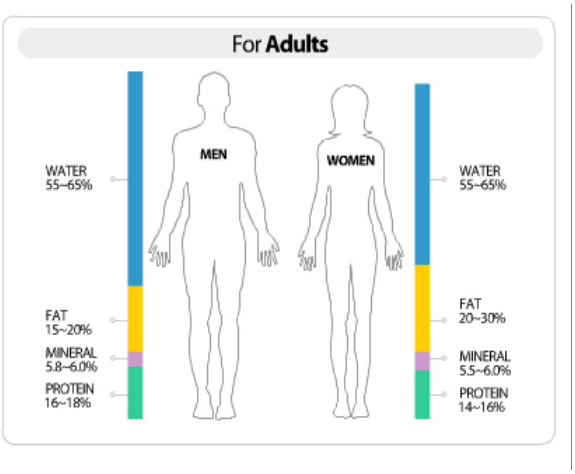
و قد نجد اختلاف في هذه النسب المذكورة سابقا حسب الجنس بين الذكور و الاناث، حيث نجد فيما يخص البروتينات و الدهون أن نسبة البروتينات عند الذكور (16-18%) أكبر مما هو عليه عند الاناث(14-16%)، و نسبة الدهون الاناث (20-30%) أكبر مما عليه عند الذكور (15-20%)، و هذا راجع للفطر الوظيفة التي فطر الله عليها كل جنس، حيث يتناسب هذا الاختلاف في النسب الجزيئة المكونة للكتل الرئيسية لها من الدهون المدخرة و العضلات الهيكلية خاصة، مما يساعد و يسهل كل جنس من على القيام بوظيفته الحياتية بمردودية و توازن طاقوي مناسب، خاصة إذا عمل أن جنس الذكور مؤهل للقيام بأعمال ذات الشد العضلي متواصل او الفتري أو بكلاهما، مما يؤثر في الزيادة في

حجم العضـلات عند الذكور أكثر من الاناث، كما يتناسـب ذلك مع فارق النسـب في الجزيئات المكونة لهذه الكتل.

أما بالنسـبة لفارق الدهون بين الجنسـين، فإن حاجة الإناث لها راجع لعدة حاجيات و وظائف فطرية، منها الحمل خاصـة الذي يحتاج فيها جسـم الحامل إلى طاقة زائدة تدعم حاجيات الجنين، حيث من المعلوم أن الدهون أكبر مردودية في إنتاج الطاقة من منبعي الطاقة الآخرين اللذان هما السـكريات و البروتينات، إذ أن:

1غ من الدهون = 9 كيلوكلوري > 1غ من السكر أو البروتينات = 4

و يظهر الشكل الموالي الإختلاف في النسب المئوية الظاهر بين الدهون و البروتينات بالنسبة للجنسين من فئة البالغين:



الصورة 11: مكونات جسم إنسان للجنسين بإعتبار النسبة المئوية للماء WATER، و الشحوم FAT، و الأملاح المعدنية MINERAL، و البروتينات PROTEIN.

و قد يكون الاختلاف في النسـب المئوية للكتل المكونة لجسـم الانسـان حسـب السـن و الجنس كما سـبق بيانه، و نوع البنية الجسمية أو العرق أو مستوى النشاط البدني و نوعه، كون جسم الانسان يمر بعدة فترات نمو و تراجع، كما أنه يتكيف حسـب ظروف عيشـه و الطبيعة المحيطة به، و الذي يهم من وراء ذلك هو تلبية حجيات الجسـم لهذه الكتل الجزيئية أو أخذها بعين الإعتبار في التشـخيص الطبي أو الرياضي و الغذائي.

6. الغذاء ومنابع إنتاج الطاقة في جسم الإنسان:

يتكون الغذاء الذي نتناوله من عدة مكونات مختلفة، أهمها:

- الكربوهيدرات أو السكريات
- الدهون
- البروتينات
- الماء
- الفيتامينات
- الأملاح المعدنية



U.S. Department of Agriculture

الشكل 8 : كمية الحاجيات اليومية لمختلف مكونات الأكل حسب مصلحة الفلاحة للولايات المتحدة، 2011.

كل هذه المكونات يحتاجها جسم الانسان بكميات متفاوت، و ذلك حسب إستعمالها و ضرورتها في توازن جسم الانسان، لكن تسهيلا لحياة الناس فإن كثيرا من الهيئات الرسمية إختصرت هذه الحاجيات و كمياتها في دلائل إرشادية مثل ما هو الحال في الشكل المسابق[6]، إلا أن مجموع ما يتناوله الانسان من الأغذية المختلفة خلال الوجبات اليومية لا تنتج كلها طاقة، إذ أن منابع الطاقة في غذائنا محصورة في ثلاثة منابع و هي: الكربوهيدرات أو السكريات أو الفحوم المهدرجة و الدهون و البروتنيات.

6.4 المركبات الطاقوية في جسم الانسان:

المركبات الطاقوية في جسم الإنسان هي عبارة عن ما يدخل في جسمه من عناصر غذائية بعد الهضم و الامتصاص، و ليس كل أنواع المركبات الغذائية التي يأكلها الانسان يستعملها في إنتاج الطاقة، بل ينحصر هذا الأخير في ثلاثة منابع أساسية لإنتاج الطاقة (ATP)، و هي على الترتيب من حيث تفضيل إستعمالها من طرف خلايا جسم الانسان كمنبع للطاقة:

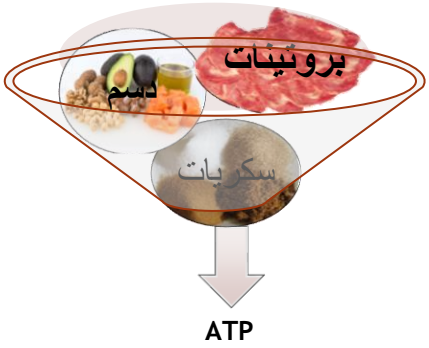
- **ATP**

1. **السكريات**
2. **الدهون**
3. **البروتينات**

لكن هذا الترتيب قد يتغير من حيث كثرة الاستعمال أو أفضلية الاستعمال من عضو لآخر، أو حسب الحالة البدنية والصحية للفرد، وعموما ينتهي تحليل هذه المركبات إلى جزيئة خلوية وهي

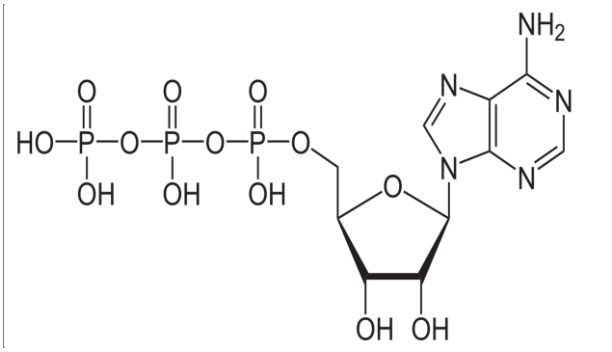
[6] Carpenter, K. , Truswell, . A. Stewart , Kent-Jones, . Douglas W. and Weininger, . Jean (2020, February 13). Human nutrition. Encyclopedia Britannica. https://www.britannica.com/science/human-nutrition.

الإدينوزين ثلاثي الفوسفات (ATP)، والتي تستعملها الخلايا للقيام بالوظائف الحركية والبنائية والنقل، إلخ.



6.5 ما هو الـ ATP :

الأدينوسين ثلاثيُّ الفوسفات بالإنجليزية Adenosine triphosphate : (ATP)نكليوتيد تختزن فيه الطاقة (حرارة) على شكل رابطة غنية بالطاقة بين مجموعة فوسفات غير عضوي ومركب أدينوسين ثنائي الفوسفاتADP ، يتواجد ATP في جميع خلايا جسم الكائن الحي، وبالطبع في خلايا الإنسان يتم تكوينه في متقدرات (الميتوكندري mitochondria)الخلايا ويختزن في داخل الخلية خارج المتقدرات، و بهذا يعتبر" ATP بطارية الخلية" التي تمدها بالطاقة.



الشكل9 : البنية العامة النصف مفصلة للادينوسين ثلاثي الفوسفات.

الصيغة الكيائية $C_{10}H_{16}N_5O_{13}P_3$

ويتكون مركب أدينوسين ثلاثي الفوسفات ATP عن طريق تفاعل ADP أدينوسين ثنائي الفوسفات مع جزيء الفوسفات P في وجود طاقة عالية ناتجة عن الطاقة التي اكتسبتها الإلكترونات بعد الإثارة، طبقا للتفاعل:

$$ADP + P + ENERGY \longrightarrow ATP$$

يتألف الـــATP من القاعدة النيتروجينية أدينين، وسكر الريبوز، وثلاث مجموعات فوسفات، تحتوي الروابط بين مجموعات الفوسفات علي طاقة كيميائية مختزنة بكميات كبيرة التي يمثلها الرمز ΔG، ويمكن لهذه الطاقة أن تنطلق عند تحطم إحدى روابط الفوسفات،

فعند تحطم الرابطة بين مجموعتي الفوسـفات الثانية والثالثة، تتحرر طاقة مقدارها 12.000 كالوري أو 7.3 كيلو سـعرة /مول تحت الظروف القياسـية، وذلك أكبر بكثير من الطاقة المخزونة في الرابطة الكيميائية الاعتيـادية للمركبـات العضـويـة الأخرى؛ ولـذلـك أعطيـت المصـطلح ***الرابطة العالية الطاقة***، وينتج مركب **الأدينوسـين ثنائي الفوسـفات ADP**، وقد تنفك الرابطة بين مجموعتي الفوسـفات الثانية و الأولي لينتج مركب **AMPأدينوسين أحادي الفوسفات**(Contributors, 2021).

6.5.1 دور الـ ATP في الوظيفة الخلوية :

يستعمل الـ ATP عموما في ثلاثة أصناف رئيسية من الوظائف الخلوية:

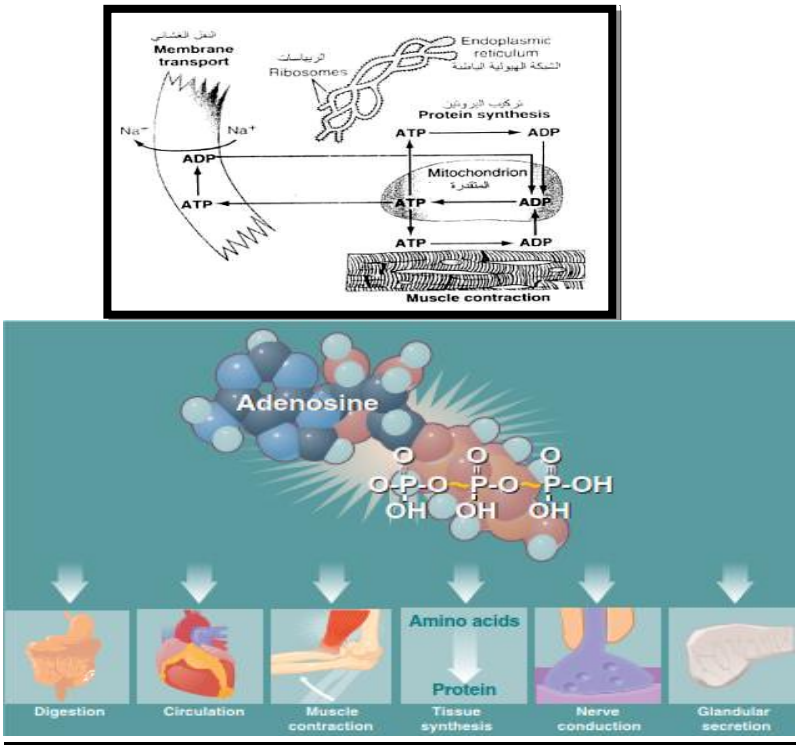
(1) النقل الغشائي

(2) صنع مركبات كيميائية في جميع أنحاء الخلية

(3)العمل الآلي.

ويبين الشـكل التالي هذه الاسـتعمالات الثلاثة المختلفة للـــ ATPمع الأمثلة (1): لتزويد عملية نقل الصوديوم عبر غشاء الخلية بالطاقة (2) ,لتعزيز عملية صنع البروتين بواسطة الريباسات، (3)لتزويد الطاقة اللازمة للتقلص العضلي .

كما يستعمل الـ ATP بادوار أخرى، بل هو محور حياة الطاقة اللازمة لحياة الكائن الحي، حيث يستعمل في جميع الوظائف الخلوية البنائية والهدمية والنقلية، فهو عبارة ***منبع طاقة لازمة لعمل الوظائف الحيوية*** (عمل القلب والدورة الدموية، عملية التنفس، عمل الجهاز العصبي، نظام التعديل الحراري...).



الشكل10 : دورو إستعمالات الـ ATP داخل الخلية الحية

تفصيل تدخل الـ ATP في الوظائف المذكورة سابقا:

- **تخليق DNA و RNA:**

ATP هو واحد من أربعة أحاديات الوحدة مونومرات (Monomer) المطلوبة في تخليق الحمض النووي الريبي، و يتم تعزيز هذه العملية بواسطة بوليميراز الحمض النووي الريبي، و تحدث عملية مماثلة في تكوين الحمض النووي ، باستثناء أن ATP يتم تحويله أولاً إلى deoxyribonucleotide dATP مثل العديد من تفاعلات التكثيف في الطبيعة، فإن تكرار الحمض النووي ونسخ الحمض النووي يستهلكان أيضًا **ATP**.

- **تنشيط الأحماض الأمينية في تخليق البروتين:**

تستهلك إنزيمات Aminoacyl-tRNA synthetase مركبات **ATP** في ارتباط الحمض النووي الريبي tRNA بالأحماض الأمينية ، وتشكل معقدات aminoacyl-tRNA، و يقوم Aminoacyl transferase بربط AMP-amino acid بـ tRNA، و يحدث الاقتران في خطوتين:

1. $\boldsymbol{aa + ATP \longrightarrow aa - AMP + PPi}$
2. $\boldsymbol{aa - AMP + tRNA \longrightarrow aa - tRNA + AMP}$

المعادلة 1: عملية تنشيط الأحماض الأمنية في لتخليق البروتين.

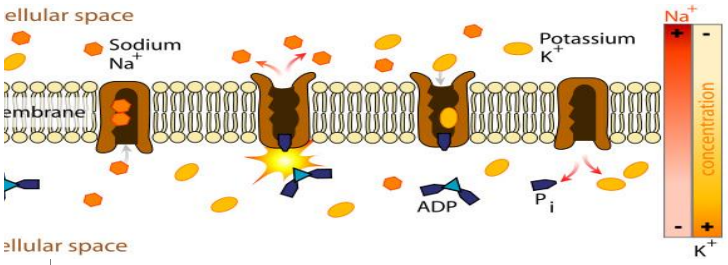
aa: Aminoacyl

- **النقل الغشائي: ناقل حامل شريط ربط ATP** (Kennedy, 2007; Sridharan et al., 2019) **:**

غالبًا ما يرتبط نقل المواد الكيميائية خارج الخلية عكس التدرج الناتج عن إماهة الـــATP، حيث يتوسط عملية النقل النواقل البروتين الحاملة لشريط ATP Binding (ABC Transporters) Cassette Transporters.

يشفر هذه العملية الجينوم البشري 48ABC transporters ، والتي يستخدم في التصدير الخلوي للأدوية ، والدهون ، ومركبات أخرى.

❖ و يضاف إلى ذلك دخوله في عملية نقل السيالة العصبية و مساهمته في عمل المضخة الأيونية لإعادة الإستقطاب بالنسبة للعصب، حتى يكون قابلا لنقل سيالة عصبية جديدة

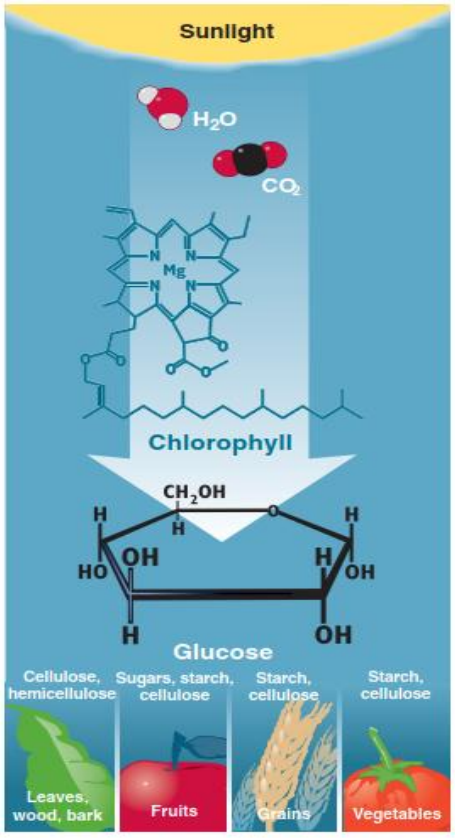


الشكل11 : عملية إعادة الاستقطاب و تدخل الـ ATP في ذلك.

7. الكربوهيدرات أو السكريات:

الفحوم الهيدروجينية أو النشويات أو الغلوسيدات أو الكربوهيدرات، و باللاتينية : (CARBOHYDRATUM)

و التي يطلق عليها مجازا **السكريات** هي مركبات عضوية تصنف ضمن عائلة الفحوم الهدروجينية (الكربوهيدرات)، وتحتوي على عدة وظائف غولية (**HO–**)، **صيغتها العامة : $C_n(H_2O)_n$. و يستثنى من هذه الصيغة العامة بعض السكريات كـ : ثنائيات اكسيد السكر، و السكريات الآمنية.**



الشكل12 : تصنيع الجلوكوز و أنواع السكريات الأخرى عن طريق عملية التركيب الضوئي.

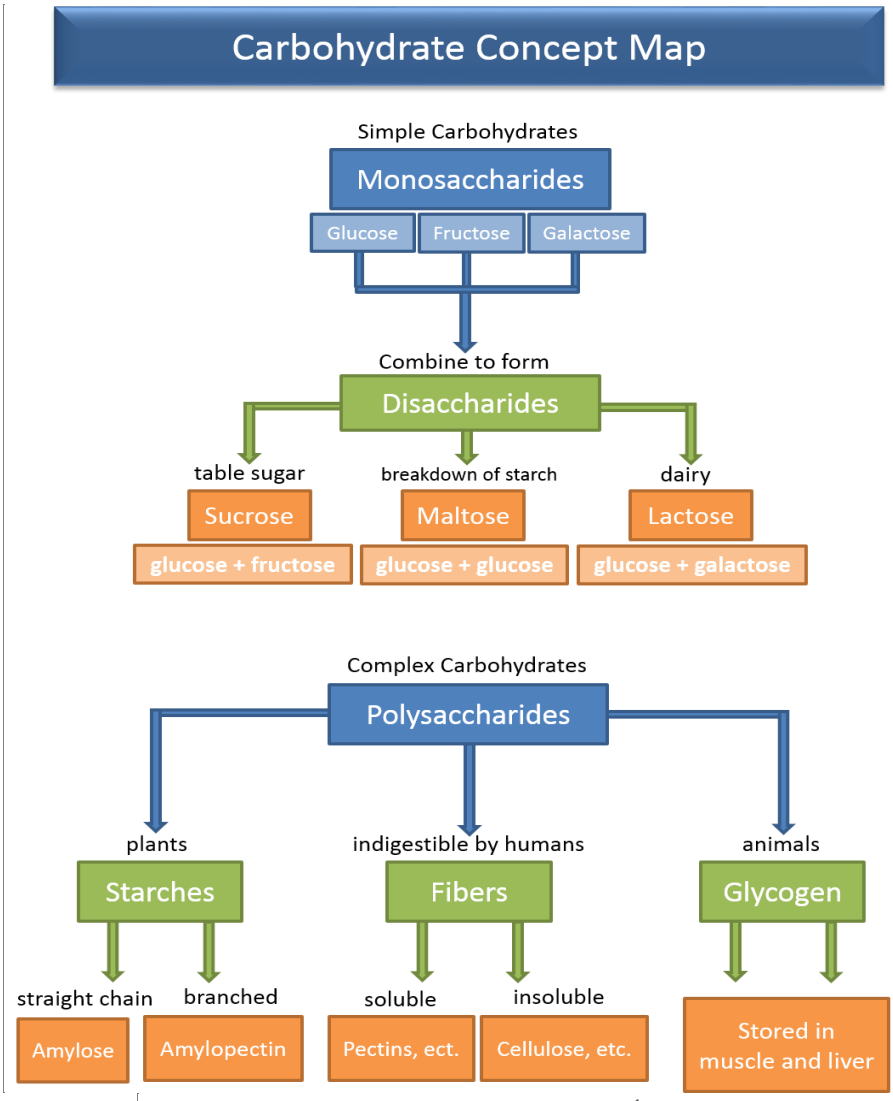
تتميز السكريات بشكل عام بطعم حلو لذلك تستخدم في الأطعمة والأشربة للتحلية.

تعتبر النباتات أكبر مصدر لهذا العنصر الغذائي، حيث تصنعه الخلايا النباتية في الصانعات الخضراء عن طريق عملية التركيب الضوئي، وأما يوجد في الحيونات كالغليكوجين في اللحوم و اللاكتوز في الحليب، فهو في الأصل تركيب للمصادرة النباتية التي دخلت جسم المركب عن طريق الأكل سواء كان الانسان أو الحيوان.

7.4 انواعها:

هناك أربعة مجموعات من الكربوهيدرات، و هي أحادية السكر monosaccharides، و ثنائية السكر disaccharides، و قليل السكر oligosaccharides، و متعددة السكر polysaccharides، حيث أن عدد السكريات البسيطة المكونة للمركب هي التي تحدد نوع الكربوهيدرات (William D. McArdle, Frank I. Katch, 2009).

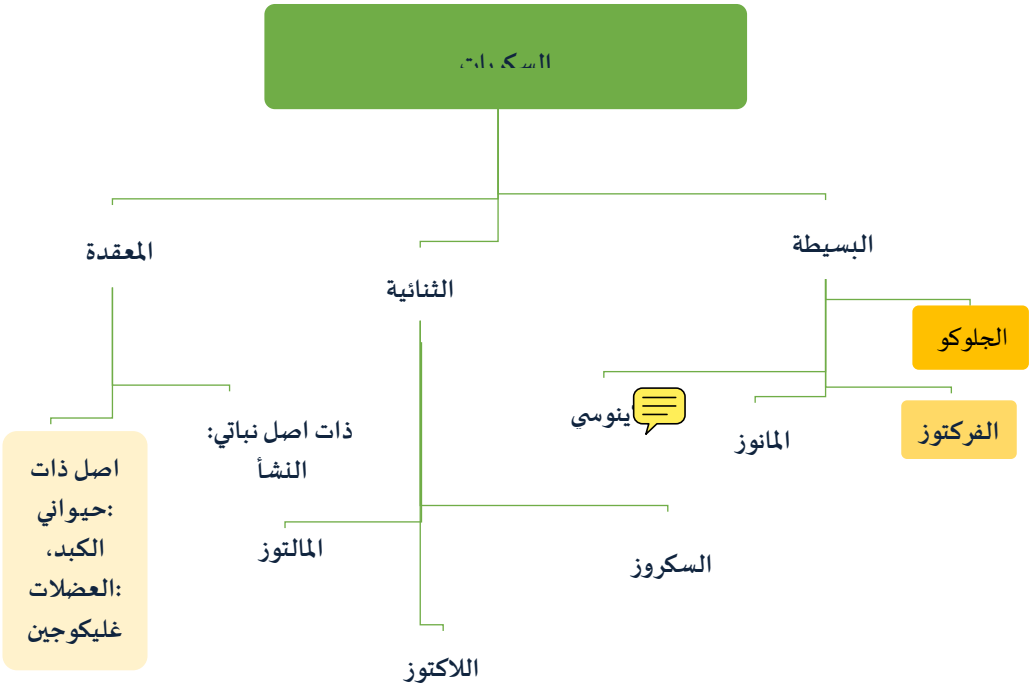
يبين المخطط الموالي خارطة لأصناف السكريات حسب حجمها، و ما يتبعه من عدد الوحدات الجزيئية المكونة للمركب، حيث تمثل السكريات الأحادية monosaccharides البسيطة منها، كالجلوكوز و الفروكتوز و القلاكتوز الوحدات الأساسية، و اذا جمعت مع غيرها تعطينا السكريات الثنائية disaccharides، كالسكروز أي سكر المائدة و المالتوز و اللاكتوز أو سكر الحليب، و إذا إجتمعت ثلاثة 3 إلى



الشكل 13: مخطط أنواع الكربوهيدارت حسب عدد الوحدات المكونة لها.

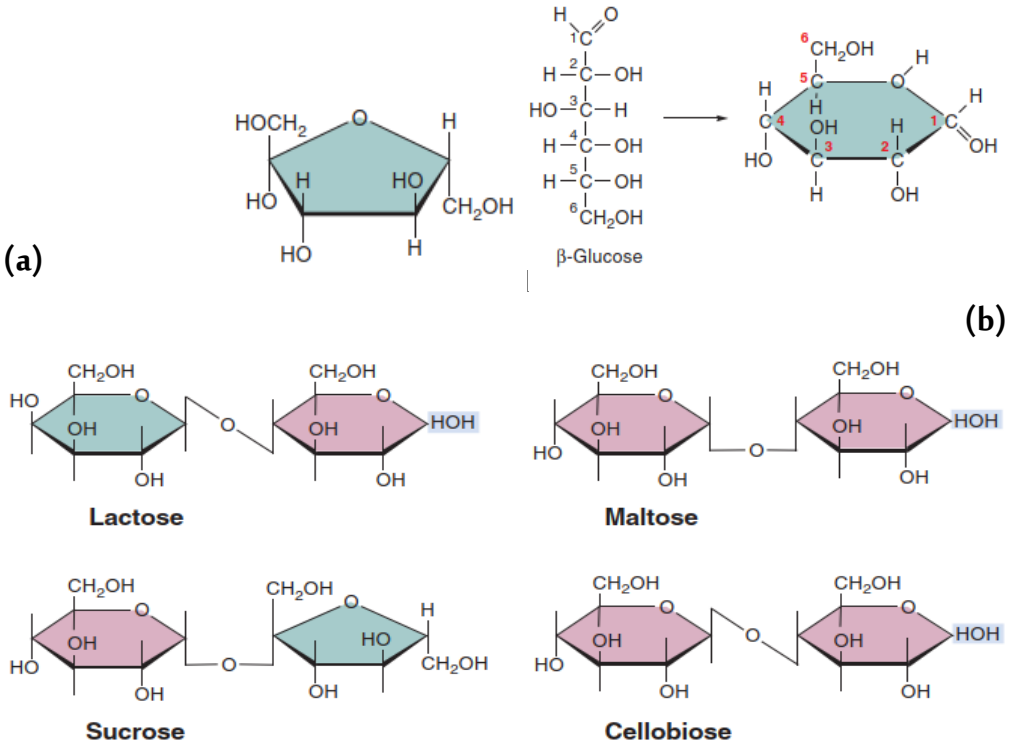
تسعة 9 جزيئات سكر بسيطة تعطينا ما سمي بالسكريات القليلة oligosaccharides، و من عشرة 10 إلى ألف 1000 وحدة فهي المسماة متعدد السكر **polysaccharides** (William D. McArdle, Frank I. Katch, 2009)، و منهم من يصنف القليلة السكر مع متعددة السكر.

و قد تصنف بشكل مختصر للمخطط السابق، لدينا:



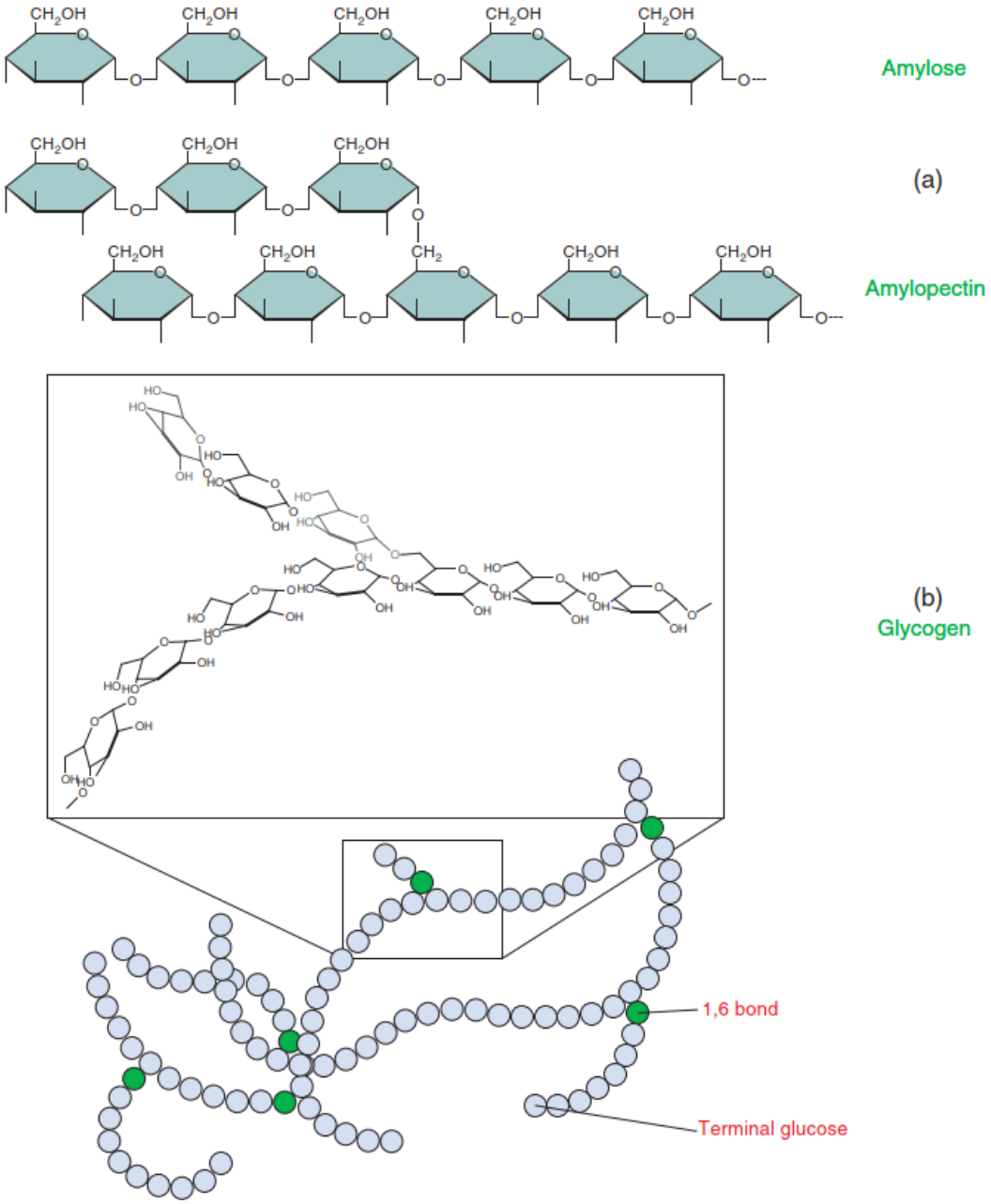
المخطط 9: أنواع السكريات

7.5 **البنية الكميائية للسكريات** (MacLaren & James, 2012):



الشكل14 : الصيغة العامة النصف المفصلة لـ: (a) أحادية السكر: الجلوكوز، الفروكتوز

(b) ثنائية السكر: اللاكتوز، المالتوز، السكروز، السيلوبيوز



الشكل15 : الصيغة العامة النصف مفصلة للمتعددة السكر: (a) اللأميلوز، اللأميلوبكتين، (b) الغليكوجين.

7.6 وظائف الكربوهيدرات في الجسم:

- **مصدر سريع للطاقة :**

تعتبر المواد السكريات مصدرا سريعا للطاقة مقارنة بالدهن والبروتين، كما تعتبر السكريات مادة الطعام الوحيدة في الجسم التي يمكن إنتاج لطاقة منها دون الحاجة للأكسجين.

- **توفيره من البروتين :**

عندما تنقص كمية السكريات في الجسم وبشكل خاص جلوكوز الدم، فإن مخزون الكبد من الجليكوجين يستخدم لتعويض النقص، وإذا استنفذت كمية الجليكوجين المخزونة في الكبد وهي بحدود 80-100 غرام، فإن الجسم يلجأ إلى تكسير البروتين من العضلات وغيرها من أجزاء الجسم المحتوية على البروتين وذلك لتوفير الجلوكوز للجهاز العصبي المركزي حيث يمكن للجسم تحويل البروتين إلى جلوكوز، و رغم أن البروتين يقوم بوظائف حيوية جدا فإن نقص الجليكوجين و السكريات عموما في الجسم يؤدي إلى استهلاك البروتين من الجسم.

- **يساعد على استخدام الدهن كمصدر للطاقة:**

لكي يستطيع الجسم استخدام الدهن كمصدر للطاقة فإن أحد مخلفات تكسير السكريات هي مادة حامض الأوكسالوأسيتك التي يجب أن تكون متوفرة في الجسم، وبالتالي فإن وجود السكريات في الجسم ضروري لكي يستطيع الجسم استخدام الدهن كمصدر للطاقة، لهذا فمن حيث مكافحة السمنة فإن تناول السكريات ضروري لكي يستطيع الجسم التخلص من الدهن الزائد من خلال استخدامه كمصدر للطاقة.

- **وقود الجهاز العصبي المركزي:**

لكي يستطيع الدماغ وبقية أجزاء الجهاز العصبي المركزي القيام بوظائفه في تنظيم الجسم، لا بد من توفر الجلوكوز لأنه مصدر الطاقة الرئيسي لهذا الجهاز الهام (Watts, Pocock, & Claudianos, 2018)، وإن نقص الجلوكوز في الدم يؤدي إلى ضعف عمليات التفكير والتركيز الذهني وبالتالي تكثر الأخطاء في المواقف التي تحتاج إلى سرعة التفكير وحسن التصرف.

- **أحد المركبات البنائية لجسم الانسان:** حيث يدخل في بناء الـ DNA، والمعقدات البروتينية الغشائية الخلوية، والتي تسمح بعملية الاتصال بين خلايا النسيج الواحد.



8. الدهون FAT :

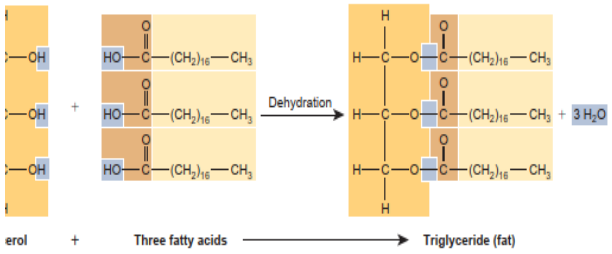
هي جزيئات مكونات غالبا (لكن ليس بشكل حصري) من ذرات الهيدروجين H و الكربون C، هذه الذرات مرتبطة بروابط تساهمية غير قطبية، و بالتالي فإن الدهون الغير قطبية لها قابلية للإماهة في الماء جد ضعيفة.

تمثل الدهون حوالي 40٪ من المادة العضوية في جسم الانسان المتوسط البنية (15% من وزن الجسم)، و يمكن تقسم الدهون إلى أربعة 04 فئات فرعية(WIDMAIER et al., 2011):

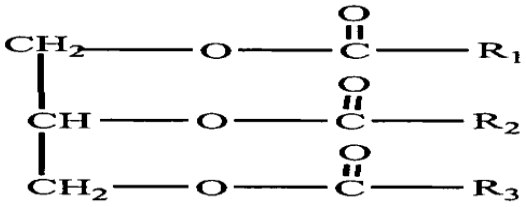
- الأحماض الدهنية fatty acids
- ثلاثيات الغليسيريد triglycerides
- الدهون الفوسفاتية phospholipids
- المنشطات أو الستيرويدات steroids

و المساة خطئا الشحوم، و هي مكونة من سلسلة ألفاتية من الأحماض الدهنية و الكحولات، و هي تشكل أساسا في الجسم على شكل مركب ضخم ثلاثي يسمى ثلاثي الغليسيريد triglyceride أو triacyglycerol، و الذي يشكل معظم دهون الجسم (WIDMAIER et al., 2011)، و الذي يتواجد في أنسجة تخزين الدهون في الجسم، حول الأعضاء الداخلية و تحت الجلد و في الكبد و العظام، حيث يتشكل جزيئة ثلاثي الكربون كحول الغليسرول glycerol مع ثلاثة أحماض دهنية fatty acids مشكلة بذلك ثلاثي الغليسيريد زائد ثلاثة جزيئات ماء 3 (H_2O)، كما في المعادلة المقابلة.

يكمن تصنيف الدهون كذلك حسب المخطط التالي:

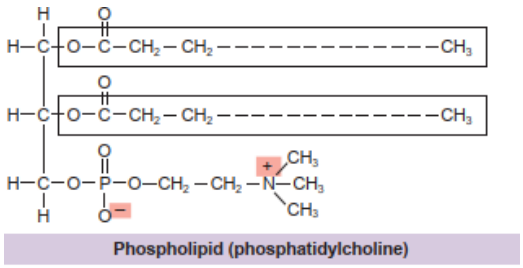


المعادلة 2 : معادلة تشكل ثلاثي الغليسيريد triglyceride

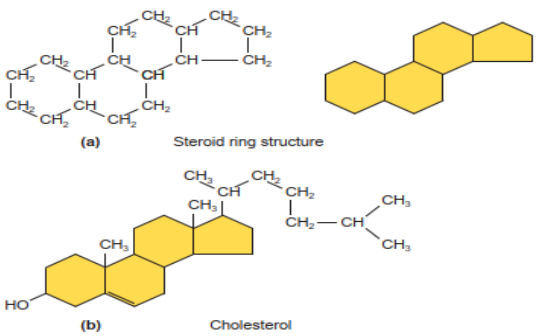


الصورة 12 : الصيغة النصف مفصلة العامة لثلاثي الغليسيريد

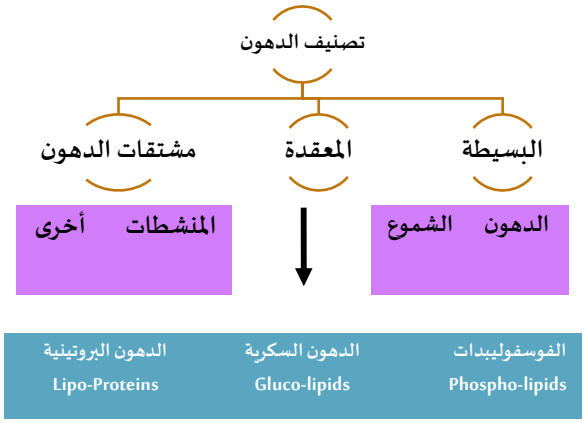
half developed of the triglyceride



الشكل16 : الصيغة المفصلة لدهن- فوسفاتي فوسفوتديلكولين



الشكل17 : الصيغة النصف مفصلة لحمضين دهنيين منشطين، (a) البنية الحلقية للمنشط (b) الكلوليسترول rings تتشكل من 04 حلقات Steroids وعموما المنشطات العضوية



الشكل18 : تصنيف الدهون.

8.4 دور الدهون في جسم الإنسان:

- **الدور الأيضي:**

منبع و مخزون كبير للطاقة مقارنة بالسكريات و البروتينات، بحيث أنها تنتج ضعف ما ينتجته كل من السكريات و البروتينات من الطاقة:

1غ من الدهون = 9 كيلوكالوري، و 1غ من السكريات أو البروتينات = 4 كيلوكالوري

تخزن الدهون في الجسم على شكل ثلاثي الغليسيريد في العظام و الكبد و العضلات و حول الأعضاء الداخلية و تحت الجلد.

كما أن المردودية الطاقوية بالنسبة للدهون و الأحماض الدهنية أكبر من السكريات، حيث أن هدم عن طريق السلسلة التنفسية لجزيئة حمض دهني كالباليبات Palamitate أكثر إنتاجا للـ ATP من جزيئة الجلوكوز Glucose، ، مع العلم أن مول واحد من ATP= 7.3 كيلوكالوري.

Palmitate(C16:0) → 129 ATP

Glucose (C6H12O6)→ 38 ATP

- **الدور البنائي:**

تساهم الدهون في عملية بناء دهون أخرى منها الفوسفوليبدات *Phospholipids*، و التي تشكل بنية جميع أغشية خلايا الجسم و عضياتها كونها غير نفوذة للماء و مرنة و مطاطية، كما تدخل في البنية الأساسية للهرمونات للستيرويدات *steroid hormones*.

- **دور الرسالة:**

الأحماض الدهنية هي منبهات لعدة رسل هرمونية داخل و خارج الخلية، مثل حمض الأركانويد *arachidonic acid* الذي هو أصل إيكوزانويد *eicosanoïds*، و هي هرمونات تتدخل في الالتهابات و تخثير الدم.

- **الحماية و المحافظة على درجة حرارة الجسم:**

تحمي الدهون المحيطة بالأعضاء الداخلية المحيطة بها من الاحتكاك، كما تساعد الجسم على المحافظة على درجة الحرارة كون الدهون تحت الجلد تعتبر عازل حراري.

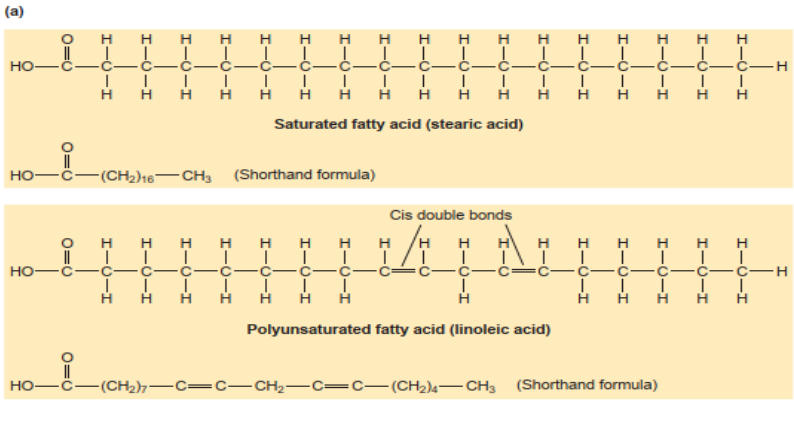
- **وظائف (المناعة و الحماية و الحرارة الداخلية و الهرمونات و الامتصاص).**
- **وظائف تحفيزية حيث أن كثير من الهرمونات ذات طبيعة دهنية مثل الهرمونات المنشطة أو البنائية المشتقة من الكوليستيرول و هرمونات الكبسولة الفوق كلوية أو الغدة الكضرية.**
- **وظائف إلتهابية جراء الإصابات.**
- **التدخل في مراقبة ضغط الدم.**

8.5 الأحماض الدهنية:

هي احماض احادية الوظيفة الكربوكسيلية (COOH-) ذات سلسلة ألفاتية (R)، عند الانسان (R) يتكون من **12-24** كربون.

8.6 أنواع الأحماض الدهنية في الجسم:

تنقسم الأحماض الدهنية في الجسم إلى قسمين أساسيين و هما: الأحماض الدهنية المشبعة sturated fatty acids، و الأحماض الدهنية الغير مشبعة unsturated fatty acids



الشكل19 : الصيغة المفصلة لـ: (a) حمض دهني مشبع ستياريك stearic acid. (b) حمض دهني غير مشبع لينوليك linoleic acid

8.6.1 الأحماض الدهنية المشبعة:

هي أحماض كربوكسيلية ألفاتية aliphatic carboxylic acids تحتوي نموذجيا من 12 إلى 24 كربون C، و لا على أية رابطة ثنائية بين كربونين C=C، فكل ذرات الكربون فيها مشبعة بالهيدروجين H.

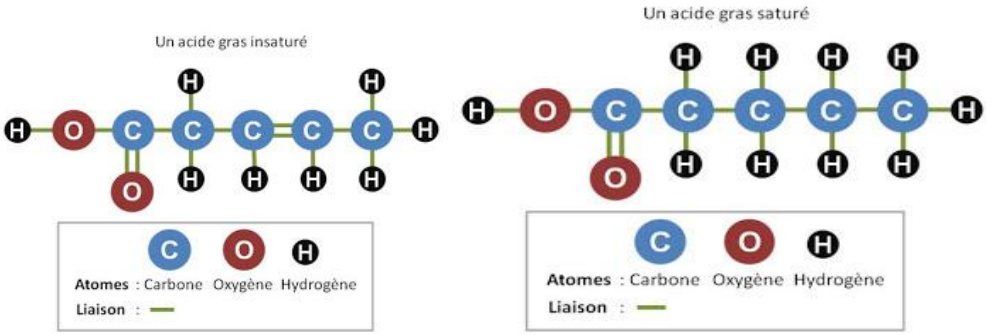
صيغته الكميائية العامة الممثلة هي: $CH_3(-CH_2)_{n-2} - COOH$

8.6.2 الأحماض الدهنية الغير مشبعة:

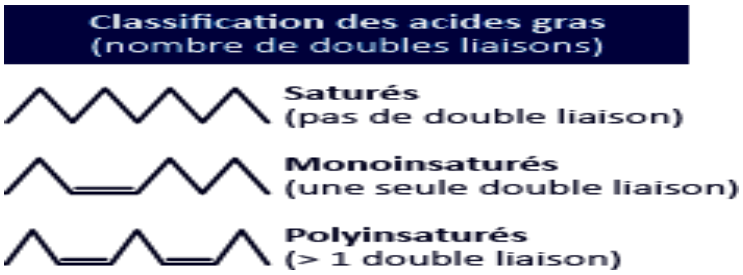
هي أحماض دهنية تحتوي على الأقل على رابطة ثنائية واحد بين كربونين C=C، و يمكن تحويل هذه الروابط الثنائية إلى روابط بسيطة بإضافة ذرتي هيدروجين 2H لكل رابطة ثنائية في الحمض الذهني ليصبح الحمض الدهني مشبعا.

من أنواع الأحماض الدهنية الغير مشبعة الأساسية المهمة لجسم الانسان و التي لا يستجسم الانسان إشتقاقها و لا تركيبها Omega-6 و Omega-3، و اللذان لهما الأثر و الاستعمال العكسي في جسم الانسان، حيث يقوم Omega-6 برفع ضغط الدم و التجليط و الزيادة في الالتهابات، و أما Omega-3 فلها عموما الأثر و الاستعمال العكسي لـ Omega-6.

تؤدي فوائض الدهن في الجسم الى السمنة أو الى ارتفاع نسبة الدسم في الدم، و قد يصبح مرضيا حتى بدون سمنة.



وتصـنف الأحماض الدهنية حسـب تشـبع روابطها، إلى أحماض دهنية مشـبعة و غير مشـبعة، و هذه الأخيرة أحوج للجسم و أنفع له من الأولى.



الفرق بين الحمض الدسم المشبع و الغير مشبع :

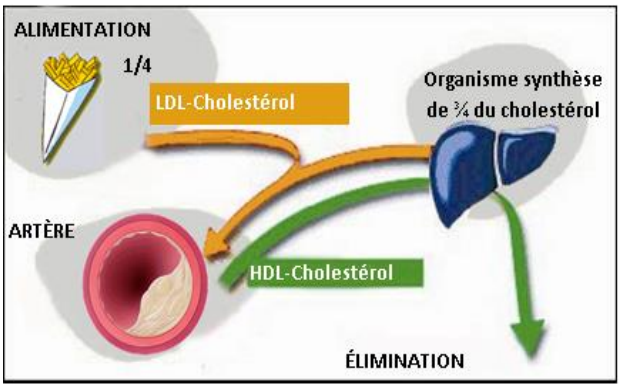
- الاحماض الدسمة المشبعة تأثر سلبا على ارتفاع نسبة الكوليسترول السيء في الدم.
- الاحماض الدسمة الغير مشبعة تأثر ايجابا على خفض نسبة الكوليسترول السيء في الدم.

هذا الكليسترول:

- مهم لحياة الإنسـان حيث يدخل في بناء أغشـية الخلايا و هو بعض عمليات النقل الخلوي و في صـناعة بعض الهرمونات كالكورتيزول Cortisol و كل الهرمونات المنشـطة Steroide Hormones، و كذلك في صـناعة الفيتامين د D Vitamine، المهم في عملية بناء العظام و في عملية إمتصـاص الأملاح المعدنية في الأمعاء الدقيقة كال Mg^{++}, Ca^{++}, P.
- 3\1 يدخل إلى الجسم عن طريق الأكل و 3\2 يستنتج في الجسم

- 3\1 الذي يدخل إلى الجسـم عن طريق الأكل ينقل عن طريق ناقلين بروتينيين دسـمين من نفس المجموعة الكميائية، لكنهما بختلفان في الكثافة، أحدهما منخفض الكثافة Low density lipoprotein (LDL)، و الثاني عالي الكثافة High density lipoprotein (HDL).
- هذا الأخير ينقل الكوليسترول الممتص إلى الكبد و أماكن تخزينه، و الأول يضعه على جدران الأوعية الدموية مما يضيقها و يضيق جريان الدم فيها، و هذا ما يزيد من إحتمال الجلاطات الدموية.

الكوليستيرول ينقل في الدم عن طريق ناقلين: LDL , HDL



الشكل 20: مسار الأحماض الدهنية المشبعة (نو اقلها البروتينات الدهنية العالية الكثافة high friver HDL lipoproteins) و الغير مشبعة المشبعة (نو اقلها البروتينات الدهنية المنخفضة الكثافة low friver LDL lipoproteins)، حيث تضعها الـ LDL على جدران الأوعية الدموية، لتتراكم على شكل طبقات متصلبة Atheroma.

8.7 المستويات المعيارية لقيم كوليسترول الدم:

يحسب مستوى الكوليستيرول في الدم بالميليمول في اللتر الواحد من الدم، أو ما يقابله بالميليغرام في الديسيلتر من الدم، حسب الجدول التالي:

التصنيف أو التحليل	المستوى الكوليسترول في الدم	
	mmol/L	mg/dl
مستوا مرغوب (خطورة منخفظة)	5.2 <	200 <
حدود الخطورة العالية	6.2-5.2	240-200
خطورة عالية	6.2 >	240 >

الجدول رقم 1: تصنيف قيم الكوليسترول في الدم حسب تقرير البرنامج التربوي الوطني للكوليسترول التابع للمعهد الوطني الأمريكي للقلب، الرئتين و الدم.

و يبين الشكل التالي تصنيف بعض الأغذية من حيث محتواها من الأحماض الدهنية المشبعة و الغير مشبعة، ومدى مستوى خطورة تأثيرها على صحة جسم الإنسان، حيث تعتبر الأسماك و بذور الكتان FLAX SEED و زيت الزيتون OLIVE OIL و الفواكه كالآفوكادرو AVOCADO و زيت الكانولا CANOLA OIL المستخرج من بذور اللفت أو الخرد أو الكرنب، و الجوزة WALNUTS من أحسن الأغذية التي تحتوي على الأحماض الدهنية المشبعة المفيدة لصحة الجسم.

اما الجبائن CHEESE و اللحوم الحمراء MEET و زيت النخيل PALM OIL و جوز البندق MACADAMIA NUTS و زيوت OILS الذرة CORNA و ورد الشمس SUNFLOWER و الزبدة النباتية و عجينة الفطائر

PIE CRUST، فهي غني بالأحماض الدهنية المشـبعة التي ترفع من مسـتويات الدهون الدم و تتراكم على جدران الأوعية الدموية كما سبق شرحه.



الشكل 21: تصنيف أنواع الأحماض الدسمة من حيث أثرها على صحة جسم الانسان.

9. البروتينات:

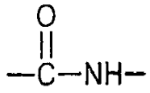
مصـطلح البروتينـات في اللغـة الإغرقيـة هي ***proteios*** معنـاه في المرتبـة الأولى، و الـذي يعكس أهميتـه البيولوجية، حيث يمثل 50% من المادة العضوية في جسم الإنسان (حوالي 17% من وزن جسم الانسان)، و الذي يلعب أدوارا مهمة في الأنظمة الفيزيولوجية و التوازن الداخلي للجسم(WIDMAIER et al., 2011).

بالنسبة لشخص يزن 70 كلغ، فإنه يتكون من 6 كلغ من البروتينات (الوزن الصافي) مقسمة بشكل أساسي في العضلات والكبد

تتكون البروتينات من الكربون C و الهيدروجين H و النيتروجين N، و عناصر أخرى ضئيلة منها الكبريت S. و هي عبارة عن جزيئات ضـخمة غالبا ما تتكون من آلاف الذرات، و التي تتكون من عدد واسـع من الوحدات

الفرعية (أحادية الوحدة monomers) ترتبط مع بعضها البعض عن طريق تفاعلات نزع الماء لتشكل متعدد الوحدة Polymer.

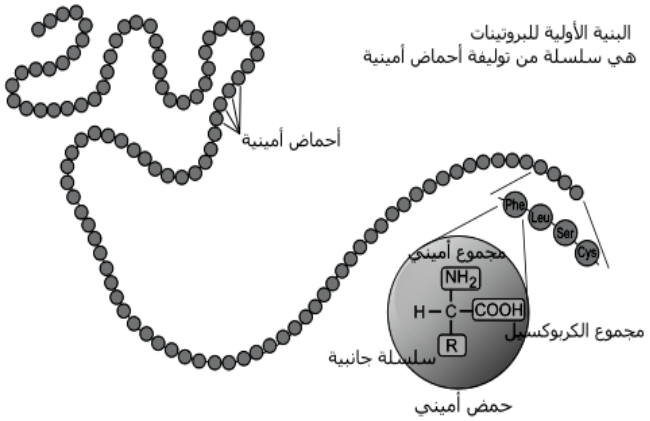
فالبروتينات هي مركب عضوي مبني من سلسلة واحدة او عدة سلاسل من الاحماض الامنية المتصلة ببعضها البعض بواسطة رابطة ببتيدية(Peptide bond).



تعتبر البروتينات مركبات ضرورية للجسم، فهي تشكل المادة البنيوية للعضلات، الانسجة و الاعضاء، وتنظم وظائف الجسم كالانزيمات والهورمونات .

تنتج البروتينات في الجسم من خلال تخليق(Synthesis) الاحماض الامينية الناجمة عن تحليل بروتينات الغذاء .يتحول فائض البروتينات الذي لا يحتاجه الجسم الى غلوكوز ويستعمل كمصدر للطاقة.

- **البنية الأولية للبروتينات**



البنية الكيميائية لحمض أميني في الكربون ألفا، لاحظ جذر الأمين NH_2 إلى اليسار وجذر الكربوكسيل COOH إلى اليمين، متحدتين مع ذرة كربون مرتبطة بدورها بسلسلة عضوية جانبية Side chain تكون مختلفة من حمض أميني إلى آخر .

9.4 **دور البروتينات:**

نستطيع تلخيص دور البروتينات في جسم الانسان إلى سبعة 7 مجموعات وظيفة، و هي النسخ الوراثي، النقل، الهضم و التفكيك و التحويل و توسط التفعلات الكميائية، الإتصال و الإشارة، الحركة و التقاص العضلي، البناء، المناعة و الدفاعن كما يلي:

المجموعة	الوظيفة	مثال
البروتينات التي تضبط الرسالة الوراثية	تركيب RNA من DNA، و تركيب متعدد البيبتيد من RNA.	عوامل النسخ تنشط الجينات ؛ أنزيم polymerase RNA ينسخ الجينات ؛ البروتينات الريبوسومية مطلوبة لترجمة الرنا المرسال mRNA إلى بروتين.
النو اقل البروتينية	التوسط في حركة المواد المذابة مثل الأيونات والجزيئات العضوية عبر أغشية البلازما	تسمح القنوات الأيونية في أغشية الخلايا (البلازما) بالحركة عبر غشاء الأيونات مثل Na^1 و K^1.
الأنزيمات	تسريع معدل التفاعلات الكيميائية المحددة ، مثل تلك المطلوبة لعملية التمثيل الغذائي الخلوي	إن الليباز البنكرياس Pancreatic lipase ، الأميليز amylase، والبروتياز proteasesالمفرزة في الأمعاء الدقيقة تحطم الجزيئات الكبيرة إلى جزيئات أصغر يمكن أن تمتصها الخلايا المعوية ؛ تعمل كينازات البروتين protein kinases على تعديل البروتينات الأخرى عن طريق إضافة مجموعات الفوسفات ، مما يغير وظيفة البروتين.
بروتينات الرسائل (الإشارات) الخلوية	تمكين الخلايا من التواصل مع بعضها البعض ومع نفسها ومع البيئة الخارجية	ترتبط مستقبلات الغشاء الخلوي بالهرمونات أو النو اقل العصبية في السائل خارج الخلية.
البروتينات الحركية	الابتداء في الحركة	توفر خيوط الأكتين و المايوزين الموجود في خلايا العضلات القوة الانقباضية التي تقصر من العضلات.
البروتينات البنيوية	يدعم و يوصل ويقوي الخلايا و الأنسجة و الأعضاء	يوفر الكولاجين والإيلاستين الدعم للأربطة والأوتار وبعض الأوعية الدموية الكبيرة ؛ و يشكل الأكتين الكثير من الهيكل الخلوي أو الشبكة الداعمة للخلايا.
البروتينات الدفاعية	الحماية ضد العدوى و الأمراض المسببة من طرف الأجسام الممرضة	تهاجم الخلايا المناعية و الأجسام المضادة الخلايا و البروتينات الخارجية، مثل التي القادمة من طرف البكتيريا و الفيروسات

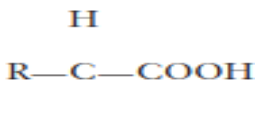
الجدول 1: أهم وظائف البروتينات في جسم الانسان.

9.5 الأحماض الآمنية:

كل الأحماض الآمينة ما عدى البرولين proline تحتوي على جذر آميني (NH_2ــــ) و جذر حمضي (COOH) متصلة بذرة الكربون النهائي في الجزيئTerminal carbon atom ، و الرابطة الثالثة من هذا الكربون هي ذرة الهيدروجين، و الرابطة الرابعة الباقية هي للسلسلة الجانبية R، حيث أن هذه السلسلة الجانبية هي صغيرة نسبيا تتراوح من ذرة هيدروجين H إلى تسعة 09 ذرات كربون C مع ذراتها من الهيدروجين H.

البروتينات في الكائنات الحية تتكون من مجموعة من عشرون 20 حمض آميني، الراجعة إلى 20 سلسلة جانبية مختلفة، هذه السلاسل الجانبية قد تكون غير قطبية (ثمانية أحماض آمنية)، أو قطبية و أيونية (خمسة أحماض آمنية)(WIDMAIER et al., 2011).

فطر جسم الانسان على تركيب الكثير من الأحماض الآمنية، لكن العديد منها يتحصل عليها عن طريق الغذاء، حيث تمثل هذه الأخيرة الأحماض الآمنية الأساسية، و التي منها ما هي الأهم بالنسبة للأحماض الأساسية الأخرى، و هما الليزين Lysine (K) و التريونين Threonine (T).



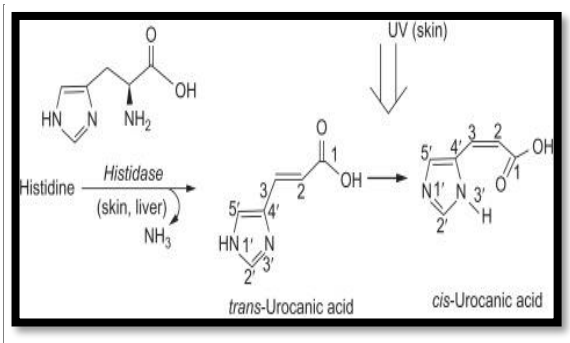
الشكل22 : الصيغة النصف مفصلة للحمض الآميني

الاحماض الامنية الاساسية:

Nom	Doses journalières recommandées pour les adultes selon l'OMS, la FAO et l'UNU (mg/kg)	Valeurs pour un adulte de 70 kg (mg)
F Phénylalanine (avec la tyrosine)	25	1 750 فينيلالنين مع تيروزين
L Leucine	39	2 730 لوسين
M Méthionine (avec la cystéine)	15	1 050 ميثيونين مع سيستيين
K Lysine	30	2 100 ليزين
I Isoleucine	20	1 400 إيزولوسين
V Valine	26	1 960 فالين
T Thréonine	15	1 050 تريونين
W Tryptophane	4	280 تربتوفان
H Histidine	10	700 هيستدين

الجدول 2: الأحماض الأمنية الأساسية لصناعة البروتين داخل الخلية وكمية حاجيات لها حسب منظمة الصحة العالمية OMS، و منظمة التغذية و الزراعة FAO، و جامعة الأمم المتحدة UNU.

اللیزین و التریونین هما الحمضان الآمنیان الوحیدان الجد أساسیان، لكونهما لا یقبلان تغییر في تشكلهما من الجهة وضعیة *cis* إلى الجهة المعاكسة *trans* ، و الذي یجعل نزع الوظیفة الآمنیة منهما غیر تراجعیة أو غیر عكسیة.



الصورة 10: تغییر في تشكل الهستدین Histidine

9.6 اهم المنابع الغذائية للأحماض الآمنية الأساسية:

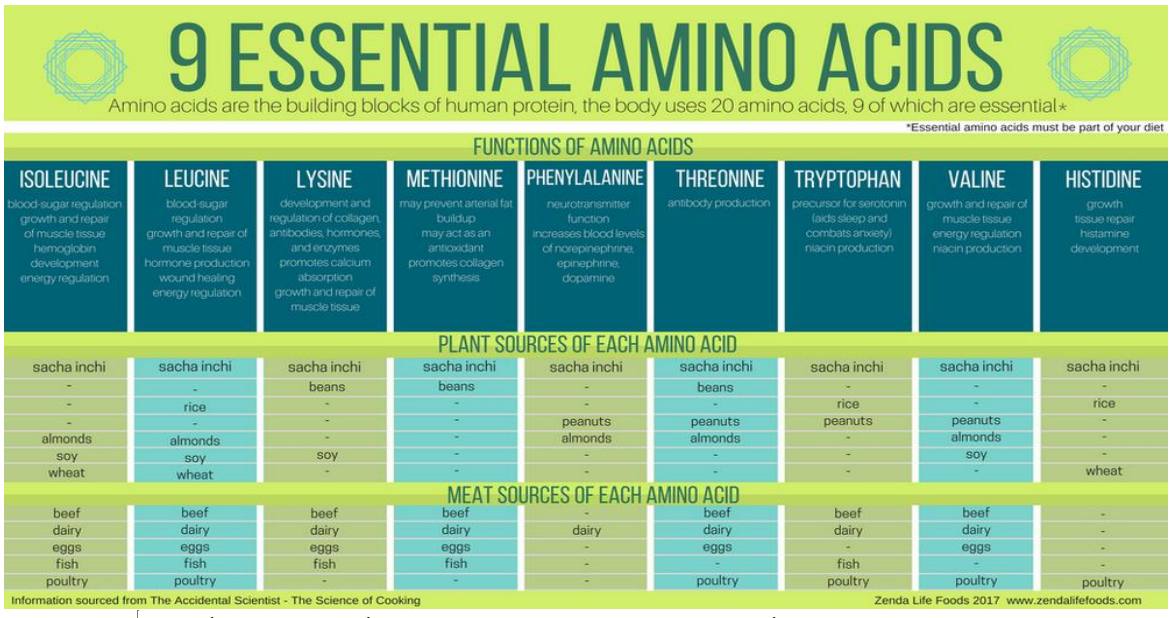
مثلما نجدها في اللحوم فهي موجودة أيضا في الحبوب و البقوليات مثل الفاصولياء و الذرة و بعض الخضر و هذا من رحمة الله بعباده، فعلى سبيل المثال يوفر النظام الغذائي النباتي جميع الأحماض الأمينية الأساسية إذا كان البديل الغذائي الموصى به للبروتين يحتوي على 60٪ من البروتين من منتجات الحبوب، و 35٪ من البقوليات، و 5٪ من الخضار الورقية.

يحصل الشخص الذي يبلغ وزنه 70 كجم على جميع الأحماض الأمينية الأساسية عن طريق استهلاك حوالي 56 جرامًا من البروتين من حوالي وحد و ربع (4\5)كوب من الفاصوليا ، وربع (4\1) كوب من البذور أو المكسرات ، و 4 شرائح من الخبز المصنوع من الحبوب الكاملة ، و كوبين من الخضروات (1 كوب الورق الأخضر) ، و كوبين و نصف (2\5) من مصادر الحبوب (الأرز البني ، دقيق الشوفان ، القمح المجروش أو الخشن أو المفتة الغير الناعم)(William D. McArdle, Frank I. Katch, 2009).

وكذلك من بين الأغذية التي تحتوي على الأحماض الآمنية الأساسية، البقوليات والحبوب الجافة والمكسرات والخضر، كما هو ممثل في الصور التالية :



الصورة13 : بعض الأغذية النباتية التي تحتوي على الأحماض الآمنية الأساسية و الأهم منها.



الجدول3 : قائمة مجموعة من الأغذية النباتية و الحيوانية التي تحتوي على الأحماض الآمنية الأساسية.

9.7 الاحماض النووية NUCLOID ACIDS :

تمثل حوالي 2% من وزن الجسم، حيث تعتبر الجزيئات ذات أهمية كبيرة لأنها مسؤولة عن التخزين و التعبير و نقل الرسالة أو المعلومة الوراثية(WIDMAIER et al., 2011)، فالتعبير عن المعلومة الوراثية يحدد الجنس و النوع و كثير من الخصائص الخلقية، و كذلك نوع الخلية من نوع النسيج الخلوي، عضلي أو طلائي و غيرهما.

لها دور بنائي فقط، و يوجد نوعان من الاحماض النووية و هما :

1. الدنا (DNA) حمض ريبونوكليك ناقص الاكسجين (Deoxyribonucleic acid)
2. الرنا (RNA) حمض ريبونوكليك (Ribonucleic acid)

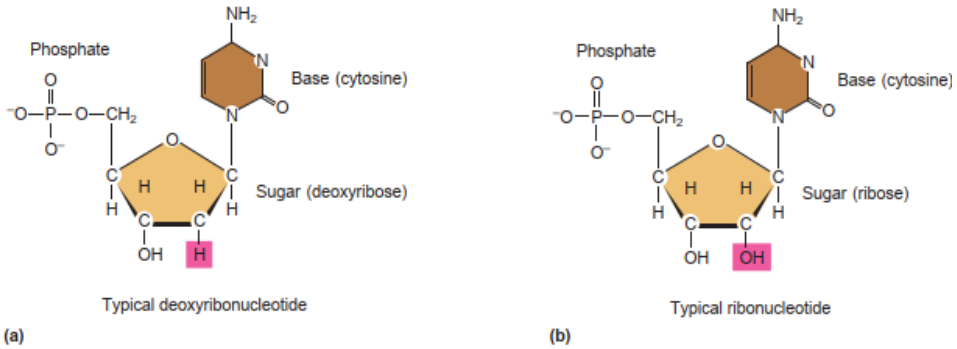
تخزن جزيئات الحمض النووي DNA المعلومات الجينية المشفرة في تسلسل جيناتها ، بينما تشارك جزيئات الحمض النووي الريبي RNA في فك تشفير هذه المعلومات إلى تعليمات لربط تسلسل معين من الأحماض الأمينية معًا لتشكيل سلسلة بولي ببتيد محددة.

يحتوي الدنا (DNA) على المعلومات الجينية الوراثية لتصنيع الاحماض الامينية) تتحد الاحماض الامينية مع بعضها لتكون البرونينات (و تحدد نوعية البروتينات صفات المخلوق بإذن الله تعالى، و تتحكم في وظائف الخلية، كما تقوم البروتينات بعدة ادوار داخل جسم الانسان .

كلا النوعين من الأحماض النووية عبارة عن متعددة الجزيئات Polymers، و بالتالي يتكونان من متواليات خطية من الوحدات الفرعية المتكررة، و تحتوي كل وحدة فرعية و التي تُعرف بالنيوكليوتيدات على ثلاثة مكونات: مجموعة الفوسفات ، و السكر ، وحلقة من ذرات الكربون C و النيتروجين N، و التي تعرف بالقاعدة لأنها يمكن أن تقبل أيونات الهيدروجين H.

تختلف جزيئات الحمض النووي الريبي (RNA) في جوانب قليلة فقط عن الحمض النووي الناقص الأكسجين (DNA):

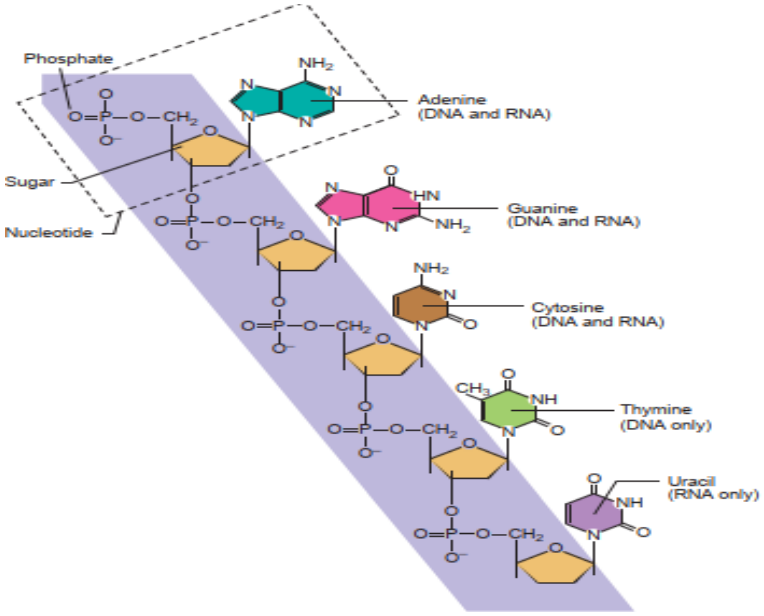
1- يتكون الحمض النووي الربي (RNA) من سلسلة واحدة (و ليست مزدوجة) من النيوكليوتيدات ؛
2- في الحمض النووي الربي (RNA)، يكون السكر في كل نوكليوتيد ريبوز وليس ديوكسيريبوز ؛
3- يتم استبدال قاعدة الثايمين بيريميدين في الحمض النووي الريبي (RNA) بقاعدة الإيلسرين بيريميدين uracil (U)، والتي يمكن أن تتزاوج مع الأدينين البيورين (الاقتران A-U).



الشكل23 : الصيغة النصف مفصلة لـ:

(a) حمض ريبونوكليك ناقص الاكسجينDeoxyribonucleic acid(DNA)

(b) حمض ريبونوكليك Ribonucleic acid (RNA).



الشكل24 : ترتبط رو ابط الفوسفات -السكر النيوكليوتيدية بالتتابع لتشكيل الأحماض النووية. لاحظ أن قاعدة بيريميدين الثايمين توجد فقط في الحمض النووي الناقص أوكسجين DNA، واليوراسيل موجود فقط في الحمض النووي الريبيRNA.

9.8 مضاعفات داء فرط تناول البروتين:

إرتفاع الدهون: يعد ارتفاع الدهون من المشـــاكل الرئيســـية في الأنظمة الغذائية عالية البروتين، حيث تركز على تناول اللحوم واســـتبعاد المواد الغذائية الأخرى التي يحتاجها الجســـم، وبالتالي، يتم اســـتهلاك

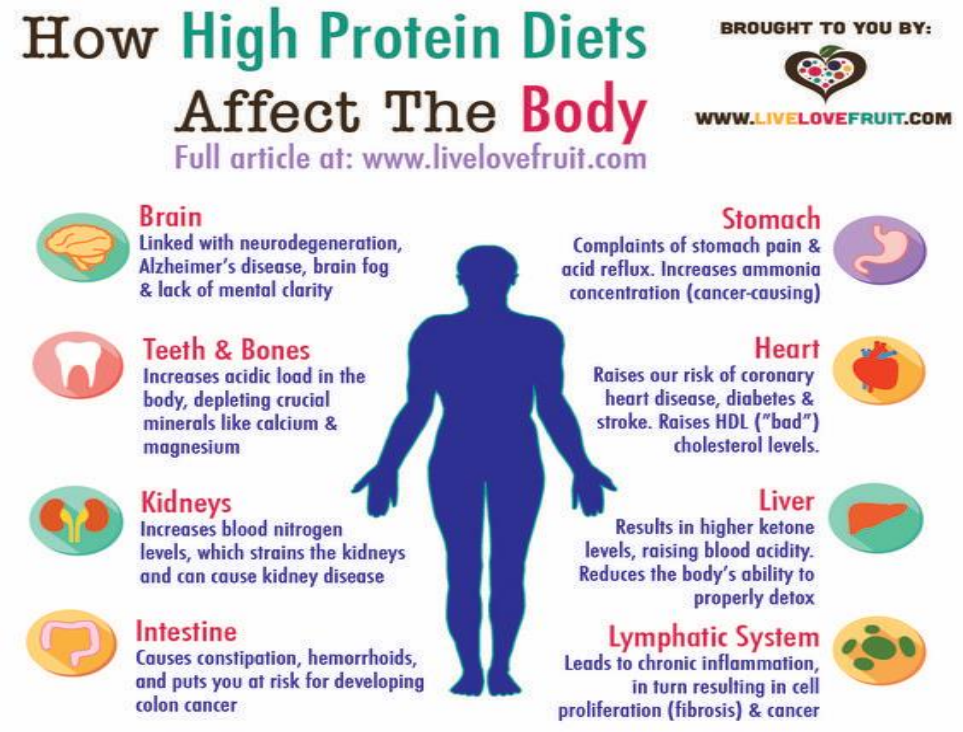
الدهون المشبعة بسبب تناول كمية كبيرة من اللحم . تساهم الدهون المشبعة في رفع مستوى الكوليسترول في الدم. يسبب الكوليسترول العديد من أمراض القلب، مثل تصلب الشرايين وغيره من الأمراض.كما أن عدم تناول الكربوهيدرات الغنية بالألياف التي تقوم بخفض الكوليسترول يسبب ارتفاع الكولستيرول. لذلك ننصح بتناول الغذاء المتوازن الذي يحتوي على جميع العناصر الغذائية باعتدال.

أمراض الكلى:يتسبب استهلاك كمية كبيرة من البروتين في النظام الغذائي في الإضرار بالكليتين وبالتالي انخفاض وظائف الكلى.يرتبط البروتين بحمض اليورك، وهو عبارة عن مخلفات يتم إنتاجها عندما يقوم الجسم بتحطيم البروتين.قد يرتفع حمض اليورك بسبب ارتفاع ضغط الدم أو أمراض الكلى.

هشاشة العظام: يؤثر البروتين على نسبة الكالسيوم، حيث يزيد فقدان الكالسيوم عن طريق البول.بالتالي، يزيد خطر الإصابة بهشاشة العظام بسبب زيادة فقد الكالسيوم الذي يرتبط بتناول البروتين.يحدث ذلك نتيجة للتخلص من الماء الزائد من الجسم المصحوب بالمغذيات.

السرطان: ترتبط الحمية الغنية بالبروتين بارتفاع مادة تسمى عامل النمو الشبيه بالإنسولين،ترتبط هذه المادة بسرطان الثدي والبروستاتا وبعض أنواع سرطان القولون.يحتوي البروتين على الدهون المشبعة والكوليسترول الذي يصعب فصله مما يزيد من خطر الإصابة بالسرطان، وخاصة اللحم البقري ولحم الخنزير ولحم الضأن حيث يرتبط جميعهم بسرطان القولون والبروستاتا.

ما سبق هو بمثابة أهم الأمراض التي يتعرض إليها الجسم بسبب الإفراط في إستهلاك البروتينات، وقد تتوسع المضاعفات للعلاقة التلازمية بين الأمراض الناجمة عن الإختلال في التغذية.



الشكل 25: المضاعفات والأمراض المترتبة عن الإستهلاك المفرط للبروتينات عن الحد الذي يحتاج إليه جسم الإنسان.

9.9 إختبارات معرفة مستويات البروتينات في جسم الإنسان:

لمعرفة مستويات البروتينات في جسم الانسان لدينا إختبارين مهمين، وهما إختبار البول والدم، حيث يشخصان مستوى عنصرين بروتنيين مرآة لكمية البروتينات في جسم الانسان، وهما الألبومين Albumin والغلبيلين Globulin والكرياتين Creatine، أو نسبة العلاقة بين العناصر السابقة

تقيس اختبارات البروتين الكلي العدد الإجمالي للبروتينات الموجودة في سوائل الجسم. تعمل البروتينات ككتل بناء للعديد من الأعضاء والهرمونات والإنزيمات، وبالتالي فهي ضرورية للصحة العامة[7].

يفحص الاختبار البروتين إما في البول أو في جزء الدم الذي يسميه الأطباء "المصل".

9.9.1 اختبار الدم:

يقيس اختبار البروتين الكلي في المصل كمية الألبومين Albumin والغلوبيولين Globulin الموجودة في جزء المصل من الدم، وبدرجة أقل يقيس أيضًا البروتينات الأخرى.

يمثل بروتين الألبومين نصف bumin جمالي البروتينTrusted Source الموجود في بلازما الدم، حيث ينظم الضغط في البلازما لمنع تسرب الماء من الأوعية الدموية.

تختلف بروتينات الجلوبيولين في الحجم والوزن والوظيفة، وهي تشمل الجلوبيولين Globulin ألفا وبيتا وجاما.

9.9.2 اختبار البول:

يبحث اختبار البروتين في البول في مقدار البروتين الموجود في عينة البول، حيث تقوم الكلى بتصفية الألبومين Albumin والبروتينات الأخرى من الدم، لذلك يمكن أن يحتوي البول على كميات صغيرة من البروتين.

ومع ذلك، يمكن أن تتسبب مشاكل المسالك البولية، مثل مرض الكلى المزمن، في تسرب كميات كبيرة من البروتين إلى البول، فيكشف اختبار بروتين البول عما إذا كان هناك الكثير من كمية البروتينات.

9.9.2.1 مستويات البروتين النموذجية في البول والدم:

النطاق النموذجي لمستويات البروتينTrusted Source في مصل الدم هو 6-8 جرام لكل ديسيلتر (جم / ديسيلتر). من هذا، يشكل الألبومين 3.5 إلى 5.0 جم / ديسيلتر، والباقي عبارة عن جلوبيولين إجمالي، ومع ذلك، من المهم ملاحظة أن هذه النطاقات قد تختلف بين المختبرات المختلفة.

عادة، يتخلص جسم الشخص من أقل من 150 مليجرام (مجم) من إجمالي البروتين وأقل من 30 مجم من الألبومين من خلال البول كل 24 ساعة.

[7] تمت المراجعة الطبية الأخيرة في 12 يناير 2024

لا تشير مستويات البروتين المرتفعة أو المنخفضة في المصل أو البول دائمًا إلى حالة طبية مرضية، فقد تشمل العوامل التي يمكن أن تؤثر على مستويات البروتين لدى الشخص ما يلي:

- ***التمارين المكثفة***
- ***النظام الغذائي***
- ***الإجهاد***
- ***الجفاف***
- ***الحمل***
- ***مستويات البروتين النموذجية أثناء الحمل***

عندما تكون المرأة حاملاً، قد تحتاج إلى إجراء اختبارات البول بحثًا عن علامات وجود بروتين في البول.
قد يشير البروتين في البول الذي يتجاوز 300 مجم من البروتين يوميًا إلى تسمم الحمل، وهو أحد المضاعفات المحتملة للحمل التي تسبب ارتفاع ضغط الدم وتأثيرات أخرى.

9.9.3 متى أحتاج إلى اختبار البروتين الكلي؟

قد يطلب الطبيب إجراء اختبار البروتين الكلي في المصل أثناء الفحص الصحي الروتيني كجزء من لوحة التمثيل الغذائي الشاملة comprehensive metabolic panel (CMP).
قد يستخدم الأطباء أيضًا اختبار البروتين الكلي للمساعدة في تشخيص مجموعة متنوعة من الأمراض التي تؤثر على مستويات البروتين. قد يوصون باختبار إذا كان الشخص يعاني من:

- **فقدان الوزن غير المتوقع**
- **فقدان الشهية**
- **التعب**
- **الوذمة أو التورم الناتج عن زيادة السوائل**
- **صعوبة التبول**
- **الغثيان أو القيء**
- **أعراض نقص التغذية**
- **قد يخضع الأشخاص الذين يعانون من حالات طبية تؤثر على الجهاز الهضمي أو الكبد أو الكلى لاختبارات البروتين الكلي أثناء زيارات المتابعة لمراقبة حالتهم.**

9.9.3.1 تفسير النتائج:

سينظر الطبيب إلى نتائج اختبار البروتين الكلي في المصل إلى جانب نتائج الاختبارات الأخرى للمساعدة في تشخيص الحالات الطبية، وسوف يحلل النتائج في سياق CMP الكلي للشخص.

إذا لم تكن مستويات البروتين نموذجية، فقد يوصي الطبيب بإجراء المزيد من الاختبارات.

9.9.3.2 ماذا تعني مستويات البروتين العالية؟

يمكن أن تشير مستويات البروتين الكلي المرتفعة في المصل إلى الحالات الصحية التالية:

- الالتهاب الناتج عن العدوى، مثل فيروس نقص المناعة البشرية أو التهاب الكبد الفيروسي.
- السرطانات، مثل الورم النقوي المتعدد.
- الجفاف.

ماذا تعني مستويات البروتين المنخفضة؟

قد تشير مستويات البروتين الكلي المنخفضة في المصل إلى أي من الحالات الصحية التالية:

- سوء التغذية
- اضطرابات سوء الامتصاص، مثل مرض الاضطرابات الهضمية أو مرض التهاب الأمعاء (IBD)
- مرض الكبد
- مرض الكلى، مثل متلازمة الكلى أو التهاب كبيبات الكلى
- قصور القلب الاحتقاني
- نسبة الألبومين إلى الجلوبيولين
- إلى جانب مستوى البروتين الكلي في المصل، قد يحسب المختبر نسبة الألبومين إلى الجلوبيولين (A/G) في مجرى الدم.

قد تكون نسبة الألبومين إلى الجلوبيولين المنخفضة ناتجة عن الإفراط في إنتاج الجلوبيولين أو نقص إنتاج الألبومين أو فقدان الألبومين، مما قد يشير إلى ما يلي:

- مرض مناعي ذاتي
- تليف الكبد أو تندب الكبد
- مرض الكلى
- ورم النخاع المتعدد

قد تشير نسبة الألبومين إلى الجلوبيولين المرتفعة إلى:

- نقص إنتاج الأجسام المضادة

- سرطان الدم أو سرطان نخاع العظم

9.9.3.3الإجراء:

يقوم مقدم الرعاية الصحية بإجراء اختبار البروتين الكلي في عيادة أو أي مكان آخر للرعاية الصحية، ما لم يذكر الطبيب خلاف ذلك، لا يحتاج الأشخاص إلى إجراء أي تحضيرات خاصة قبل إجراء الاختبار.
يتضمن اختبار البروتين الكلي في المصل سحب عينة من الدم من أحد الأوردة الموجودة في الذراع. سيقوم مقدم الرعاية الصحية أو فني سحب الدم بربط شريط مطاطي حول الجزء العلوي من الذراع لتسهيل العثور على الأوردة. سيقومون بإدخال الإبرة في الوريد. سيمر الدم من الوريد عبر الإبرة إلى أنبوب التجميع.

بمجرد أن يجمع مقدم الرعاية الصحية كمية كافية من الدم، سيقوم بإزالة الإبرة والشريط المطاطي من الذراع، ويضغط على موقع الحقن، ويغطي الجرح بضمادة إذا لزم الأمر.

يتضمن اختبار البروتين الكلي في البول جمع عينة من البول ثم إعطائها لمتخصص في الرعاية الصحية، ويجمع الأشخاص العينة في المنزل أو في بيئة الرعاية الصحية، وقد تتضمن بعض الاختبارات جمع البول على مدار فترة 24 ساعة.

10. الأيض METABOLISM:

جاء في قاموس أوكسفورد للكيمياء الحيوية و بيولوجيا الجزيئة OXFORD DICTIONARY OF BIOCHEMISTRY AND MOLECULAR BIOLOGY، أن الأيض هو مجموع التفاعلات الكميائية و التغيرات الفيزيائية التي تحدث في الكائنات الحية، المشتملة على الهدم و البناء ("Oxford Dictionary of Biochemistry and Molecular Biology (TIBS)," 1998).
و يذكر بشكل أوسع يشمل جميع الخلايا الحية، أن الأيض هو نشاط خلوي عالي التنسيق، الذي تتعاون فيه العديد من الأنظمة المتعددة الأنزيمات (الطرق الأيضية) (WIDMAIER et al., 2011) للقيام بعدة عمليات، أهمها:

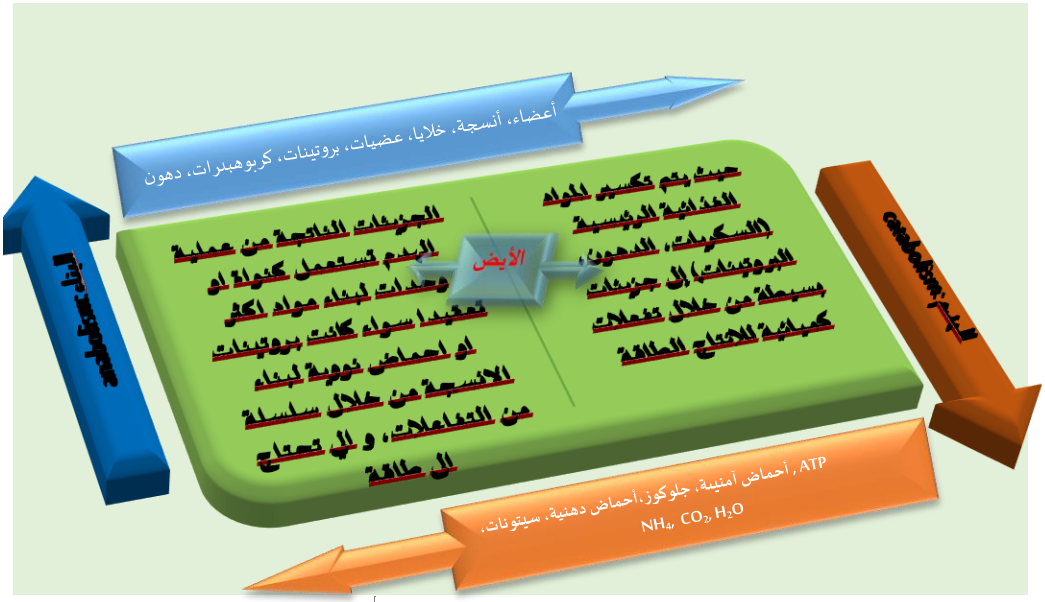
1 تخليق طاقة كميائية بالحصـول عليها من الطاقة الشـمسـية أو بتفكيك أغذية تحتوي على روابط غنية بالطاقة.

2 تحويل جزيئات الغذاء إلى جزيئات خاصة بالخلية، بما في ذلك سلائف الجزيئات الضخمة.

3 أي هي سلسلة من التفاعلات الكميائية المنسقة و المستمرة تنقسم عموما إلى مرحلتين أساسيتين، هما الهدم و البناء، الضـروريان لبقاء الجسـم على قيد الحياة، و ذلك بهدم المركبات الضـخمة (السكريات و الدهون و البروتينات) إلى جزيئات طاقوية كالـ ATP، و إلى وحدات عضوية كالـ H_2O و CO_2 و NH3 التي تطرح خارج الجسـم، و بإعادة بناء المركبات البسـيطة كالسـكريات البسـيطة و حمض اللبن و الأحماض الدسـمة و الأحماض الآمنية إلى مدخرات طاقوية و إلى عضـيات و خلايا و أنسجة.

4 تخليق و تحلل الجزيئات الحيوية اللازمة للوظائف الخلوية المتخصـصـة، مثل دهون الغشـاء و الرسائل داخل الخلايا ، والصبغيات.

يتألف الأيض من مرحلتين متواصلتين في جميع خلايا الجسم، و هما الهدم و البناء، حيث يمثل:



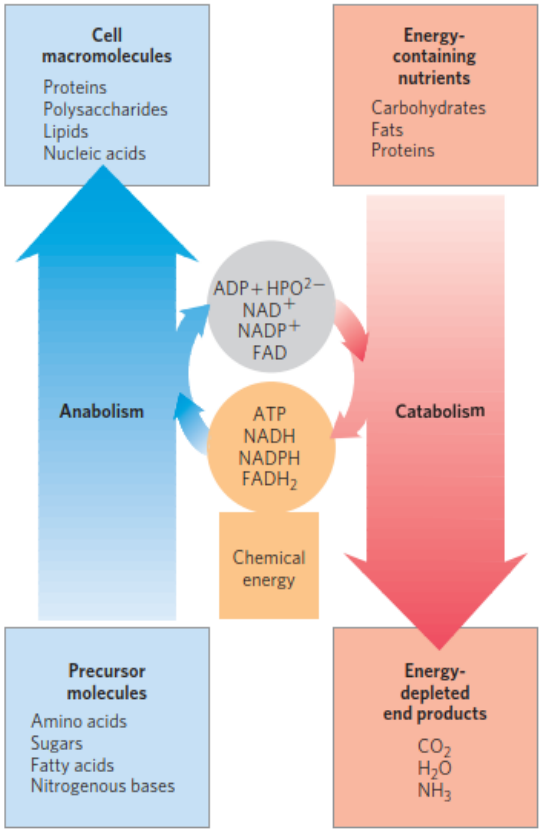
الشكل26 : مركبات الأيض.

11. الهدم Catabolism:

هي مرحلة التحليل بالنسبة لعملية الأيض أو التمثيل الغذائي METABOLISM، و التي يتم فيها تحويل جزيئات العناصر الغذائية العضوية (الكربوهيدرات و الدهون و البروتينات) إلى جزيئات نهائية أصغر و أبسط (مثل حمض اللاكتيك lactic acid، و ثاني أكسيد الكربون CO_2 و الأمونياك NH3 ammonia). تطلق المسارات الهدمية أو التقويضية الطاقة، والتي يتم حفظ بعضها في تكوين جزيئة الـ ATP و حاملات الإلكترون المخفضة
(NADH و NADPH و FADH2)، و يضيع الباقي كحرارة.

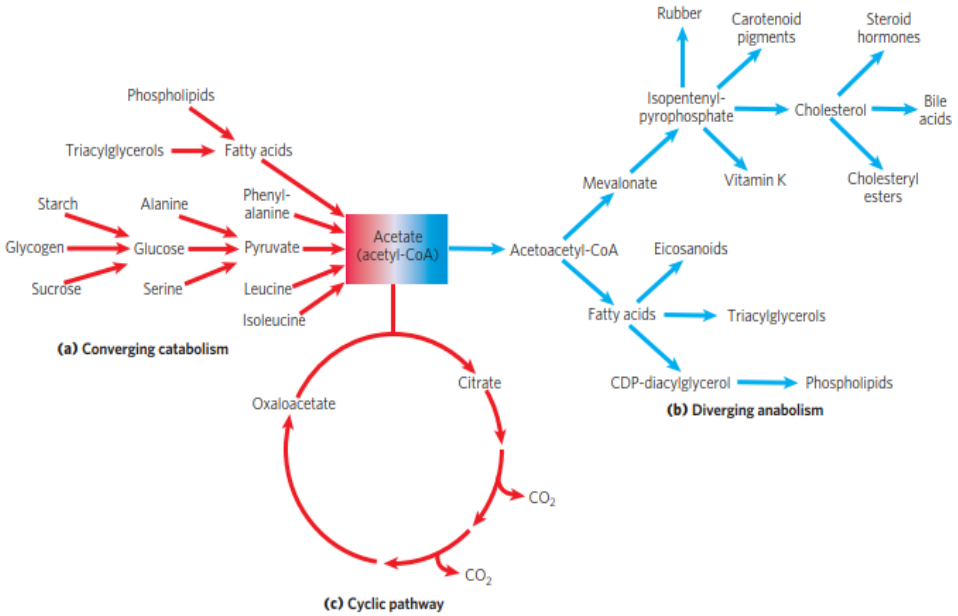
12. البناء anabolism :

يطلق عليه أيضًا التخليق الحيوي، يتم بناء المشتقات أو السلائف الصغيرة و البسيطة في جزيئات أكبر و أكثر تعقيدًا، بما في ذلك الدهون و السكريات و البروتينات و الأحماض النووية. تتطلب التفاعلات البنائية إلى تدخل الطاقة، و التي عموما هي في شكل المجموعة الفوسفاتية المنقولة من الـ ATP و من إنقاص الطاقة من NADH و NADPH و $FADH_2$.



الشكل27 : علاقة الطاقة بين مسارات الهدم و البناء.

بعض المسارات الأيضية خطية وبعضها متفرع و بعضها دوري، مما ينشأ عنه العديد من النواتج النهائية المفيدة من مشتق أو سلف واحدة أو تحويل عدة مواد أولية إلى منتج واحد، و بشكل عام، المسارات الهدمية أو التقويضية هي تجميعة أو متقاربة، و المسارات البنائية متباعدة(Lehninger, A. L., Nelson, D. L., & Cox, 2009).



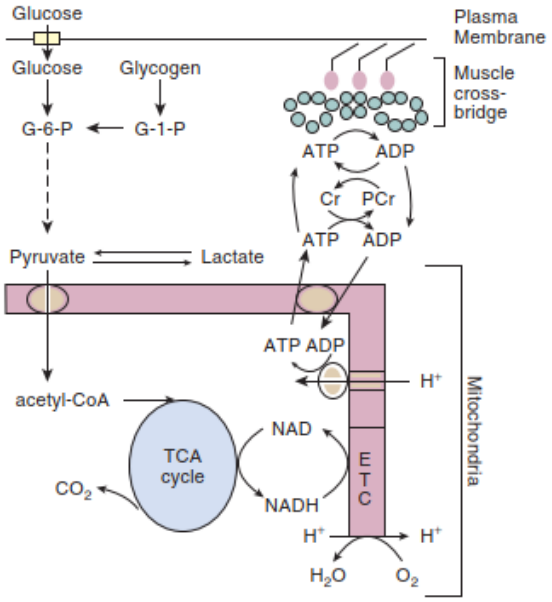
الشكل28 : الأنواع الثلاثة للمسارات الأيضية الغير خطية.

(a) الهدم أو التقويض التقاربي أو التجميعي، (b) البناء التباعدي، (c) المسارات الدورية

13. هدم و بناء الكربوهيدرات أو السكريات:

13.4 هدم السكريات:

في عملية هدم السكريات يحول سكر الجلوكوز إلى **حمض البيروفيك** pyruvic acid (المشار إليه بإختصار



الشكل29 : مخطط إنتاج الطاقة من الكربوهيدرات في الخلية العضلية

بالبيروفات pyruvate) عبر عملية كميائية تسمى بالجلكزة **glycolysis**.

الطاقة المحصلة عليها من هذه العملية هي شكل ATP، و يتحكم في سلسلة التفاعلات في هذه العملية عشرة 10 أنزيمات، و مع ذلك، يجب أن يطلق الجلوكوز المخزن في العضلات أولا في عماية تسمى تحليل الجليكوجين **glycogenolysis**.

13.4.1 تحليل الجليكوجين glycogenolysis:

تحليل الجليكوجين هو تفيكيك الجليكوجين إلى جزيئات الجلوكوز، بالأخص إلى جلوكوز-6-فوسفات glucose-6-phosphate (G-6-P) قبل أن ينتقل إلى عملية الجلكزة (بالمعنى الدقيق، إلى تفكيك الجلوكوز في سلسلة من التفاعلات إلى مركب حمض البيروفيك)، مع التنبيه أن تحليل الجليكوجين **glycogenolysis** يتغذى من عملية الجلكزة **glycolysis** (MacLaren & James, 2012)، كما الشكل الموالي:

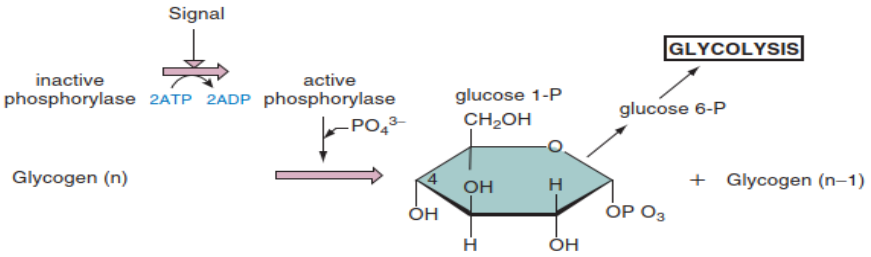
هناك إعتبار هام في عملية تحليل الجليكوجين وهو خضـوعه لتحكم أنزيم الفسـفرة phosphorylase، هذا الأنزيم (مع كثير من الأنزيمات المنظمة لتفاعلات الأيض) يتواجد بشـكلين: الشـكل النشـط نسـبيا **phosphorylase$_a$**، و شكل غير نشط نسبيا **phosphorylase$_b$**.

الجلوكوز المكون بعد تفككه من الجليكوجين هو جلكوز-1-فوسـفات، مما يعني أن مجموعة الفوسـفات مرتبطة في موضع الكاربون-1، وهذا يتحقق بإستعمال جزيئة ATP:

$$\text{Glycogen}_{(n)} + \text{ATP} \longrightarrow \text{Glycogen}_{(n-1)} + \text{G-1-P} + \text{ADP}$$

يحول G-1-P إلى G-6-P بواسـطة نقل مجموعة الفوسـفات من الكربون-1 إلى الكاربون-6، و يسـتمر بعد ذلك في عملية الجلكزة glycolysis.

تحليل الجليكوجين هي عمليـة تحـدث بشـكل سـريع، كونهـا توفر أهم كميـة من طاقـة خلال الجري الطويل(MacLaren & James, 2012).



الشكل30 : تحليل الجليكوجين Glycogenolysis؛ تفكيك جزيئة واحدة الجلوكوز إلى جلوكوز-1-فوسفات، و الجلكوجين الباقي بجزيئة جلوكوز ناقصة منه، و G-1-P يحول إلى G-6-Pن و بعد ذلك يدخل في عملية الجلكزة glycolysis.

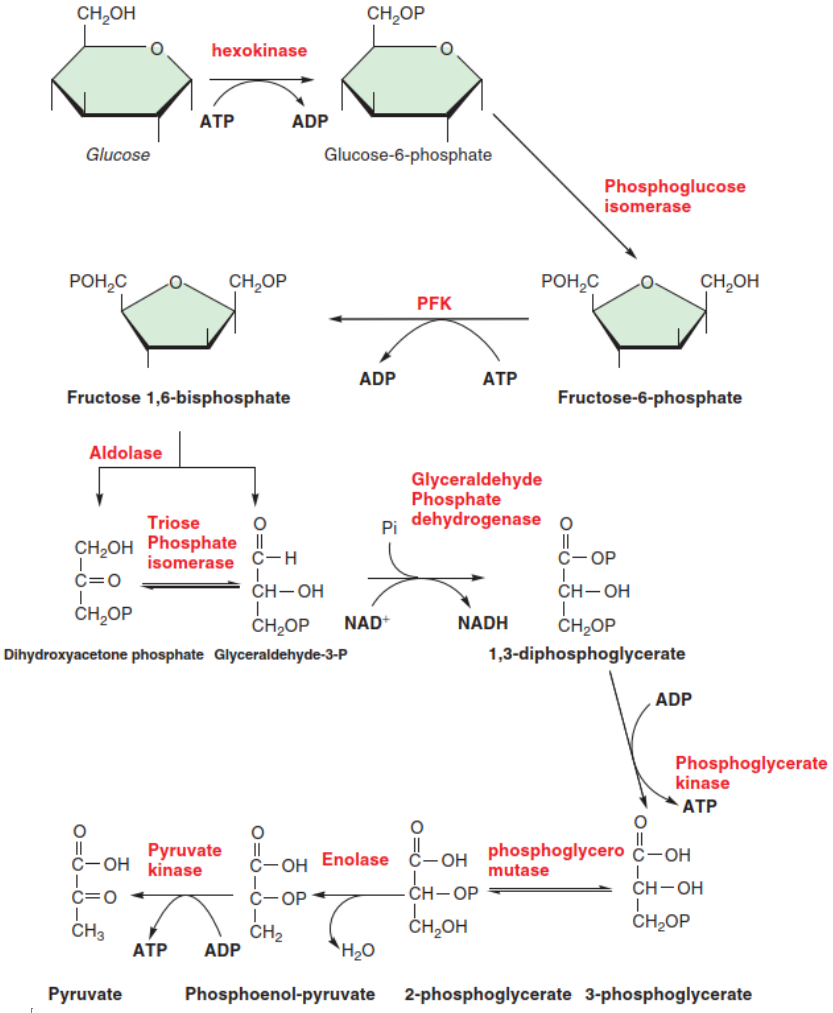
13.4.2 الجلكزة glycolysis:

الجلكزة في مضـمونها هي علمية تحويل جزيئة جلوكوز سـداسـية الكربون إلى جزيئة ثلاثية الكربون (بالأخص البيروفات)، و الذي بدورها يحول إلى جزيئة ثنائية الكربون (**أسـتيل-مر افق الأنزيم أ -Acetyl CoA**) مع تحرير ثاني أكسـيد الكربون CO_2، و كذلك في دورة أحماض ثلاثي السـتريك TCA cycle أو حلقة كرابس، حيث يتم أكسدة جميع الجلوكوز إلى ماء H_2O و ثاني أكسيد الكربون CO_2.

تحويل الجلوكوز إلى بيروفيات يتم في سلسلة من عشرة 10 تفاعلات.

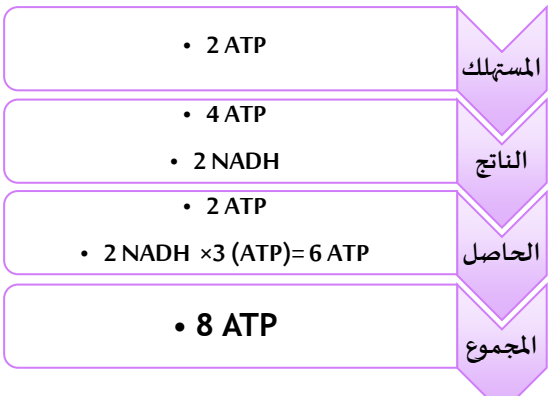
يلاحظ أن الجلوكوز يفسـفر أولا إلى G-6-P عن طريق أنزيم ***hexokinase*** (في الكبد يؤدي نفس الدوري أنزيم ***glucokinase***) إذ أنه أخص من ***glucokinase***، و يحدث هذا مباشـرة بعد دخول الجلوكوز إلى

الخلية و يستعمل لذلك جزيئة **ATP**، ثم يحول الـــ **G-6-P** إلى فركتوز-6-فوسفات **F-6-P**، و في التفاعل الثالث يحول **F-6-P** إلى **F-1,6-P**، و هذا التفاعل يندمج فيه أنزيم ***phosphofructokinase (PFK)***، حيث يخضع هذا الأخير إلى آليات تفعيل و تثبيط مهمة كونه أنزيم منظم لعملية الجلكزة.



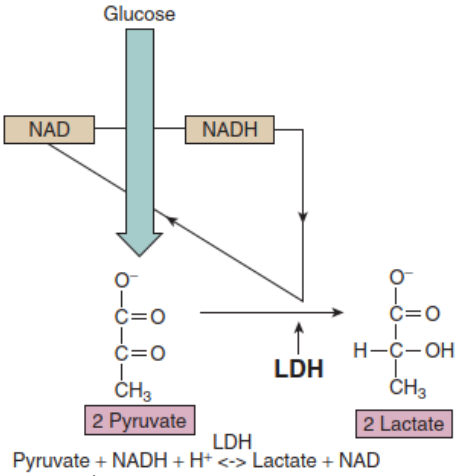
الشكل31 : الجلكزة glycolysis (الأنزيمات العشرة هي التي باللون الأحمر).

يواصـــل **F-1,6-P** في مســـار زوجي من التفاعلات حتى حمض البيروفيك، بعد تفككه إلى مركب ثلاثي الكربون بحيث تصبح الحصيلة الطاقوية من عملية الجلكزة كالآتي:



الشكل 32: الحصيلة الطاقوية للجلكزة، حيث كل NADH ينتج 3 ATP، وبالتالي تكون الحصيلة ثمانية 8 جزيئات ATP.

ينتج الـــ ATP من F-1,6-P عن طريق عملية الأكســدة في المينوكندري حيث ينتج كل NADH ثلاثة 3 جزيئات ATP، فيصــبح المجموع **6 جزيئات ATP**، كون كل مركب ثلاثي الكربون الناتج من تفكك F-1,6-P يعطينا جزئية NADH، أو من تحويل حمض البيروفيك إلى حمض اللاكتيك.



الشكل33 : إنتاج حمض اللبن.

يضــمن إنتاج حمض اللاكتيك اســتمرار تحلل الســكر إذا لم يكن من الممكن إعادة أكســدة NAD من NADH، **ويحدث هذا الأخير خلال التمرين عالية الشـدة**، و يعد تجديد NAD ضـروريا إذا كانت عملية تحليل السكر في الخلية ستستمر(MacLaren & James, 2012).

يحـدث تكون حمض اللبن lactic acid عنـدما تنتج كميـة كبيرة من حمض البيروفيـك نتـاجـا لعمليـة الجلكزة، ويحدث هذا خاصــة في الألياف العضــلية من النوع II (الألياف العضــلية الســريعة التقلص)،

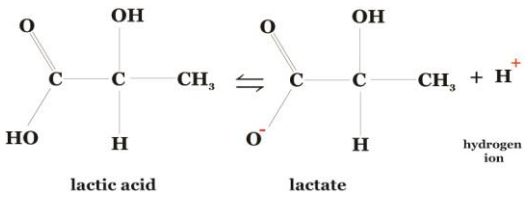
والتي يتم تكونها أو تحولها خلال الجهد البدني العالي الشـدة، وهذا لا يحصـل في الألياف العضـلية من النوع I (الألياف العضلية البطيئة التقلص).

يعد تكوين حمض اللبن lactic acid وسـلية يمكن بواسـطتها تجديد NAD من NADH، وبالتالي تسـمح باستمرار التفاعل الخامس في عملية الجلكزة.

إذا كان الجهد البدني منخفض الشدة، فإن NAD يمكن تجديده من NADH عن طريق عملية الأكسدة داخل الميتوكندري، وبالتالي فإن **"الحاجة لإنتاج حمض اللبن ليست لازمة"**.

تنبيه:

هناك فرق بين "حمض اللبن" 'lactic acid' و "اللاكتات" 'lactate' و الذان يستعملان بشكل تبادلي، إذ أنه في الحقيقة "حمض اللبن" 'lactic acid' هو ناتج حمض البيروفيك، لكن في الأنظمة الفسيولوجية العادية (كما هو الحال في الخلية)، فإن "حمض اللبن" 'lactic acid' ينفصل إلى اللاكتات الشاردي أو الأيوني و إلى شاردة الهيدروجين.



التفاعل1 : التفاعل العكسي لنزع البروتون +H من اللاكتات ليصبح حمض اللبن.

$$HLa \longleftarrow\!\!-\!-\!-\!\longrightarrow La^- + H^+$$

$$\text{Lactic acid} \longleftarrow\!\!-\!-\!-\!\longrightarrow \text{Lactate}^- - \text{Hydrogen}^+$$

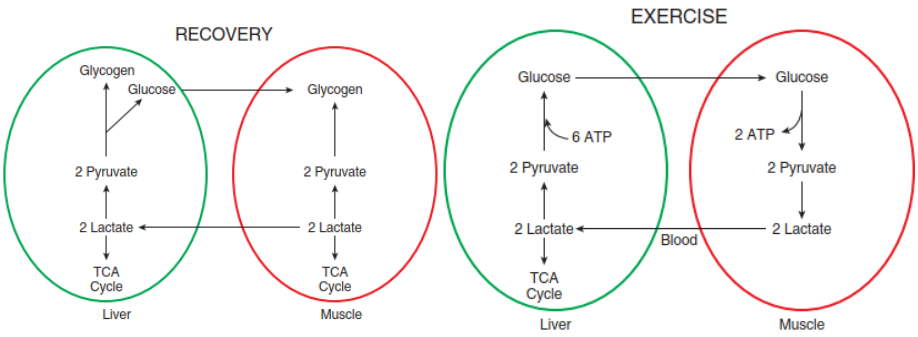
*و بالمعنى الأدق، فإن اللاكتات هو أنيون **anion** أي شاردة سالبة (-) يتكون من إنفصال حمض اللبن، أم الهيدروجين المنفصل H^+ هو **كاتيون cation** أو شاردة موجبة (+)، حيث أن 99% من حمض اللبن في الحالة الطبيعية هو في صيغة شكله المنفصل.*

الأنزيم المسـؤول على تحويل البيروفات إلى اللاكتات هو اللاكتات النازع للهيدوجين ***lactate dehydrogenase*** **(LDH)**، هذا الأنزيم يوجد له تسـعة 9 نظائر **isoforms: LDH 1، LDH2، LDH3، LDH4 و LDH5**، حيث أن **LDH 1** يعرف كذلك **H-LDH** الخاص بالقلب (or heart-specific LDH)، في حين يعرف **LDH5** بـ **M-LDH** الخاص بالعضلة (or muscle specific LDH).

يوجد الـ **M-LDH (LDH5)** في الألياف العضلية من النوع IIx، بينما الـ **H-LDH (LDH1)** يغلب وجوده في الألياف العضلية من النوع I، حيث أن الفارق الأساسي بين **LDH5** و **LDH1** هو أن الأول يسمح بتكوين اللاكتات lactate من البروفات pyruvate، في حين أن الثاني يسمح بتكوين البيروفات pyruvate من اللاكتات lactate، لذلك يحدث تكوين اللاكتات lactate بشكل سهل و سريع في الألياف العضلية من النوع IIx (الألياف العضلية السريعة التقلص أو سرعة الجلكزة) من الألياف من النوع I، بينما اللاكتات المتوكن خلال الجهد البدني يمكن أن يأخذ في الألياف من النوع I و يحول إلى البيروفات ثم يؤكسد، و هذا ما يسمى بـ**"مكوكة اللاكتات" "lactate shuttle"**، التي بواسطتها ينقل اللاكتات بين العضلة المنتج فيها إلى الكبد ثم إلى العضلة المستلمة و المؤكسدة له، حيث إقتراحت المكوكة اللاكتيكية من طرف **George Brooks** سنة 1985.

13.4.3 أيض اللاكتات أو حمض اللبن lactate metabolism:

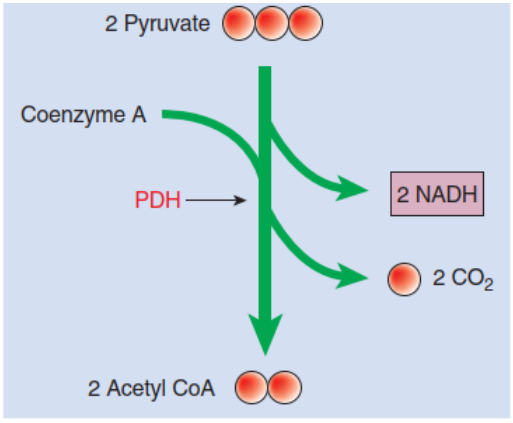
هناك العديد من طرق أيض اللاكتات، والتي يدخل فيها أكسدة البيروفات عبر **دورة كرابس TCA cycle**، أو تحويل اللاكتات إلى جلوكوز عن طريق العملية العكسية للجلكزة (لا يحدث هذا العضلة بل في الكبد)، أو تحويل اللاكتات إلى جلوكوجين عن طريق العملية العكسية للجلكزة (يحدث هذا الكبد في/أو العضلة) (الشكل34)، و تسمى عملية تحويل اللاكتات إلى جلوكوز و جلوكوجين بعملية إعادة بناء الجلوكوز ***gluconeogenesis***.



الشكل35 : طرق أيض حمض *اللاكتيك Lactate* في *الكبد Liver* و *العضلة* Muscle، و خلال *الجهد البدني Exercise* و أثناء *الاسترجاع Recovery*.

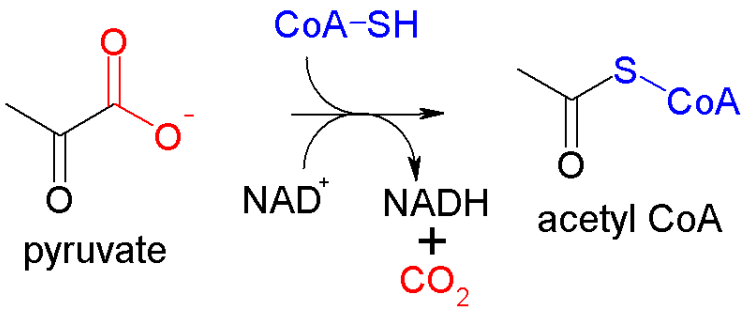
13.4.4 تفاعل نزع كربوكسيل البيروفات أو أكسدة البيروفيك أو تفاعل اللإرتباط 'The 'link reaction؛ إنتاج الأستيل-مر افق الأنزيم أ Acetyl-CoA :

بالعودة إلى طرق أيض البيروفيك، و قد ذكر أن البيروفيك هو آخر ناتج من الجلكزة، فبجرد تشـكله، يمر إلى داخل الميتوكندري و يحول إلى **أسـتيل-مر افق الأنزيم أ acetyl-CoA** ، و يسـمى هذا التفاعل بالتفاعل الارتباط **link reaction**، هذا التفاعل يتضـمن إنتاج **أسـتيل-مر افق الأنزيم أ acetyl-CoA من البيروفيك و إنتاج ثاني أكسـيد الكربون CO_2**، و الأنزيم المفتاح المنظم لهذا التفاعل هو البيروفيك النازع للهدروجين **pyruvate dehydrogenase (PDH)**، و في مضـمون هذه العملية، فإن البيروفيك الذي هو ثلاثي الكربون يحول إلى **أسـتيل-مر افق الأنزيم أ acetyl-CoA الذي هو** ثنائي الكربون، حيث أن تشـكل **أسـتيل-مر افق الأنزيم أ acetyl-CoA يسـمح بتقاطع *طرق أيض الكربوهيدرات و أكسـدة الدهون***، و لذلك فإن مراقبة و تنظيم أنزيم **pyruvate dehydrogenase (PDH)** هو عامل مهم في تنظيم أيض الدهون و الكربوهيدرات، كما يضـاف إلى ذلك عامل آخر منظم في العملية و هو **NADH** المشكل من **NAD** (MacLaren & James, 2012).



PDH

2 Pyruvate + 2 CoA + 2NAD -> 2 Acetyl CoA + $2CO_2$ + 2NADH



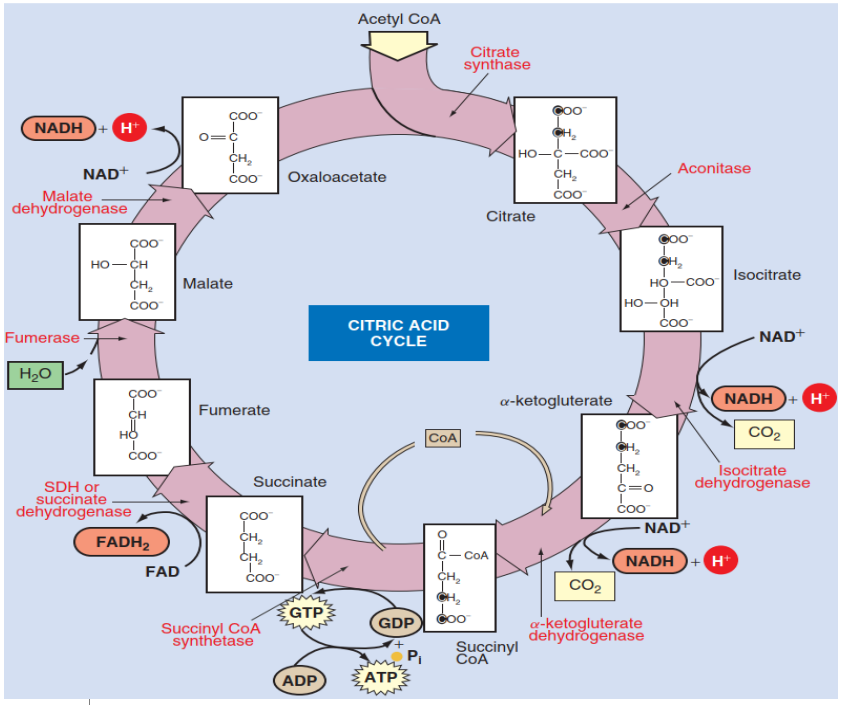
الشكل36 : تفاعل نزع كربوكسيل البيروفات أو أكسدة البيروفيك أو تفاعل الإرتباط (النقاط الحمراء تمثل ذرات الكربون).

13.4.4.1 حلقة ثلاثي الستريك أو حلقة كر ابس Three carboxylic cycle (TCA or Krebs):

يدخل **الأســتيل-مر افق الأنزيم أ acetyl-CoA في حلقة ثلاثي الســتريك TCA cycle** مرتبطا بمركب رباعي الكربون الذي هو **حمض الأوكزالو أســتيك oxaloacetic acid (OAA)**، **حيث أن هذا المزيج الرباعي الكربون مع ثاني الكربون** يتشكل منه سداسي الكربون الذي هو **حمض الستريك citric acid أو الســترات citrate**، حيث ان دور TCA cycle **هو تحويل ثنائي الكربون الأســتيل-مر افق الأنزيم أ acetyl-CoA** إلى ثاني أكسد الكربون CO_2 و ماء و إنتاج الطاقة.

الشــكل الموالي يجســد بعض التفاعلات المفتاح في حلقة ثلاثي الســتريك TCA cycle، و يظهر تحول للإيزوســترات **isocitrate** إلى ســوكســنيل المرافق للأنزيم أ **succinyl-CoA ثم إلى الألفاكيتوقلوترات alphaketogluterate الذي ينتج NADH**، كما هو الحال في التفاعل الموالي للـــ**succinyl-CoA**، ثم يشــكل **succinyl-CoA الفومرات fumarate في تفاعل ينتج عنه $FADH_2$**، ثم يشــكل **fumarate المالات malate**، ثم يشكل الـ **malate حمض الأوكزالو أستيك oxaloacetic acid (OAA)** مع إنتاج لـ **NADH** آخر.

الناتج الصــافي لحلقة ثلاثي الســتريك TCA cycle هو: ثلاثة (3) **NADH**، و واحد (1) **$FADH_2$** و احد (1) **ATP**، و كل **NADH** ينتج ثلاثة (3) **ATP** عن طريق الأكســدة الفســفورية، بينما يعاد أكســدة **FADH** إلى زوجين (2) من **ATP** عن طريق الأكسدة الفسفورية.



الشكل37 : حلقة ثلاثي الستريك (كر ابس) TCA (Krebs) cycle.

13.4.4.2 سلسلة نقل الإلكرونات Electron transport chain:

يمكن إنجاز أســس نقل الالكترون في تفاعلات الأكســدة و الاختزال ***redox***، حيث عند اختزال المركب فهو يكتسب إلكترونا في نفس الوقت، و بمجرد أن يصبح المركب في شكله المختزل ، يحتاج إلى أن يتأكسد مرة أخرى للتخلص من هذا الإلكترون، وهكذا ، يكتسب الشكل المختزل للمركب إلكترونًا ويفقد الشكل المؤكسد للمركب إلكترونًا.

فلما يتشكل الـ NADH من الـ NAD، فإن الـ NADH هو الشكل المختزل للمركب و الـ NAD هو الشكل المؤكسد للمركب، ولكي يتحول الــ NADH إلى الــ NAD فهو يحتاج إلى أن يعطي إلكترونا إلى مركب آخر، وإذا حدث ذلك، فإن هذا المركب يصبح مختزلا.

يحتوتي الغشــاء الداخلي للميتوكندري على ســلســلة من نواقل الهيدروجين، و التي هي الســتوكرومات ***cytochromes*** أو ســلســلة الســتوكروم ***the cytochrome chain***، و التي هي متضــمنة في إصــطلاح سلسـلة نقل الالكترون **(ETC)** ***the electron transfer chain***، حيث تعمل هذه السلسلة على أخذ و إعطاء الإلكترونات في سلسلة من تفاعلات الأكسدة و الإختزال.

يمثل الشكل الموالي المكونات الأربع الأهم في الــ ETC، و التي هي السيتوكروم أو المعقد 1، 2، 3 و 4 (على الرغم أن هناك إقتراح على وجود معقد 5 أو ســيتوكروم c، إلا أن المعترف به لدى الاتحاد الدولي للكيمياء الحيوية والبيولوجيا الجزيئية IUBMB هي الأرب المذكور حسب التصنيف: سيتوكروم a, b, c, d، و أما الــ f المكتشــف عند النباتات فهو في الحقيقة ســيتوكروم c، و بعد المعقد 4 أو السيتوكروم d يوجد أنزيم المؤلف للـATP *ATP-synthetase*، أين يشتق الـ ATP من ADP.

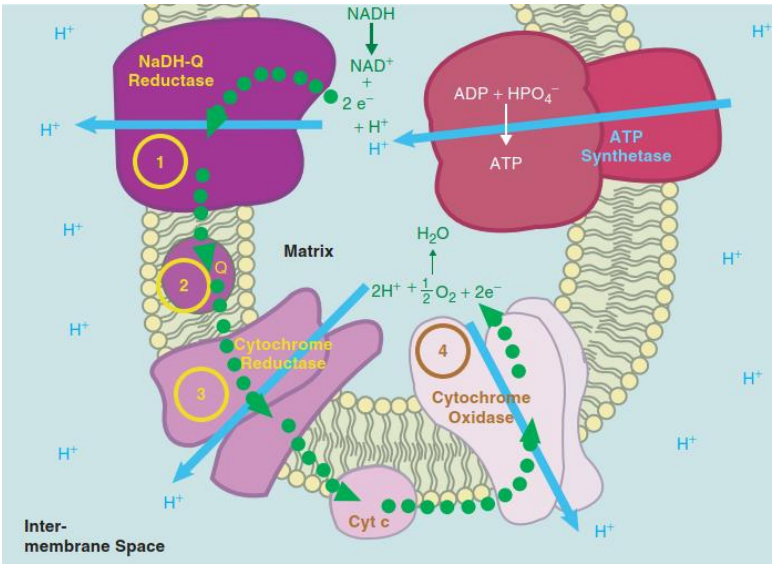
عند تشكل الــ **NADH خلال** حلقة ثلاثي الستريك TCA cycle داخل مصفوفة الميتوكندري، فإنه يعطي إلكترونه للمعقد1 أو ***للسـيتوكروم a cytochrome*** فيصـبح بذلك مختزلا، ثم يعطي المعقد 1 إلكترونه للمعقد 2 أو ***للسـيتوكروم b cytochrome***، فبصـبح بذلك المعقد 1 مؤكسـد و المعقد 2 مختزلا، و بعد ذلك يعطي المعقد 2 إلكترونه للمعقد 3 فيصــبح هذا الأخير بذلك مختزلا و المعقد 2 مؤكســد، إلى أن الإلكترون إلى مستقبله الأخير و هو **الأوكسجين O_2** ثم يختزل إلى ماء **H_2O**.

للتكملة كما في الشكل الموالي، سمي فيه:

المعقدات بمختزل الـNADH-Q **(المعقد 1) (Complex 1) NADH-Q reductase**، و مرافق الأنزيم-**Q (المعقـد 2) (Complex 2) coenzyme-Q**، و مختزل ســيتوكروم **(المعقـد 3) cytochrome (Complex 3) reductase**، و ســيتوكروم-**cytochrome-C C**، و مكســد ســيتوكروم **(المعقـد 4) cytochrome oxidase (Complex 4).**

يلاحظ أن **$FADH_2$** يعطي إلكترونه للمعقد 2 لا للمعقد 1، و سلسلة المعقدات هي في الحقيقة عبارة عن مركبات بروتينة ضخمة موجدة داخل الغشاء الداخلي للميتوكندري و مرتبة على التوالي، و تحتوي هذه

المعقدات السـيتوكروم الضـي يحتوي على جزيئات الحديد **iron** (Fe^{++})، و من ثم فأن نقص الحديد في جسم الانسان قد يضعف من إنتاج الطاقة بالنظام الهوائي(MacLaren & James, 2012).

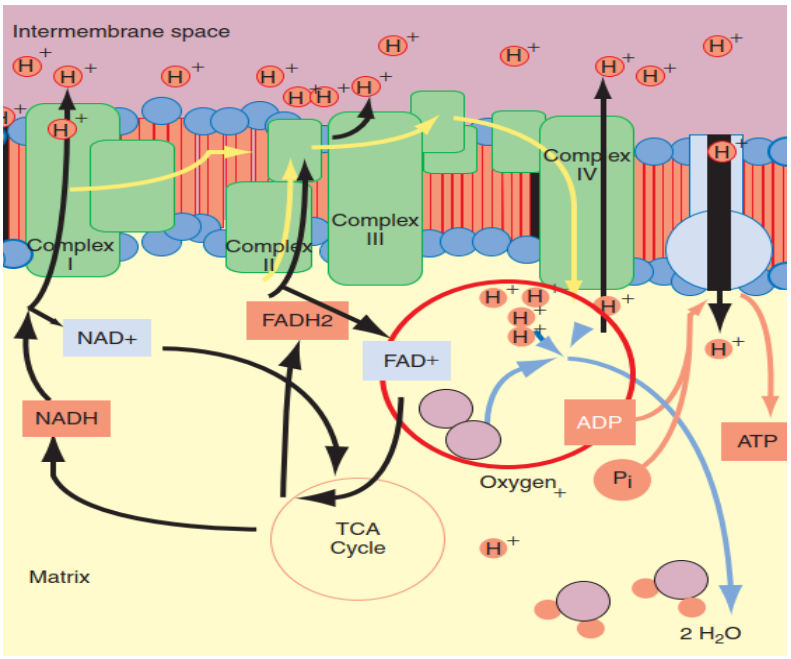


الشكل38 : الفسفرة التأكسدية هي إنتاج الـ ATP عن طريق تسخير الطاقة المخلقة بثق الـ H^+ داخل المساحة البين غشائية، و التي يتم نشرها بعد ذلك عن طريق مؤلفات-ATP ATP-synthetase.

13.4.4.3 الفسفرة التأكسدية Oxidative phosphorylation:

يلاحظ إلى يومنا هذا أنه عند إعادة أكسـدة NADH إلى NAD فإنه ينتج 3 ATP، و أما FADH فينتج عند إعادة أكسدته 2 ATP، فكيف يحدث ذلك؟

تبعا لنظرية الكميائية الحيوية لـــ **Peter Mitchell**، حيث توقف **Mitchell (1961)** أن إعطاء الإلكترونات من طرف NADH أو FADH للمعقدات يحرر شـوارد H^+ داخل المسـاحة الداخل غشـائي للميتوكندري، حيث يعمل التأثير الصـافي لهذه السـلاسـل من H^+ المتحررة على جعل هذه المسـاحة أكثر شـحنة إيجابية، و نتيجة لهذا الفارق في الشـحن الشـاردي، فإن شـوارد H^+ تنشـر عبر **مركب مؤلف الـ ATP synthetase molecule ATP** داخل غشـاء الميتوكندري، و تؤدي هذه العملية إلى تحويل ADP إلى ATP، **و تسمى بالفسفرة التأكسدية Oxidative phosphorylation.**



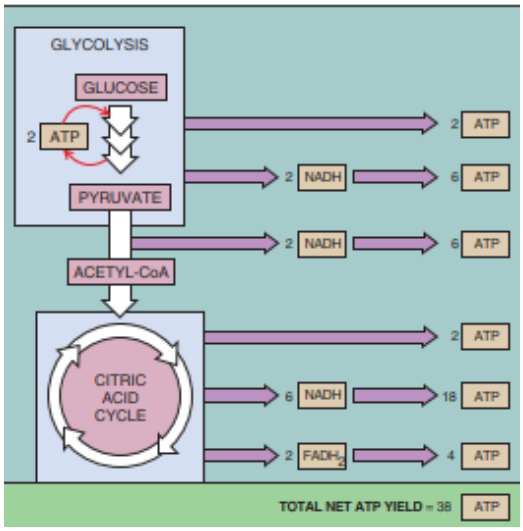
الشكل39 : حدوث سلسلة نقل الإلكترونات عندما يعطي المركب إلكترونا لمركب آخر عبر سلسلة داخل الغشاء المتوكندري.

من النواتج الناشئة عن الفسفرة المؤكسدة هي تلك الجذور الحرة أو أنواع من المركبات التفاعلية مع ا الأكسجين ***reactive oxygen species*** **(ROS)**، و هي مركب الحيوية القصيرة الحياة لكنها ضارة، حيث أنها قد تأثر على سلامة الغشاء و على بنية الـــ DNA، بل يعتقد بعض العلماء أنه كلما زادت الأكسدة الهوائية (خاصة خلال التمرين البدني)، و بالتالي تنتج الكثير من الجذور الحرة التي تسبب تلف أغشية العضلة، إلا أن الجسم ينتج مضادات الأكسدة ***antioxidants*** التي لها دور إخماد الجذور الحرة و بالتالي التقليل من التلف المحدث.

من فوائد التمرين البدني أن الجسم ينتج المزيد من مضادات الأكسدة الخاصة به من أجل تغطية عن الزيادة المحتملة في إنتاج الجذور الحرة، و لذلك من أهداف التغذية الممنهجة إنتقاء الأغذية المتي تحتوي على مضادات الأكسدة من أنواع الخضر و الفواكه.

13.4.4.4 حساب الـ ATP المخلق من أكسدة الجلوكوز Calculation of ATP in glucose oxidation generated :

لحساب عدد جزيئات الـــ ATP الناتجة عن جزيئة جلوكوز، فيجب أن نقدر ذلك عبر التسلسل السابق لعملية هدم الكربوهيدرات بشكل عام على النحو التالي:



الشكل40 : عدد جزيئات الـ ATP الناتج من أكسدة الجلوكوز.

- **إعادة نظر و تصحيح في الحصيلة الطاقوية الناتجة عن للفسفرة التأكسدية:**

نظريا، علاقة الفوسفات اللغير عضوي\ذرة الأوكسجين (P/O) هي بقيمة عدد طبيعي كامل، حيث ينتج 3 **جزيئات ATP** بالنسبة لإعادى أكسدة NADH، و 2 **جزيئات ATP** بالنسبة للسوكسينات (عبر $FADH_2$)، مع أن نظرية الكمياء الأسموزية **the chimiosmotic theory** لـ **Peter Mitchell** سنة 1961 لا تفرض العلاقة الكاملة بين P/O.

يعتمد في حساب العناصر التفاعلية **stoichiometry** بين شوراد الفوسفات و الأكسجين على عدد الإلكترونات المنتقلة من جهة إلى أخرى عبر جدار الميتوكندري، حيث أن جزيئة **NADH** تحرر **10 بروتونات (H^+)** لكل زوج من الإلكترونات **(e^-)**، بينما **6 بروتونات** تقذف لكل زوج من الإلتكترونات بالنسبة لكل جزيئة **سوكسينات** ($FADH_2$)، و تجريبيا يحتاج إلى 4 بروتونات لإستخلاص جزيئة ATP.

إعتمادا على هذه القيم، فإن العلاقة بين P/O تصبح **2.5** بالنسبة للـ **NADH** و **1.5** بالنسبة للسوكسينات (عبر $FADH_2$)، و بذلك الأكسدة الكلية **لجزيئة الجلوكوز** تنتج بالضبط **32 جزيئة ATP** حسب Nelson et Cox سنة 2000 (Poortmans & Boisseau, 2003).

و بذلك يصبح الحسابات لناتج الأكسدة الكلية بالمقارنة بين النظريتين على النحو التالي:

المرحلة	النواتج	القيمة بالـ ATP حسب Peter Mitchell، 1961.	القيمة بالـ ATP حسب Nelson et Cox، 2000.
الجلكزة	ATP 2	ATP 2	ATP 2
	NADH 2	ATP 6 =ATP 3×2	ATP 5 =ATP 2.5 ×2
أكسدة البيروفيك	NADH 2	ATP 6 =ATP 3×2	ATP 5 =ATP 2.5 ×2
2×حلقة كرابس	NADH6	ATP 18 =ATP 3×6	ATP 15 =ATP 2.5 ×6
	FADH2	ATP 4 =ATP 2 ×2	ATP 3 =ATP 1.5 ×2
	ATP 2	ATP 2	ATP 2
المجموع		ATP 38	ATP 32

- **فارق الطاقة الناتجة من الهدم الكلي و الجزئي للجلوكوز:**

في الغياب الجزئي أو الكلي للأكسجين O_2 (حسب ارتفاع سرعة و كمية الطلب عليه)، تلجؤ الخلية إلى إنتاج الطاقة ATP عن طريق تحويل البيروفات إلى حمض اللاكتيك مع إنتاج (02) جزيئتين من الـ **ATP** على مستوى الهيولة الخلوية، دون المرور داخل الميتوكندري من خلال حلقة كرابس، مما يعطيها خاصية سرعة إنتاج الـ **ATP** ، لكن بقدرة محدودة و عدم الهدم الكلي للجلوكوز، و ذلك بتراكم حمض اللبن، الذي يعاد تحويل البيروفيك في الخلية، و يدخل بالتالي في حلقة كرابس، أو يعاد تحويله إلى حلوكوز و إلى جليكوجين في الكبد في عملية إعادة بناء الجلكوز.

الحاصل أن فارق إنتاج الطاقة بين الهدم الكلي و الجزئي للجلوكوز هو:

هدم الجلوكوز	الكلي	الجزئي
نظام إنتاج الطاقة	الهوائي	اللاهوائي اللبني
النواتج	6 CO_2, 6 H_2O	2 حمض اللبن
الـ ATP حسب (Nelson & Cox أو Peter M.)	38 أو 32	2

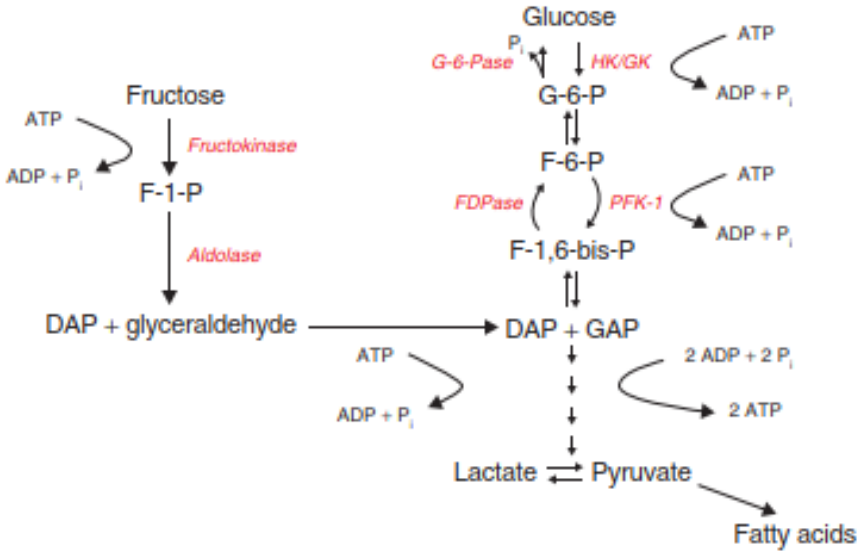
الجدول 4: فارق الطاقة الناتجة من الهدم الكلي و الجزئي للجلوكوز.

13.4.5 أيض الفركتوز FRUCTOSE METABOLISM:

يجدر التذكير أن سـكر الجلوكوز ليس هو السـكر الأحادي الوحيد الموجود في الأغذية التي نأكلها، بل هناك الفركتوز المتواجد في كثير من الفواكه التي نستهلكها، لكن هذا الأخير لا تستطيع الخلية العضلية أكسدته كون:

- لا توجد نواقل خاصة للفركتوز التي تنقله إلى الخلية؛ و
- لا يوجد أنزيم الفركتوكيناز fuctokinase داخل العضلة.

لكن ومن ناحية أخرى، فإن خلايا الكبد تستطيع أيض الفركتوز، حيث يحول إلى أحد مشتقات عملية الجلكزة، وهو مركب سيتوني ثلاثي الكربون وآخر ألدهيدي ثلاثي الكربون كذلك كما هو موضح في الشكل الموالي:



الشكل 41 : أيض الفركتوز FRUCTOSE METABOLISM

DAP : Dihydroxyacetone-P ثنائي هيدروكسيل أستون فوسفات

GAP : Glyceraldehyde 3 phophate غليسيرألدهيد 3 فوسفات

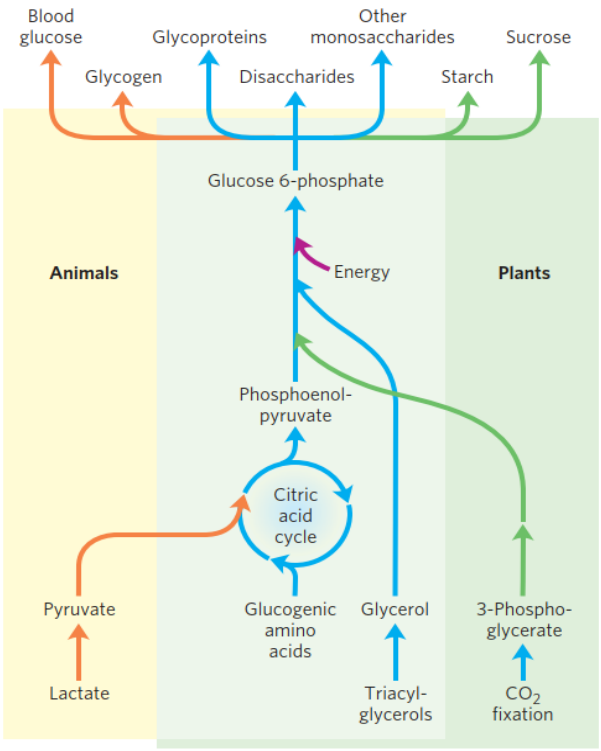
13.5 بناء الجلوكوز Gluconeogenesis:

يعد الجلوكوز مركز عملية الأيض في كثير من الكائنات الحية بجميع مستوياتها سواء المجهرية و المرئية، فعند الثدييات، الكثير من الأنسجة تعتمد طاقة الأيض فيها على الجلوكوز، فالدماغ و الجهاز العصبي و الكريات الدم الحمراء و الخصيتين و الغدة الكضرية و الأنسجة الجنينية يعتبر الجلوكوز أهم منبع للطاقة بالنسبة لها، إذ يحتاج الدماغ منه إلى 120 غ يوميا – ما يقارب أكثر من نصف الجلوكوز المخزن على شكل غليكوجين في العضلة و الكبد، لذلك التزود منه من هذان المخزنان لا يكفي دائما في الفترات

بين الوجبات، و خلال الصـــوم الطويل أو بعد التمارين البدنية العالية الشـــدة، مما يســـتنفذ بذلك مخزون الغليكوجين(Lehninger, A. L., Nelson, D. L., & Cox, 2009).
لذلك يلجؤ الجســـم إلى طريقة لتركيب و بناء الجلوكوز من نواتج الأيض الغير كربوهيدراتية، حيث تتم بمســـار يســـمى بناء الجلوكوز *gluconeogenesis* (تركيب جديد للجلوكوز)، حيث يحول البيروفات و متعلقاته من المركبات الثلاثية و الرباعية الكربون إلى جلوكوز.

بناء الجلوكز يحدث عند كل الحيوانات، النباتات، الفطريات، الكائنات المجهرية، و التفاعلات تعتبر متاشـــبهة في كل اللأنســـجة و في كل الأجناس، و نواتج أيض الجلوكوز المهمة عند الحيونات هي المركبات الثلاثية الكربون، لاسيما حمض اللبن و البيرفات و الغليسرول و كذلك الأحماض الآمنية.
عند الثدييات يحدث بناء الجلوكوز غالبا في الكبد و إلى حد قليل في القشـــرة الكلوية و في خلايا النســـيج الطلائي التي على خط الجهـة الـداخليـة للأمعـاء الـدقيقـة، والجلوكوز النـاتج يحول عبر الـدم لتمويـل أنسجة أخرى(Lehninger, A. L., Nelson, D. L., & Cox, 2009).

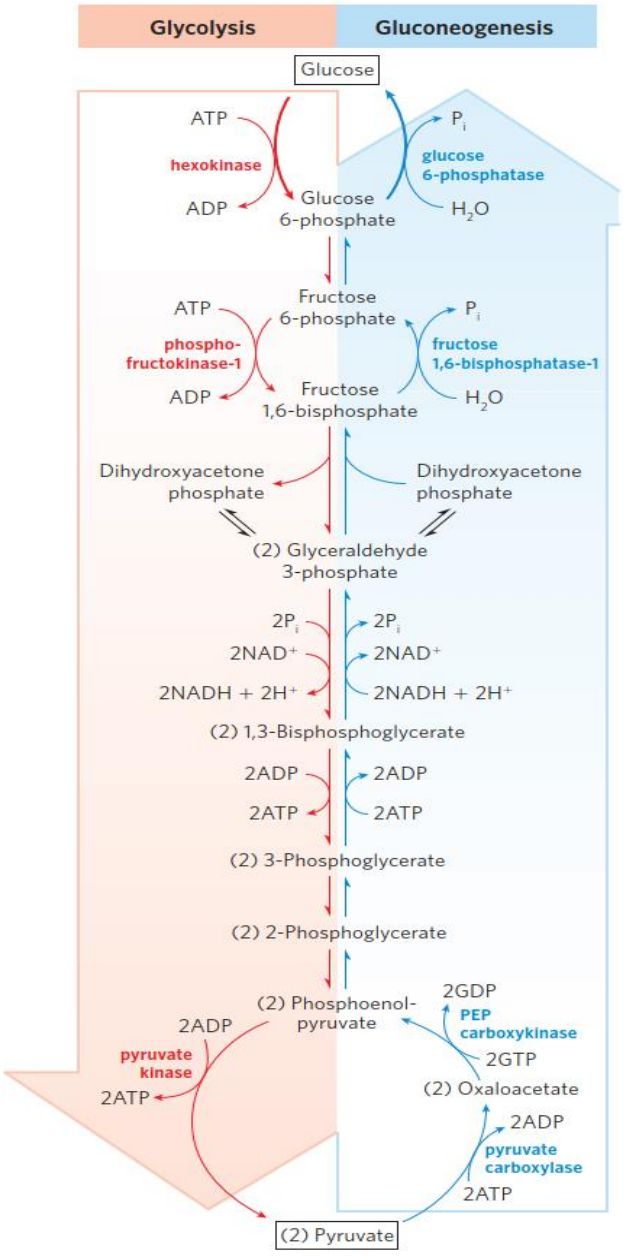
بعد التمرين البدني الشـــديد فإن حمض اللبن الناتج من الجلكزة اللاهوائية داخل خلايا العضـــلات الهيكلية يعود إلى الكبد و يحول إلى جلوكوز، ثم يعود إلى الخلايا العضـــلية و يحول إلى جليكوجين، و يسمى هذا المسلك بحلقة كوري **Cori cycle**، أما عند الشتلات النباتية، فالبروتينات و الدهون المخزنة تحول في مسارات تشمل فيها بناء الجلوكوز إلى السكروز أو سكر القصب الثنائي لنقله إلى جميع أنحاء مواقع نمو النبات(Lehninger, A. L., Nelson, D. L., & Cox, 2009).



الشكل42 : بناء الكربوهيدرات انطلاقا من نو اتج بسيطة عند النباتات و الحيو انات.

بالرغم من أن تفاعلات بناء الجلوكوز متماثلة في جميع الكائنات الحية، إلا أن حالة الأيض و تعديل المسار يختلف من كائن إلى آخر و من نسيج في نفس الكائن إلى آخر (Lehninger, A. L., Nelson, D. L., & Cox, 2009)

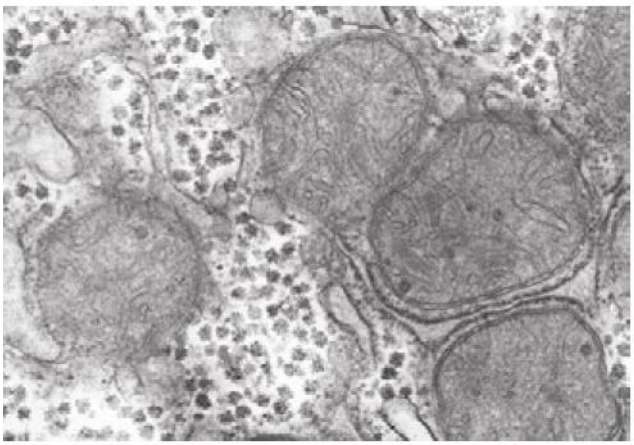
بناء الجلوكوز **Gluconeogenesis** و تحليل الجلوكوز **glycolysis** لا يعتبران بمسارين متطابقين حيث أنهما ينطلقان في إتجاهين متعاكسين رغم أنهما يشتركان في عدة مراحل (الشكل الموالي)؛ 7 من 10 تفاعلات أنزيمة في بناء الجلوكوز هي تفاعلات عكسية في تفاعلات تحليل الجلوكوز.



الشكل43 : المسارات المتعاكسة لتحليل الجلكوزوبناءه في كبد الفأر.

13.5.1 بناء الجليكوجين Glycogenesis:

سبق و ذكر أن هدم الكربوهيدرات و أكسدتها عبر سلسلة من التفاعلات تحدث في كل خلايا الجسم، خاصة العضلية، لكن الكربوهيدرات يخزن في الجسم على شكل السكر المتعدد الجليكوجين في العضلات و الكبد، حيث أن الكثير منها يجدد هذا الأخير بإعادة بناءه بنظام يسمى بناء الجليكوجين ***Glycogenesis***.



الصورة14 : حبيبات الجليكوجين عند الأكياس الكبدية

لكي يحدث بناء الجليكوجين يجب أن يكون الجلكوز متواجد داخل الخلية و الأنسولين مرتفعا في الدم، و هذا ما يحدث عادة بعد وجبات الأكل، و بمجرد ما يدخل الجلوكوز داخل الخلية، يرتبط بالإيرودين ثنائي الفوسفات ***uridine di-phosphate (UDP)***، و يتشكل بذلك الإيرودين ثنائي الفوسفات-جلوكوز ***di-phosphate glucose (UDP-glucose)***، ثم يرتبط هذا الأخير بمركب الجليكوجين بواسطة أنزيم الجليكوجين المركب ***glycogen synthase***، وفي الحقيقة جزيئة الجليكوجين تصبح كبيرة بإضافة لها جزيئات جلوكوز أخرى، و مركز جسم جزيئة الجليكوجين لا يكسر أبدا، و إلا لا يمكن لجزيئة الجلوكوز أن ترتبط (MacLaren & James, 2012).

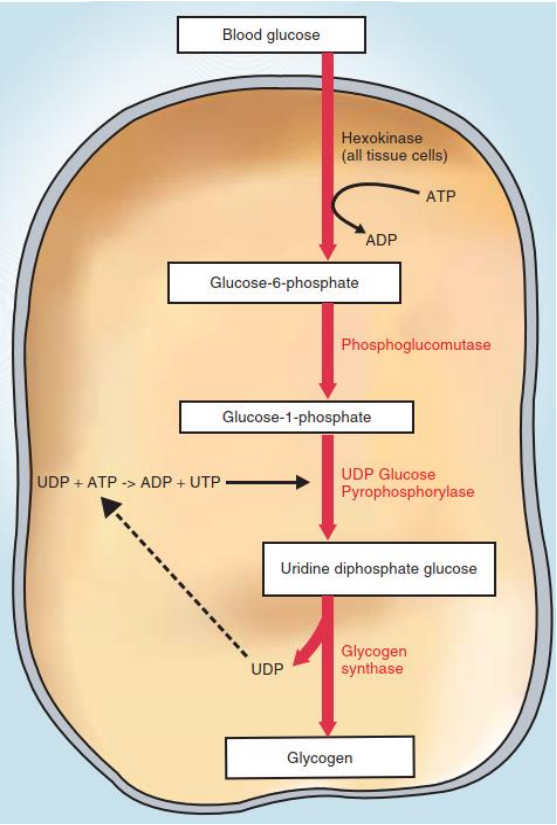
تحتاج عملية بناء الجليكوجين ***Glycogenesis*** إلى طاقة كونها تفاعلات بناء أو تخليق، حيث تستعمل جزيئة **ATP** عند دخول جزيئة جلوكوز إلى الخلية و يحول فورا إلى **جلوكوز-6-فوسفات G-6-P**، و تستعمل جزيئة أخرى على شكل إيرودين ثلاثي الفوسفات **UTP** ، و الذي يرتبط بالجلوكز-1-فوسفات لإنتاج الإيرودين ثنائي الفوسفات-جلوكوز ***UDP-glucose***، فمن إستعادة **UTP**، يفسفر **UDP** بجزيئة **ATP**:

$$\text{G-1-P} + \text{UTP} \leftrightarrow \text{UDP-glucose}$$

$$\text{UDP-glucose} + \text{glycogen(n)} \leftrightarrow \text{UDP} + \text{glycogen(n + 1)}$$

$$\text{UDP} + \text{ATP} \leftrightarrow \text{UTP} + \text{ADP}$$

الأنزيم المفتاح المنظم لعليمة بناء الجلكوحين ***Glycogenesis*** هو الجليكوجين المركب ***glycogen synthase***.



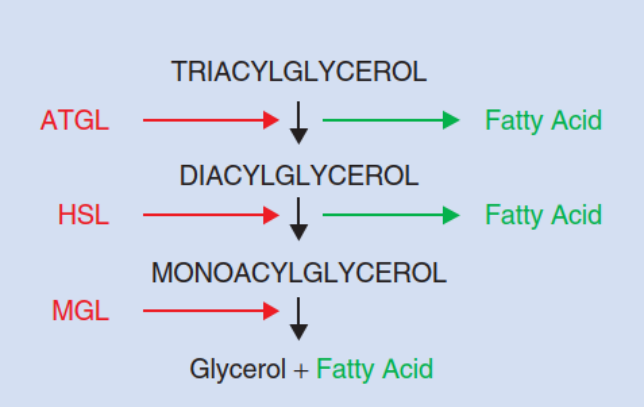
الشكل44 : بناء الجليكوجين Glycogenesis هو تشكل الجليكوجين glycogen من الجلوكوز glucose بتدخل الأنزيم المفتاح الجليكوجين المركب glycogen synthase.

13.6 أيض الدهون FAT METABOLISM:

13.6.1 هدم الدهون Lipolysis:

هي عملية يحدث فيها هدم **لأحماض ثلاثية الغليسيريد Triglycerides** إلى **غليسرول glycerol** و **أحماض دهنية fatty acids**، و تنظم هذه العملية بواسطة هرمونات مثل **الأنسولين insulin** و **الكاتكولأمينات The catecholamines**، و تحتاج هذه العملية إلى تنشيط أنزيمات إماهة ثلاثي الغليسيريد الدهنية **the enzymes adipose triglyceride lipase (ATGL)**، **هرمون تحسيس الإماهة hormone sensitive lipase (HSL)** و **أحادي الأسيتيلغليسيرول المميه monoacylglycerol lipase (MGL)**، والذي إذا فعل تنزع الأحماض الدهنية من الغليسيرول.

تبادر أنزيمات إماهة ثلاثي الغليسيريد الدهنية **(ATGL)** في فصل أول حمض دهني حر، بينما يقوم الهرمون المحسس للإماهة **(HSL)** بفصل الحمض الدهني الثاني، ثم يقوم **أحادي الأسيتيلغليسيرول المميه (MGL)** بإتمام بفصل آخر حمض دهني (الشكل الموالي).



الشكل45 : ملخص هدم الدهون.

تحدث عملية هدم الدهون في الأنسجة الدهنية في العضلية، علما أن الخلايا العضلية لا تحتوي ثلاثي الغليسيريد.

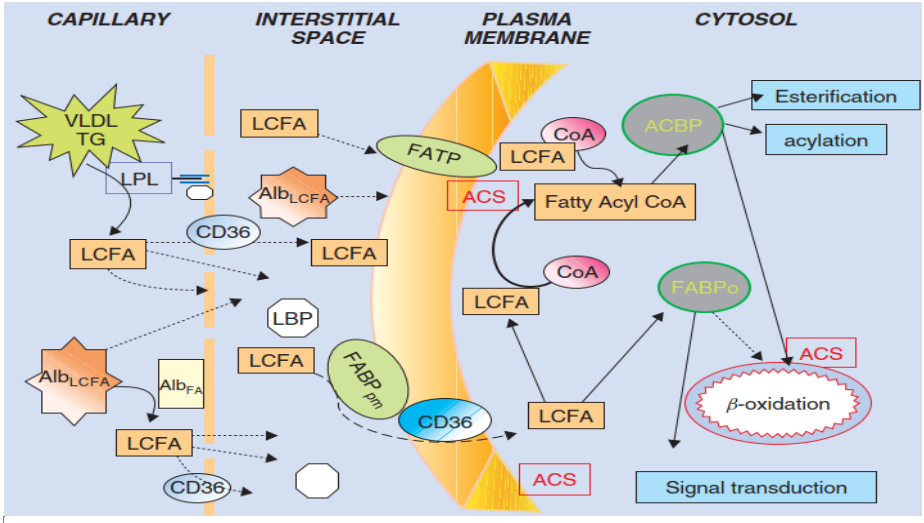
البروتينات الدهنية Lipoprteins مثل البروتينات الدهنية المنخفضة الكثافة LDL والجد المنخفضة الكاثة VLDL تحتوي ثلاثيات الغليسيريدات تخضع كذلك إلى عملية الهدم الدهون.

عملية هدم الدهون تحدث أثناء الجهد البدني، وكذلك بعد ساعات (حوالي 6 ساعات أو أكثر) بعد وجبة الأكل، لما يحتاج إلى الأحماض الدهنية كمنبع طاقة في أنسجة مختلفة، علما أن هدم الدهون لا يحدث خلال ساعات قليلة (1-2 ساعة) بعد الأكل؛ خاصة عندما توكون الوجبة غنية بالكربوهيدرات.

يتم تفكيك ثلاثي الغليسيردات بإستعمال عدة أنزيمات، منها **البرتين الدهني المميه Lipoprotein lipase (LPL)**، حيث يتم إفرازه من طرف الخلايا الطلائية الداخلية في منطقة النسيج الدهني أو العضلي، لكي يحفز تحرير الأحماض الدهنية و الغليسيرول من البروتينات الدهنية الناقلة، مما ينتج عنه إمتصاص الأحماض الدهنية إما من طرف الخلايا الدهنية (عقب الأكل)، أو من طرف الخلايا العضلية (أثناء التمرين البدني).

تحرر الأحماض الدهنية و الغليسيرول من الأنسجة الدهنية كناتج لعملية هدم الدهون، و التي تخرج من الخلايا الدهنية إلى الدورة الدموية، حيث أن الغليسيرول قابل للإماهة، بينما ترتبط الأحماض الدهنية بجزيئات الألبومين **Albumin molecules** المتواجدة في الدم، حيث تملك هذه البروتينات الناقلة القدرة على نقل 10 جزيئات من الأحماض الدهنية مرة واحدة، و كمية الأحماض الدهنية الموصلة إلى اللعضلة من النسيج الدهني متوقفة على تدفق الدم خلال النسيج الدهني و عدد جزيئات الألبومين **Albumin molecules** في الدم (MacLaren & James, 2012).

بعد نقل الأحماض الدهنية إلى الخلايا العضلية ، يتم نقلها عبر الأغشية الخلوية عن طريق نواقل مختلفة (FABP، FATP، FAT)[8]، و كلما كثر عددها على غشاء الخلية كان استغلال الأحماض الدهنية كبير داخل الخلية، و كباقي النواقل البروتينية FABP، FATP، و FAT تحفز بعاملي التمرين البدني و طبيعة التغذية، حيث ترتفع كمية نواقل الأحماض الدهنية لدى رياضي المداومة لاستعمالهم بشكل كبير للأحماض الدهنية كمنبع للطاقة، كما هو الحال أيضا بالنسبة للحمية أو نمط التغذية الغني بالدهون و المنخفض من الكربوهيدرات الممتد لفترة طويلة، الذي يحفز من الإنتاج الإضافي من نواقل الأحماض الدهنية.



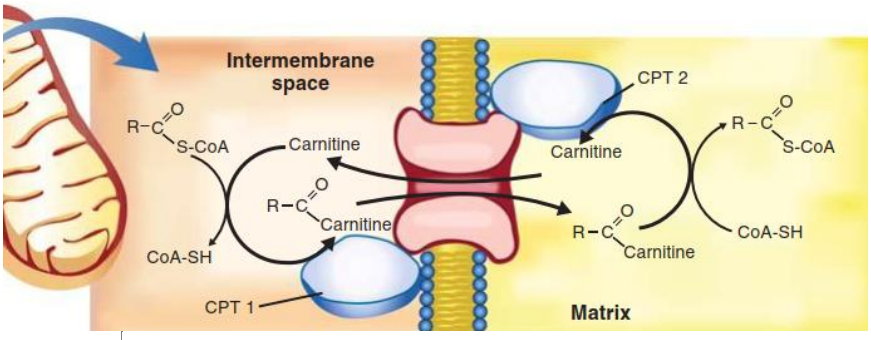
الشكل46 : نقل الحمض الدهني نحو الخلية العضلية (مضافة من عند Kiens، 2006)

بمجرد وجود الأحماض الدهنية داخل هيولة الخلية العضلية، ترتبط ببروتين رابط للحمض الدهني آخر ($FABP_{cyt}$)، حيث ينقله إلى خارج غشاء الميتوكوندري، حيث يتم تنشيطها من طرف أنزيمي ACS و CoA، و تصبح بذلك أحماض دهنية مفعلة، ثم تنقل هذه الأخيرة إلى داخل الميتوكندري بعد ربطها بجزيئة الكانتين carnitine من طرف **الأنزيم الناقل البالميتيول carnitine palmitoyl transferase (CPT1)**، حيث ينقل هذا الأخير جزيئة الأستيلكارنتين عبر غشاء الميتوكندري إلى المساحة الداخلية أين يقوم **الأنزيم الناقل البالميتيول2 (CPT-2)** بنزع الكانتين و يترك الحمض الدهني المفعل داخل مصفوفة الميتوكندري، ثم تنقل جزيئة الكانتين إلى خارج الغشاء حيث يستطيع نقل حمض دهني مفعل آخر، و تسمى هذه العملية **بمكوكة الكانتين *Carnitine shuttle*** (الشكل الموالي)، إلا أن الأحماض الدهنية ذات السلسلة القصيرة تستطيع المرور عبر غشاء الميتوكندري بدون ناقل.

[8] بروتين ربط الحمض الدهني fatty acid binding protein (FABP)

بروتين نقل الحمض الدهني fatty acid transport protein (FATP)

بروتين ترجمة الحمض الدهني fatty acid translocase (FAT أو CD36)



الشكل47 : نقل الحمض الدهني الطويل السلسلة عبر غشاء الميتوكندري.

13.6.2 أكسدة الأحماض الدهنية β-oxidation:

تخضع الأحماض الدهنية المفعلة إلى الأكسدة-ب **β-oxidation** بمجرد دخولها داخل مصفوفة الميتوكندري، علما ان الأحماض الدهنية تحتوي على كربون، هيدروجين و أكسجين فقط (خاصة الكربون و الهيدروجين)، يترتب عن ذلك عملية الأكسدة-ب التي يتكون على إثرها سلسلة من **الأستلات المر افقة للأنزيم-أ Acetyl-CoAs**، و التي تدخل حلقة حمض ثلاثي السيترات **TCA** أو حلقة كرابس **Krebs cycle**.

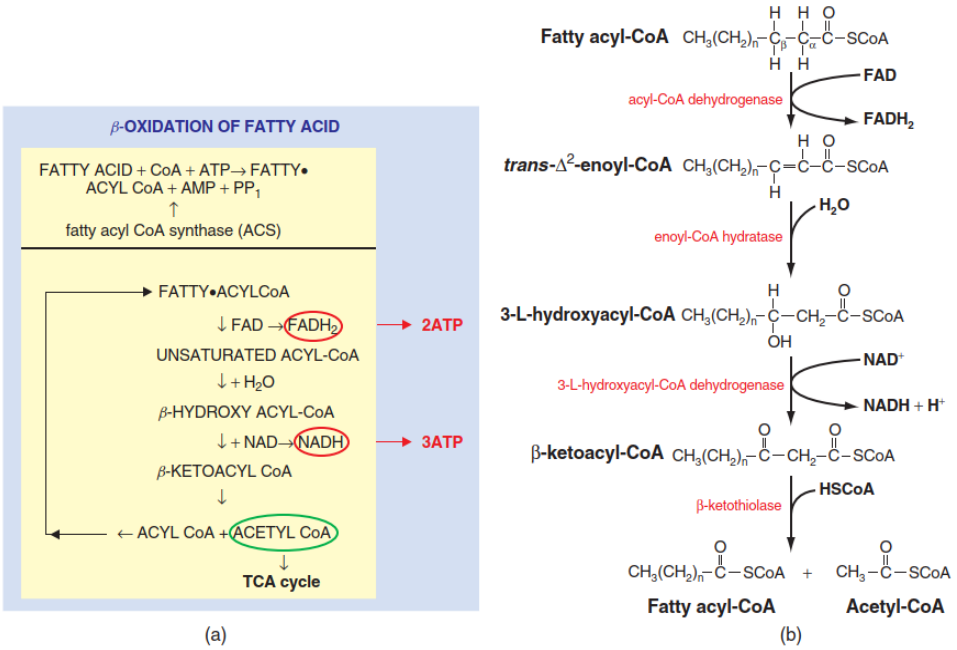
هناك أربعة 4 تفاعلات لكل دورة من أكسدة الحمض الدهني **β-oxydation**، حيث يتشكل عن كل دورة $FADH_2$ و**NADH**، وفي آخر كل دورة يتقلص الحمض الدهني المفعل إلى ثنائي الكربون مما يسمح بتكون **الأستيل مر افق الأنزيم-أ Acetyl-CoA**، حيث يتوقف عدد الدورات التي يخضع لها الحمض الدهني على عدد ذرات الكربون المشكلة له.

يخضع حمض دهني متكون من 16 كربون **(16-C)** إلى سبعة (7) دورات، لأن ناتج الدورة الأخيرة يشكل **2 أستيل مر افقي الأنزيم-أ A-CoA 2** من الأستيل المرافق للإنزيم-أ الدهني الرباعي الكربون.

العدد الإجمالي لجزيئات الـــ **ATP** الناتج عن أكسدة حمض دهني **16-C** هو حوالي **131 ATP** (الشكل الموالي)، وهذا مشتق الفسفرة التأكسدية لـــ **7 NAD** و **7** $FADH_2$، حيث ينتج من الأول **21 ATP**، ومن الثاني **14 ATP**، بالإضافة إلى **96 ATP** المتشكلة عن **11 A-CoA** المار عبر حلقة كرابس (**12 ATP** لكل **A-CoA**)، مع إنقاص **2 ATP** المستعملة لتفعيل الحمض الدهني بعد دخوله الميتوكندري.

ويتجلى من خلال ما سبق أمرين واضحين:

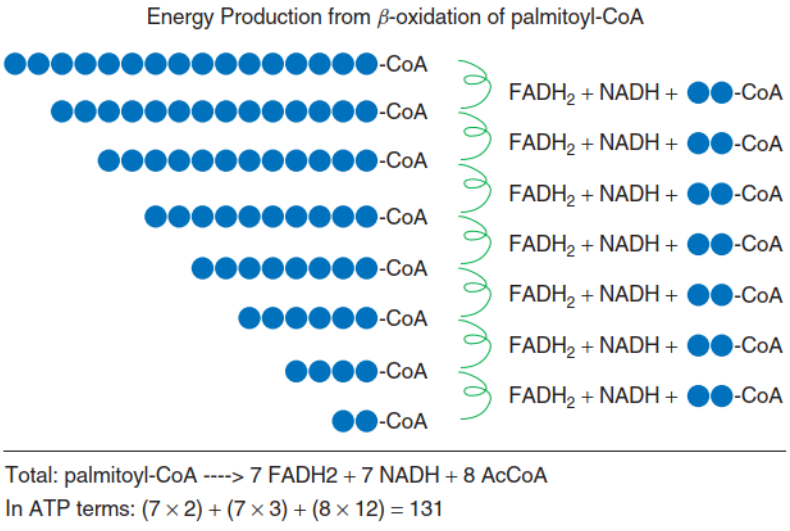
- الكمية الكبير من الطاقة الناتجة من أكسدة الحمض الدهني (أكثر من الجلوكوز).
- لا تستعمل الأحماض الدهنية كمنبع للطاقة إلا بالنسبة للنشاط الهوائي، بإعتبار تدخل الفسفرة التأكسدية وحلقة كرابس.



الشكل48 : عملية أكسدة الأحماض الدهنية β-oxydation.

(a) النموذج البسيط المبين لكيفية وأمكان تخليق الـ ATP،

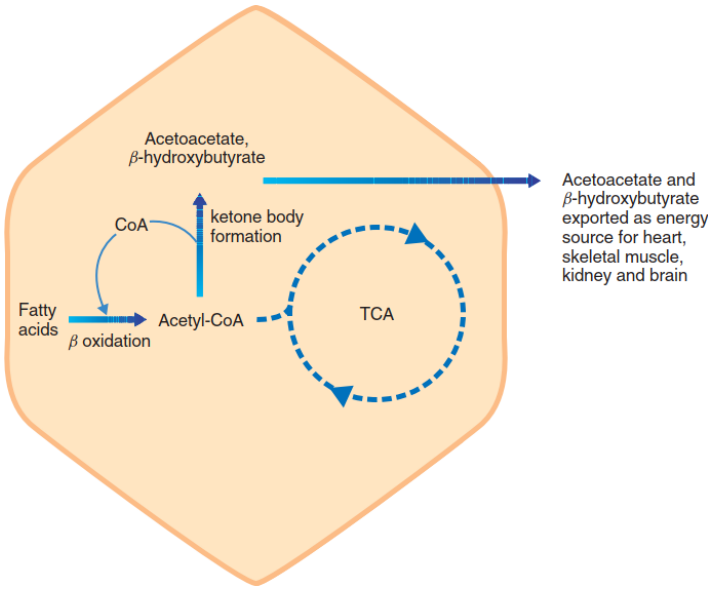
(b) يبين بالأحمر الأنزيمات المفتاح المتدخلة، حيث يمثل الأنزيم النازع للهيدروجين بيتا-أستيل مر افق للأنزيم-أ β- hydroxyacyl CoA dehydrogenase (HAD) الأنزيم الدال على نشاط أكسدة الأحماض الدهنية.



الشكل49 : الطاقة الناتجة عن أكسدة حمض دهني 16-كربون (حمض النخيل Palmipate acid)؛ بالأزرق يمثل ذرات الكربون.

13.6.2.1 تكون الجسم الكيتوني Ketone body formation:

الوجود الزائد للأحماض الدهنية في العضلة وفي الكبد يزيد من عملة هدم الدهون ونواتجها، حيث يمكن للعضلة او الخلية العضلية التعامل مع هذه الزيادة بأكسدة الأحماض الدهنية، أما الكبد فيتعامل مع زيادة كمية الأستيل المرافق للأنزيم-أ الناتج من أكسدة الأحماض الدهنية بتحويله إلى أجسام كيتونية **Ketone bodies.**



الشكل50 : تكوين جسم الكيتون. تحدث تفاعلات تكوين الكيتون في خلايا الكبد (Hepatocyte).

يبين الشكل الموالي تحول **الأستيل مرافق الأنزم-أ (A-CoA)** إلى **الأسيتوأستات Acetoacetate**، و الذي يستطيع التحول بذلك إلى **بيتاهيدروكسيبيتيرات β-hydroxybutyrate**، حيث أن هذين المركبين الأخيرين هما أجسام كيتونية تستطيع الخروج من الكبد إلى الدم و تستغل في أيض أنسجة أخرى، منها القلب، العضلات، الكلى، الدماغ، وكذلك النسيج التنفسي.

تحول الأجسام الكيتونية إلى **أ-مرافق للأنزم-أ A-CoA** لكي يتم أيضها ودخولها حلقة كرابس، وهذه العملية عكسية.

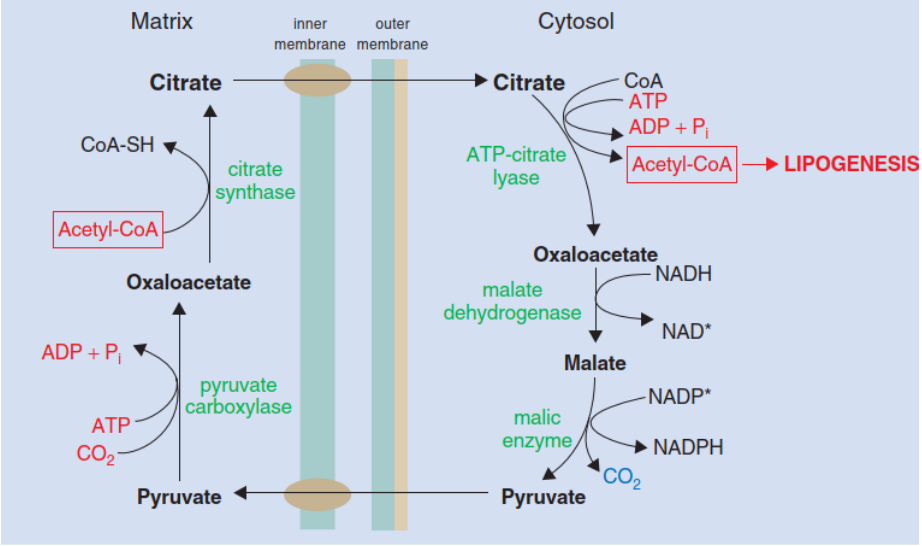
ارتفاع نسبة الأجسام الكيتونية في الجسم هو مؤشر على أثر التمرين البدني المطول، وهو كذلك ناتج عن نقص التغذية من الكربوهيدرات أو عن المجاعة، كما أنه مؤشر على وفرة الأحماض الدهنية في الجسم.

13.7 بناء الدهون:

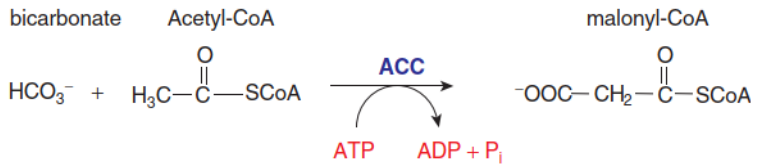
13.7.1 تكوين الأحماض الدهنية Formation of fatty acids:

ارتفاع مستوى الأحماض الدهنية في الجسم لا يكون بمجرد امتصاص الدهون المحتوات في الأكل، و لكن كذلك بسبب اشتقاقها في الكبد و بشكل ضئيل في النسيج الدهون من الجلوكوز، بمعنى آخر للجسم القدرة على تشكيل الأحماض الدهنية (بما في ذلك ثلاثيات الغليسيريد) من الكربوهيدرات، و هذا ما يفسر أن الاستهلاك الكبير للكربوهيدرات أو السكريات يؤدي إلى ارتفاع الدهونة في الجسم.

يحدث استخلاص وتشكيل الأحماض الدهنية في الهيولة الخلوية، بعكس أكسدة الأحماض الدهنية التي تحدث في الميتوكندري.



الشكل51 : تشكيل الأستيل مر افق الأنزيم-أ داخل الهيولة الخلوية.



المعادلة3 : معادلة تركيب مانونيل مر افق للأنزيم-أ Malonyl-CoA من فق

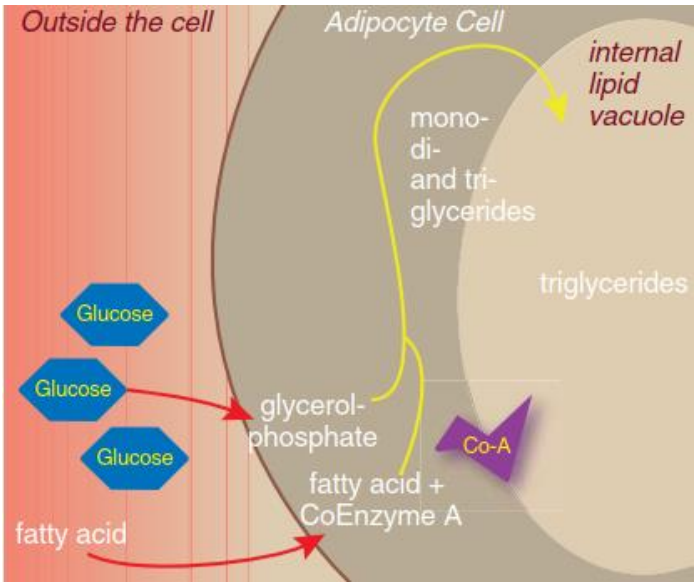
أكسدة الأحماض الدهنية يترتب عليها اختزال الـ FADH و الـ NAD، بينما يترتب عن تشكيلها أكسدة الـ NADH، مما يجعل الخاصية الكيميائية للعملتين (هدم وبناء الدهون) على أنها عكسية من واحدة لأخرى.

كل من أكسدة وتشكيل الأحماض الدهنية تشمل **أ-مر افق الأنزيم أ A-CoA**، رغم أن أ-مرافق الأنزيم في عملية تشكيل الحمض الدهني يبقى بشكل مؤقت ويرتبط بمعقد الأنزيم **مانوتيل مر افق للأنزيم-أ Malonyl-CoA.**

13.7.2 إستخلاص ثلاثي الغليسيريد Triglyceride synthesis:

ثلاثيات الغليسيريد تستخلص من الجلوكوز ومن الأحماض الدهنية ويعدل ذلك بتدخل هرمون الأنسولين.

يحفز الأنسـولين امتصـاص واسـتغلال الجلوكوز و الأحماض الدهنية إلى داخل خلايا النسـيج الدهني، فعند تواجده داخل الخلايا الدهنية، يحول **الجلوكوز** إلى **غليسيرول فوسفات glycerol phosphate**، ثم إلى **غليسـيرول glycerol**، و الذي يشكل العمود الفقري الذي ترتبط به الأحماض الدهنية، و بالتالي فإن الوجبات التي تحتوي على دهون و كربوهيدرات تؤدي دائما إلى تشـكيل ثلاثيات الغليسـيريد في الأنسجة الدهنية (الشكل الموالي).



الشكل52 : المخطط العام لإستخلاص ثلاثي الغليسيريد Triglyceride acids (TAG).

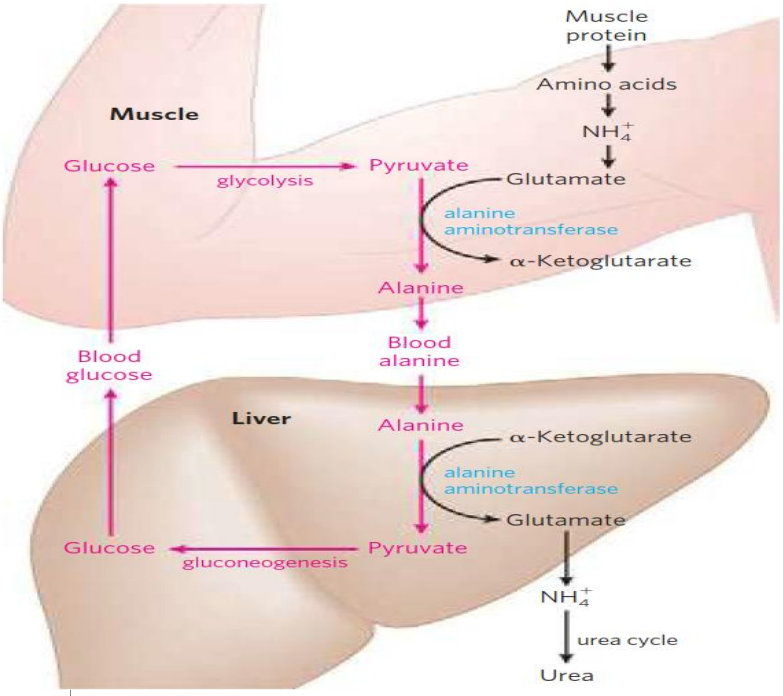
يسلط المخطط الضوء على إستعمال الجلوكوز في إنتاج الغليسيرول (العمود الفقري لـ TAG)، وكل من الجلوكوز والأحماض الدهنية قد تأتي من الأكل أو مستخلصة في الكبد.

عملية امتصـاص واسـتغلال الأحماض الدهنية من الدم إلى داخل الكبد أو الأنسـجة الدهنية أو العضـلات الهيكلية هي نتيجة دائمة لاسـتخلاص الأحماض الدهنية **TAG** بعد وجبات الأكل، وهذا ما لا يحدث خلال التمرين البدني، لما تصبح عملية الأكسدة أكثر نشاطا.

13.8 أيض البروتينات Protein Metabolism :

كثير من بنية الجسم من البروتينات، و هذه البروتينات لها أشكال متعددة، حيث تمثل مستقبلات الإشارات الخلوية، الجزيئات المنبهة، بنية الأغشية، الأنزيمات، مكونات النقل الخلوي، هياكل المصفوفة الخارج خلوية، مضخات الأيونات، قنوات الأيونات، نواقل للغازات (الهيموغلوبين)، إلى غير ذلك من الأشكال البنيوية للبروتينات في الجسم، كما تتواجد البروتينات في العظام (الكولاجين)، العضلات، الأوتار؛ كل الأنزيمات التي تحفز كل التفاعلات الكيميائية داخل الجسم؛ بناء و ترميم العضيات و الخلايا و الأنسجة و الأعضاء، وفي وسط كل هذه الوظائف الضرورية للبروتينات، فهي تزود الأيض كمبع طاقة.

- فائض البروتينات لا تدخر، بل يحول إلى جلوكوز أو إلى ثلاثي الغليسيريد، ويستعمل في تزويد الطاقة أو في بناء مدخرات الطاقة.
- فطر جسم الانسان على تركيب البروتينات من الأحماض الآمنية، ويعتبر الغذاء أهم منبع لهذه الأحماض الآمنية، خاصة وأن جسم الانسان لا يستطيع تركيب كل الأحماض الآمنية العشرون (20) المستعملة في بناء البروتينات.



الشكل53 : حلقة الجلوكوز-الألنين Glucose-alanine cycle.

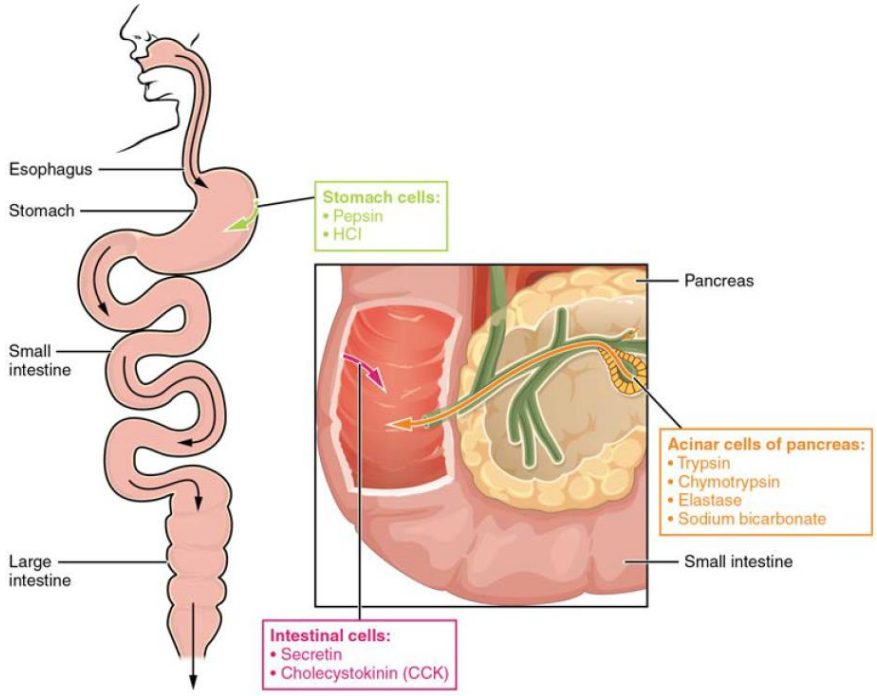
13.8.1 هدم البروتينات Proteins catabolism:

تبدأ عملية هدم البروتينات على مستوى المعدة، حيث تستقبل بمزيج من الأنزيمات التي هي **البيبسين Pepsin** وحمض كلور الهيدروجين **hydrochloric acid** (**HCL**؛ **0.5%**)، حيث ينتج هذا الأخير محيط **pH** من 1.5 إلى 3.5، والذي يتسبب في تغيير طبيعة البروتينات داخل الأكل، ويقطع البيبسين البروتينات إلى متعددات البيبتيد صغيرة والتي تشكل الأحماض الآمنية.

عند دخول عصارت خليط الأكل المعدي (**الكيموس Chyme/Chymus**) الأمعاء الدقيقة، يفرز البنكرياس بيكاربونات الصوديوم لتثبيط حمض كلور الهيدروجين، و الذي تساعد على حماية بطانة الأمعاء.

يقوم المعي الدقيق بإفراز هرمونات هضمية يدخل فيها **السيكرتين Secretin** و **الكوليسيستوكنين Cholecystokinin (CKK)**، و التي تحفز عمليات الهضم و التحليل الإضافي للبروتينات.، كما تعمل **السيكرتين** على تحفيز البنكرياس لإفراز **بيكاربونات الصوديوم Sodium Bicarbonate**.

تفرز البنكرياس معظم الأنزيمات الهضمية، بما فيها **تريبسين البروتيازات Trypsin Proteases**، **شيموتربسين Chymotrypsin** و **الإلستاز Elastase**، والتي تساعد في هضم البروتينات، و كل هذه الهرمونات مع بعض تحلل البروتينات المعقدة إلى أفراد صغيرة من الأحماض الآمنية، التي يتم نقلها عبر مخاطية الأمعاء، ليعاد إستعمالها في صناعة بروتينات جديدة، أو تحول إلى أستيل مرافق الأنزيم-أ ليستعمل في حلقة كرابس.



الشكل54 : الهرمونات والأنزيمات الهضمية.

تحلل الأنزيمات البروتينات في المعدة و الأمعاء إلى أحماض آمنية، و حمض كلور الهيدروجين في المعدة يساعد في تحليل البروتينات Proteolysis، و الهرمونات المفرزة من خلايا الأمعاء توجه عملية الهضم.

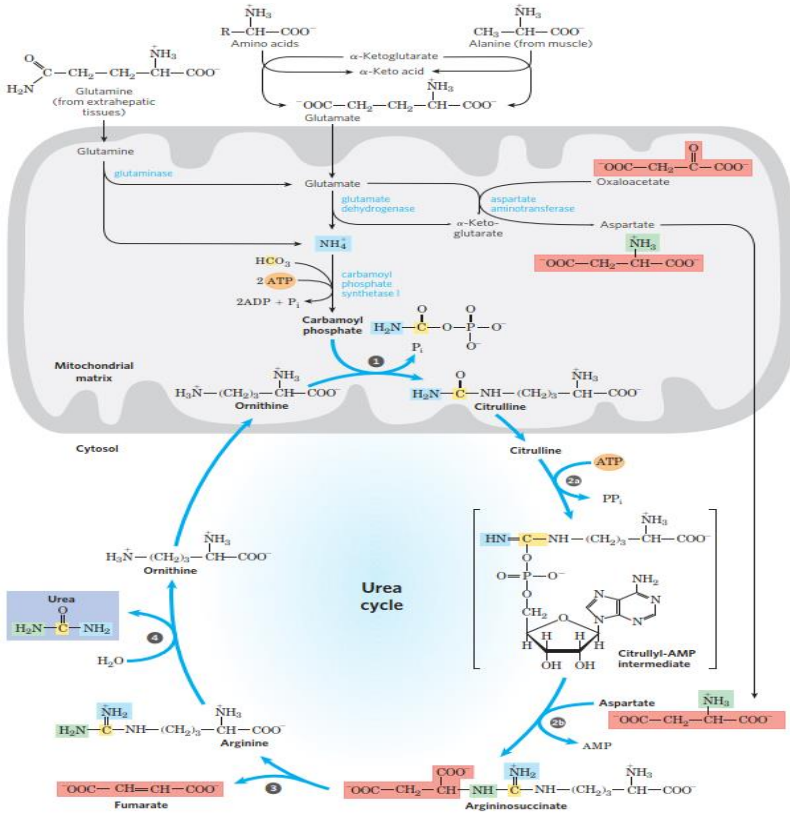
في حالة وجود فائض من الأحماض الآمنية فليس للجسم القدرة على تخزينها، وبالتالي يحولها إلى جلوكوز و كيتونات ketones، أو يحللها إلى مخلفات من **هيدروكربونات Hydrocarbons و نيتوجين Nitrogenous**، علما أن التركيز العالي من النيتروجين هو عامل سام بالنسبة للجسم،[2] فيقوم هذا الأخير بالدورة البولية لمعالجة النيتروجين و تسهيل عملية طرحه خارج الجسم.

13.8.2 الدورة البولية Urea Cycle:

الدورة البولية هي مراحل من التفاعلات الكميائية التي تنتج البولة من أيونات الأمونيوم **ammonium ions** بطريقة تحمي الجسم من مستوى التسمم بالأمنيوم NH_4^+ ، حيث تحدث بمقام أول في الكبد، و إلى حد أقل في الكليتين، وقبل بداية الدورة البولية تنتج أيونات الأمونيوم من تحليل الأحماض الآمنية، و في هذه التفاعلات، تغير الوظيفة الآمنية أو أيونات الأمونيوم في الأحماض الآمنية إلى مجموعة كيتو أو إلى جزيئات أخرى.

حدوث **عملية نقل للوظيفة الآمنية Transamination** ينتج جزيء ضروري لحلقة كرابس، و تدخل أيونات الأمنيوم في الحلقة البولية لطرحها.

في الحلقة البولية **Urea cycle** يدمج الأمونيوم CO_2 منتجا بذلك الماء و البولة **Urea**، و تطرح هذه الأخيرة في البول **Urine** (الشكل الموالي).

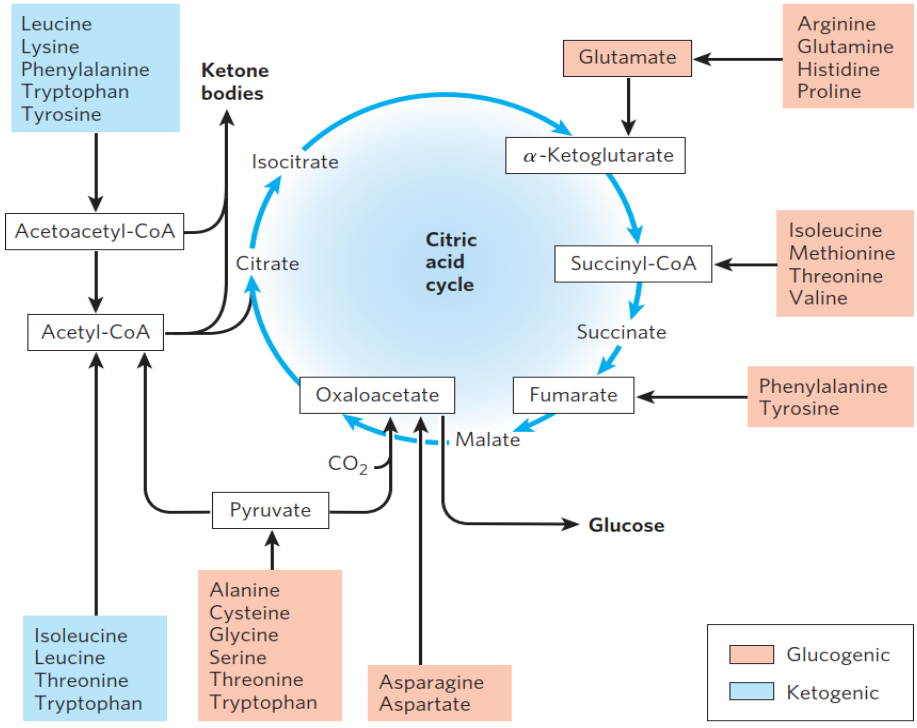


الشكل 55 : الحلقة البولية و التفاعلات التي تقود الأحماض الآمنية إلى الحلقة.

13.8.3 طرق تحليل الأحمض الآمنية Pathways of Amino Acid Degradation:

تحدث طرق هدم الأحماض الآمنية مع بعض، ففي الحالة الطبيعية تمثل 10% إلى 15% من منتوج طاقة الجسم، و هذه الطرق ليس لها نفس النشاط كما هو الحال في تحليل الجلكوز و أكسدة اللأحماض الدهنية، و حتى تدفق الهدم يختلف كثيرا عنهما، فهو متوقف على الميزان بين حاجيات عمليات البناء الحيوي و توفر نوعية خاصة من الأحماض الآمنية.

تجتمع العشرين 20 طريق لهدم الأحماض الآمنية لتشكل ستة 6 نواتج رئيسية، و تدخل كلها في حلقة حمض السيتريك (كرابس) (الشكل الموالي).



الشكل56 : ملخص هدم الأحماض الآمنية.

تجمع الأحماض الآمنية حسب أهم ناتج من عملية تحليلها.

الأحماض الآمنية الجلوكوجينية glucogenic و الكيتوجينية ketogenic محددة في الشكل حسب تظليلها كما في المفتاح.

ننوه أن خمسة 5 أحماض آمنية لها الخاصية الجلوكوزية و الكيتونية، و الأحماض الآمنية المحللة إلى بيروفات هي كذلك كيتونية الطبيعة، ما عدى اللوسين Leucine و الليزين Lysine اللذان هما حمضين آمنيين حصريا كيتوجينية.

13.9 بناء البروتينات:

كما ســبق بيانه في مرحلة هدم البروتينات والتي ينتهي هدمها إلى تحليلها إلى أحماض آمنية، حتى يتم امتصاصها عبر الأمعاء الدقيقة، ثم يعاد استعمالها في بناء بروتينات جديدة داخل الجسم.

بناء البروتينات هو عملية تتشــكل فيها البروتينات من الأحماض الآمنية، حيث تترتب على خمســة 5 مراحل:

13.9.1 تشكيل الأحماض الآمنية Amino acid synthesis:

1. **النسخ Transcription** (عملية نسخ مقاطع من DNA إلى RNA داخل نواة الخلية):
   في هذه المرحلة يقوم DNA بوليمراز DNA Polymetase بقراءة ضفيرة DNA و ينتج ضفيرة RNA الرسول Mrna، و الذي يترجم فيما بعد هذه المرحلة.
2. **الترجمة Translation** (عملية صنع البروتين في الريبوزمات المتواجد في الهيولة أو الشبكة الفعالة بعد عملية نسخ الـ DNA إلى الـ RNA التي حدثت في نواة الخلية).
3. **التعـديلات بعـد الترجمـة Post-translational modification (PTM)**: تشــير إلى الروابط التساهمية بين الذرات وإلى عموم عملية التعديل الأنزيمي للبروتين، بعد الصناعة الحيوية.
4. **طي البروتين Protein Folding:** عملية فيزيائية يتخذ فيها البروتين بنية طبيعية ثلاثية الأبعاد، تمكنه من القيام بوظيفة بيولوجية محددة.

13.9.2 زمن تخليق البروتينات Time duration of protein synthesis:

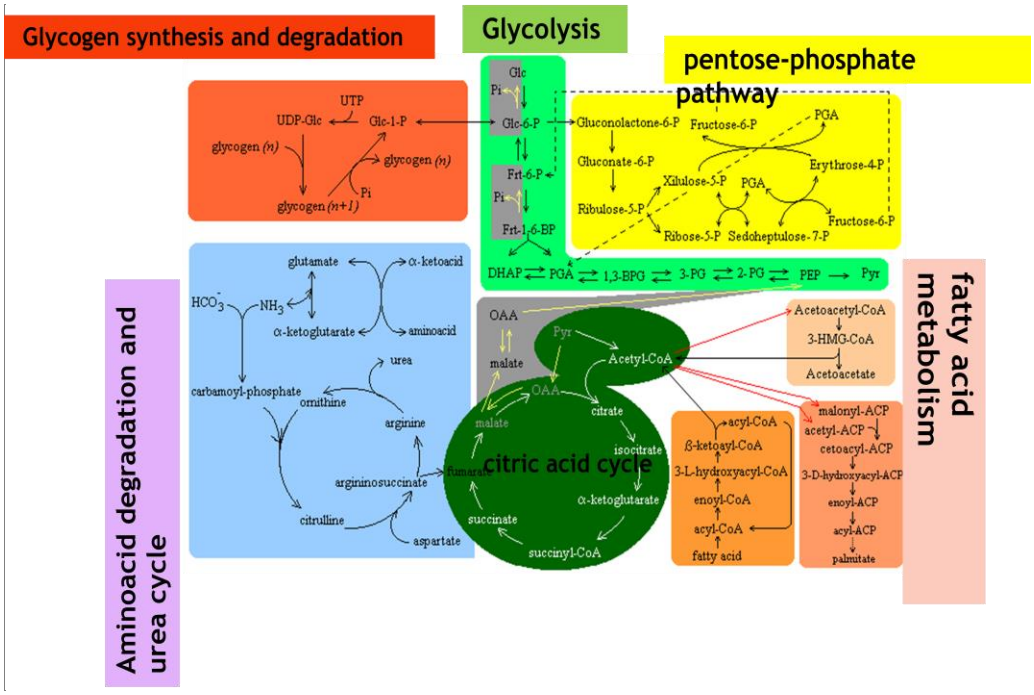
يعد تخليق البروتين عملية معقدة تحدث في الخلايا ويمكن أن تســتغرق زمنها من ***بضــع دقائق إلى عدة أيام***، اعتمادًا على البروتين المحدد الذي يتم تصـنيعه، حيث تتضـمن العملية نسـخ الحمض النووي إلى الحمض النووي الريبي (RNA) وترجمة الحمض النووي الريبي (RNA) إلى تسـلسـل محدد من الأحماض الأمينية حســب البروتين المحتاج إلى تخليقه، ويمكن أن يتأثر الوقت اللازم لتخليق البروتين بعدد من العوامل:

- ✓ بما في ذلك تعقيد البروتين،
- ✓ توافر المكونات الضرورية؛
- ✓ الصحة العامة للجسم وللخلية بشكل أخص.

14. طرق الأيض:

تجمع طرق الأيض في ثلاثة منابع أساسية، وهي الكربوهيدرات، الدهون والبروتينات، حيث يتفرع طرق أيض الكربوهيدرات إلى ثلاثة منابع فرعية، وهي الجلوكوز والجليكوجين والفركتوز، وأما الدهون فأهم منابعها هو ثلاثي الغليسيرد، وبالنسبة للبروتينات فهي الأحماض الآمنية الموجودة في الجسم.

يلخص الشكل الموالي طرق الأيض الثلاثة الأساسية:



الشكل 57: ملخص لمنابع و طرق السلسلة التنفسية لإنتاج الطاقة (ATP).

Glycogen synthesis and degradation	- تحليل و بناء الغليكوجين (السكريات)
Glycolysis	- الجلكزة أو هدم الجلوكوز (السكريات)
Pentose-phosphate pathway	- طريق السكر الفوسفاتي الخماسي (السكريات)
Fatty acid metabolism	- أيض الأحماض الدسمة (الدسم)
Aminoacid degradation and urea cycle	- تحليل الأحماض الآمنية و حلقة اليوريا أو البولة (البروتينات) $CO(NH_2)_2$

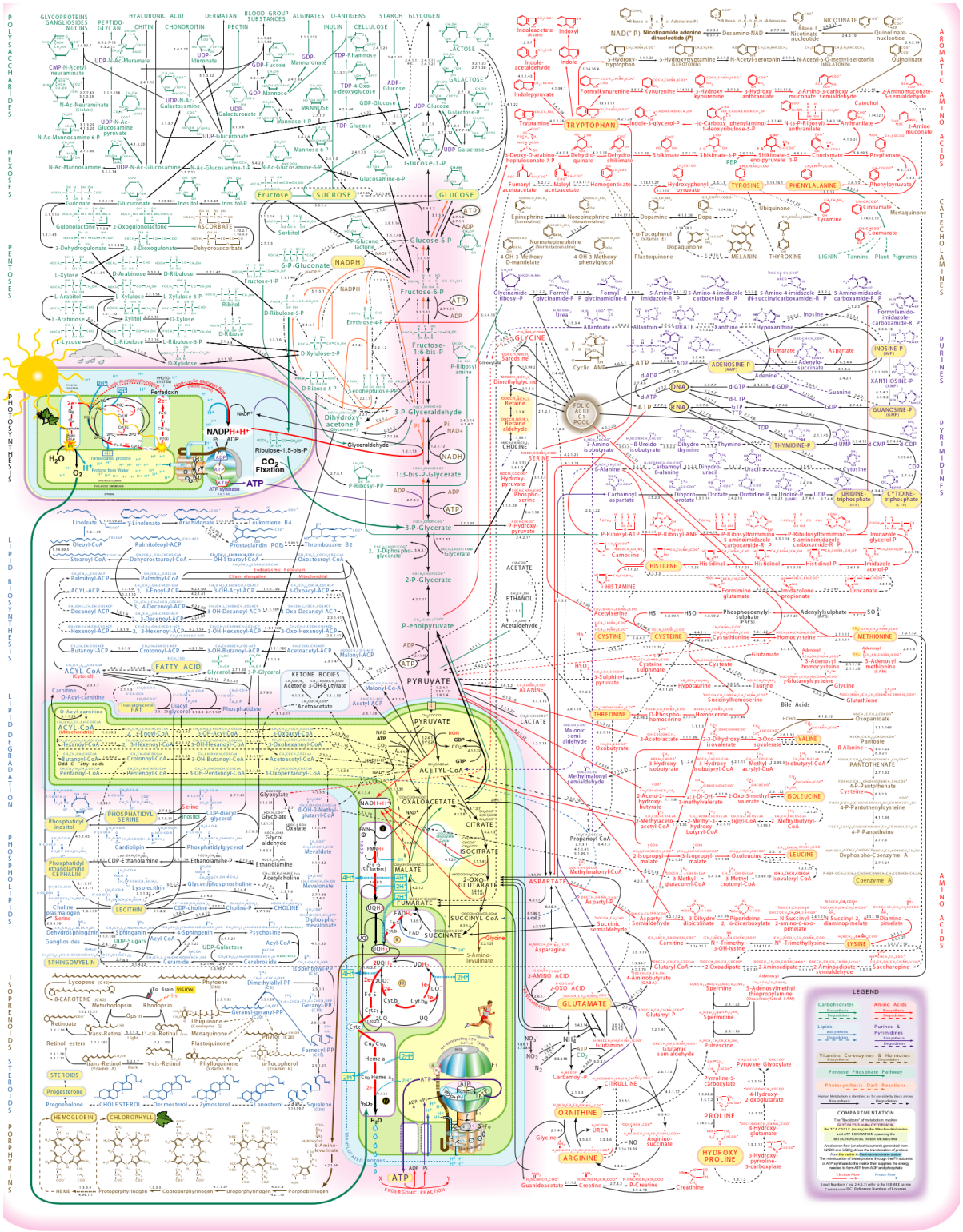
و أما الصورة المفصلة لجميع طرق الأيض، فهي محال بحث و تخصص لوحد ، و توجد العديد من المواقع الالكترونية التي ترسم و تجميع جميع طرق الأيض بشكل دقيق، حيث يمكن الوصل إليها و إلى جزئيات تفاصيل الأيض بشكل نافع و مفيد، مثل:

http://www.metabolic-pathway.com/fullMap.html

https://www.genome.jp/kegg/kegg2.html

http://biochemical-pathways.com/#/map/1

و الشكل الموالي يمثل الخريطة التفاعلية لطرق الأيض، و هي من الموقع الصيدلاني لشركة Roche، حيث تستطيع قراءة تفاصيلها على الملف الالكتروني للكتاب دون الملف المطبوع.



©2003 International Union of Biochemistry and Molecular Biology
www.iubmb.org

22nd Edition Designed by Donald E. Nicholson, D.Sc., The University of Leeds, England – and Sigma-Aldrich
Product No. M 3907

الشكل 58: الخريطة التفاعلية لطرق الأيض (*كبر الصورة لقراءة مضمونها*).

14.4 العوامل المساعدة على الأيض:

- حاجيات النشاط اليومي من طاقة.

- التغذية المتوازنة، خاصة الأغذية الكاملة كالبن والحبوب والخضر والفواكه والماء والأملاح المعدنية.
- التعديل الهرموني لجسم حسب الحاجة الخارجية والداخلية للجسم.
- تغذية دموية جيد للأنسجة والخلايا في جميع أنحاء الجسم: يسمح بإيصال المركبات الضرورية و الماء والأكسجين، وكذلك طرح نواتج التفاعلات الأيضية داخل الخلايا.
- الوتيرة أو التوقيت البيولوجي المتوازن: وهو ما يتعلق بتوقيت النوم و الوجبات اليومية و النشاط، و الذي يفرض نمط الحياة.
- التوازن بين الأكل والنشـــاط أو الطاقة الداخلة إلى الجســـم عن طريق الأكل والطاقة الخارجة من الجسم عن طريق الجهد البدني.

15. أهم طريق و منابع السلسلة التنفسية لإنتاج الطاقة الـ ATP داخل خلايا الانسان:

تتلخص طرق ومنابع إنتاج الطاقة التي تؤدي إلى التحليل الكلي لمنابع الطاقة الثلاثة في خمســـة طرق، ثلاثة منها خاصة بأصناف الكربوهيدرات داخل الجسم، وهي:

- **الجلكوجين: طريقة تسمى هدم الجليكوجين Glycogenesis**
- **الجلوكوز: طريقه تسمى هدم الجلوكوزGlycolysis.**
- **الفركتوز: طريقه تسمى طريق السكر الخماسي الفسفاتي Pentose- phosphate pathway.**

و الطريقين الباقيين هما:

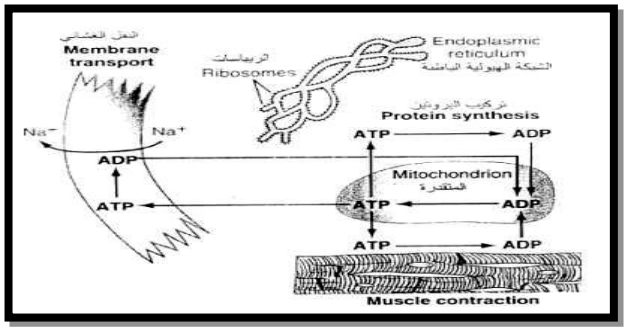
- **هدم الدهون Fatty acids catabolism .**
- **هدم الأحماض الأمنية والدورة البولية Aminoacid degradation and Urea cycle.**

15.4 دور الـ ATP في الوظيفة الخلوية :

يستعمل الـ ATP في ثلاثة أصناف رئيسية من الوظائف الخلوية :

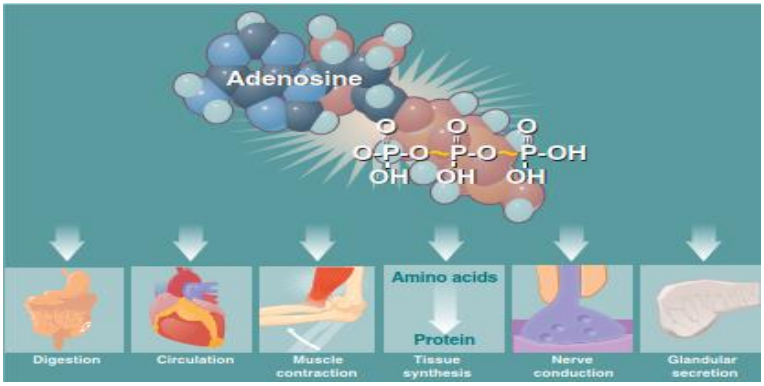
1. النقل الغشائي.
2. صنع مركبات كيميائية في جميع أنحاء الخلية، خاصة صناعة البروتين.
3. العمل الآلي.
4. السيالة العصبية.
5. الإفراز الهرموني.
6. عمل الوظائف الحيوية.

ويبين الشـــكل التالي هذه الاســـتعمالات الثلاثة المختلفة للـــــATP مع الأمثلة :(1) لتزويد عملية نقل الصـوديوم عبر غشـاء الخلية بالطاقة, (2) لتعزيز عملية صـنع البروتين بواسـطة الريباسـات، (3) لتزويد الطاقة اللازمة للتقلص العضلي.



الشكل 59: أهم أدوار الـ ATP في وظائف جسم الانسان.

وفي حقيقة الأمر ن، فإن مركب الـــــ ATP له دور محوري في بقاء الخلايا حية، وذلك للحاجة الدائمة لهذا المركب لعمل جميع خلايا الجسـم، سـواء لتجديد مكوناتها أو لإتصـالها بعضـها مع البعض، وإفرازا لنواتجها أو تقلصـا للوحدات المكونة لعضياتها أو تفعيلا وتمشيطا لعمليتي الهدم والبناء لجميع منابع إنتاج الطاقة.



الشكل 60: بعض فروع إستعمالات الـ ATP في عمل وظائف جسم الإنسان.

15.4.1 منابع و أنظمة إنتاج الطاقة (ATP) خلال الجهد البدني:

عملية إنتاج الـATP في جسم الانسان هي أهم ناتج في النظام الأيضي، كونه العنصر أهم عنصر طاقوي في المركبات الفوسفاتية النووية Nucleoside Triphosphates (NTP) الموجودة في جسم الانسان adenosine triphosphate ATP, guanosine triphosphate GTP, cytidine triphosphate CTP,) (thymidine triphosphate TTP and uridine triphosphate UTP[9]، حيث أن الـATP يتميز بتداخله مع باقي المركبات الفوسفاتية المذكورة، وذلك باستعماله من طرف خلايا جسم الإنسان في مركبتي الأيض وهما الهدم

[9] https://www.wikidoc.org/index.php/Nucleoside_triphosphate

والبناء، ويستعمل كوقود لإنتاج الحرارة في نظام التعديل الحراري (37° C)، وكذلك هو وقود لتقلص مختلف الأنسجة العضلية المكونة لجسم الانسان بما فيها العضلات الهيكلية المحركة له.

إستعمال الـ ATP في مختلف الجهود البدنية له عدة طرق لتوفيره، حيث أنها تنتظم على شكل أنظمة ومنابع لإنتاج الطاقة (ATP) اللازمة لإنجاز نوع الجهد البدني المستهدف، متعلقة بشدة وحجم أو المدة الزمنية للتمرين البدني، إذ أن أشهر صور الجهد لتمثيل تدخل هذه الأنظمة والمنابع هو الجهد البدني المستمر العالي الشدة، كما يلي:

النظام			المنبع	الطريق	إسم الطريق	الزمن	
						القوة	السعة
اللاهوائي	اللالبني أو الفوسفوجيني		المركبات الفوسفاتية	1. حرارة $ATP + H_20 \rightarrow ADP + Pi + 7.3\ Kcal$ 2. $ADP + ADP \rightarrow ATP + AMP$ 3. $ADP + PCr \rightarrow ATP + Cr$	-إماهة الـ ATP -التعديل البروتوني -الكرياتين فوسفات PCr	"4-"1 "10-"4 "15-"10	"8-"1 "15-"8 "30-"15
	اللبني		الجلوكوز فقط	$Glucose \rightarrow puryvate + 8\ ATP$ $puryvate \rightarrow 2\ lactate\ acids + 2\ ATP$	-الجلكزة -التخمر	"2-'30	'3-"30
الهوائي	الكربوهيدارت (1. الجلوكوز، 2. الجليكوجين، 3. السكريات الخماسية)			$Carbohydrates \rightarrow n\ (ATP)$	أكسدة الكربوهيدرات	'30-'2	'40-'2
	الدهون (الأحماض الدهنية)			$n\ (Fatty\ acids) \rightarrow n\ (ATP)$	أكسدة الدهون	'60-'30	'120-'40
	البروتنات (الأحماض الأمنية)			$n\ (Amino\ acids) \rightarrow n\ (ATP)$	أكسدة البروتينات	'90-'60	'120-'60

جدول 1: اختصار نموذجي لتسلل تدخل أنظمة ومنابع إنتاج الطاقة خلال جهد بدني عالي مستمر عالي الشدة.

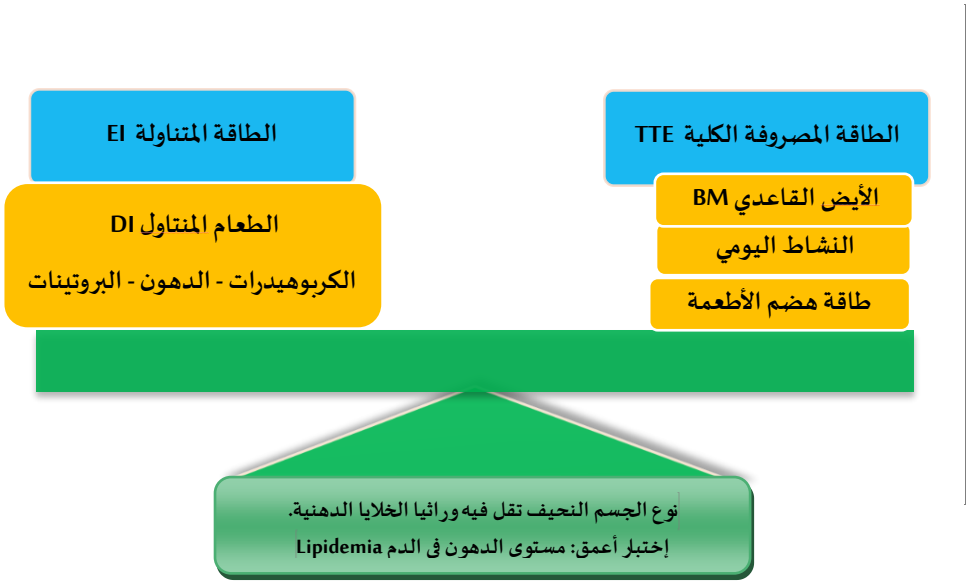
* نواتج منابع الطاقة من الـ ATP تؤول كلها إلى تفاعل اماهة الـ ATP الأول في الجدول.

(كل المعطيات العددية الموجودة في الجدول تقريبية، مستخلصة من بحوث ومراجع مختلفة ممثلة بيانيا، فهي قابلة للتعديل، ولكنها تستطيع إفادة المدرب الرياضي في تصنيف مختلف الجهود البدنية، فليتنبه القارئ والناقل)

15.5 ميزان الطاقة والوزن:

كعنوان تابع و مترتب إستطراد من مآلات تغير فوارق الطاقة الداخلة و المستهلكة في جسم الانسان (الكربوهيدرات، الدهون، البروتينات)، و ما يترتب عن ذلك من تغيرات أيضية و فسيولوجية متعلقة بصحة الجسم، فإن مرحلتي الأيض لها بعد طاقوي يتمثل في شكل ميزان ذو ثلاثة مركبات، أهمهما كفتي

الطاقة، حيث يتغير إتجاهه بحسب ثقل كمية الطاقة المكممة بوحدة القياس الدولية الكيلوجول Kilo Joul (Kj)، أو بالوحدة المتعارف بها الكيلوكالوري Kilo Calory (Kcal)، و مركبة ثالثة تتمثل في المحددات الوراثة و حجم النسيج الدهني لدى كل نوع أنواع بنية الأجسام (النحيف، العضلي، الدهني، و تداخلاتهم البنيوية) قيد مهم لحقيق ترجمة تغيرات ميزان الطاقة.



الشكل61 : معادلة اتزان الطاقة في الجسم والعناصر المكونة لكل من الطاقتين المصروفة والمتناولة (الهزاع،2013).

15.5.1 الطاقة الداخلة Energy Intake (EI):

هو مجموع الطاقة المكممة بوحدة القياس الدولية الكيلوجول Kilo Joul (Kj)، أو بالوحدة المتعارف بها الكيلوكالوري KiloCalory (Kcal)، الناتجة عن مجموع منابع الطاقة الثلاثة الداخلة (الكربوهيدرات، الدهون، البروتينات) إلى الجسم عن طرق الأكل.

- **حساب الطاقة الداخلة عن طريق الأكل:**

و التي تمثل إجمالي كمية الغذاء الداخل لجسم الإنسان عن طريق الأكل من خلال مجموع الوجبات اليومية، و يخص بالذكر في مضمون هذه الوجبات السكريات و الدسم و البروتينات، مع اعتبار الطاقة المستهلكة من طرف الجسم لهضم هذه الوجبات ثم امتصاصها من الأمعاء الدقيقة إلى داخل الدم.

تختلف طرق قياس كمية الطاقة الداخلة الى جسم الإنسان باختلاف الوسائل المتوفرة في تكميم كمية و نوع الأغذية المستهلكة خلال الوجبات، بحيث أن أدق الطرق في هذا المجال هي الطرق المخبرية و التي يوزن فيها كل عنصر غذائي من مكونات الوجبة طازجا قبل أكله، أو قبل طهيه بالنسبة للأطباق المركبة و الطواجين و الحساءات، ثم تحدد قيم كل عنصر بحسب الكمية التي أكل منها أو استعملت في الطهي بالرجوع الى الجداول المعيارية الدولية أو المحلية، كجداول بيانات المنظمة العالمية للتغذية و الزراعة، و الجمعية الأمريكة للغذاء، و معطيات التغذية CIQUAL الفرنسة.

أو استعمال الطريقة الغير مباشرة و هي أقل دقة من الطريق لأولى، و ذلك باستخدام كراس المتابعة الغذائية اليومي لثلاثة أيام، ثم تكميم كمية الطاقة الداخلة بنفس الآليات السابقة في الطريقة المباشر، أو استعمال بعض البرامج الإلكترونية، حيث يتم إدخال البيانات آنيا على أساس خيارات اسم المأكول و كميته و زمن الوجبة، ثم تستنتج تلقائيا الطاقة الداخلة اليومية بعمليات الجمع.

و لحساب كمية الحريرات الناتجة من كل 1 غ من السكريات و الدسم و البروتينات فتستعمل طريقة Atwaterالتقريبية على النحو التالي:

1 غ سكريات أو بروتينات= 4 كيلوكالوري، و1 غ دسم= 9 كيلوكالوري.

الجدول الموالي يبين أنواع منابع الطاقة بالنسبة لجسم الانسان مع قيمة غرام واحد من كل منبع بالكيلوجول و الكيلوحريرة او الكيلوكالوري حسب المنظمة العالمية للتغذية و الفلاحة (Contributors, 2020).

العنصر الغذائي	كثافة الطاقة	
	كيلوجول\غ	كيلوكالوري\غ
الدهون	37	9
الايثانول (شرب الكحول)	29	7
البروتينات	17	4
الكاربوهيدرات	17	4
الأحماض العضوية	13	3
البوليولات (سكر الكحول والمحليات)	10	2,4
الألياف	8	2

الجدول 5 : مصادر إنتاج الطاقة في جسم الإنسان.

فطر جسم الانسان على تخزين المركبات الطاقوية ليستعملها كمنبع للطاقة للحفاظ على عمل الوظائف الحيوية خاصة في فترات الصوم المطول والنشاط البدني، حيث يستطيع الانسان الصيام إعتمادا على الطاقة المخزنة لمدة تتراوح بين 21 حتى 40 يوما دون أي طعام حسب البحوث[10]، ما عدى الماء.

و الجدول التالي يمثل توزيع المركبات الطاقوية لدى شخص يزن 70 كلغ، و لديه 25 كلغ من الكتلة العضلية حسب Rieu، 1988 (Poortmans & Boisseau, 2003).

Substrats	Quantity (kg)	Energy availyble (kJ)
ثلاثي الغليسيريد Triglycerides	12	446500
البروتينات (الأحماض الدسمة الحرة) Proteins (free amino acids)	6	78250
Glycogen الغليكوجين Liver الكبدي muscule العضلي	 0,060 0,400	 638 4252
Substrats circulants (glucose, fatty acids...)	0,023	420
مخلقة الفوسفات PCr	0,087	17
ATP	0,076	5

الجدول 6: توزيع المركبات الطاقوية لدى شخص يزن 70 كلغ، ولديه 25 كلغ من الكتلة العضلية.

- **الطاقة المستهلكة Energy expenditure (EE):**

خلافا للطاقة الداخلة، فإن الطاقة المستهلكة هي مجموع الطاقة المكممة بوحدة القياس الدولية الكيلوجول Kilo Joul (Kj)، أو بالوحدة المتعارف بها الكيلوكالوري KiloCalory (Kcal)، و المستهلكة من خلال قيم :

- **الأيض القاعدي**: و هي قيمة الطاقة اللازمة لعمل الوظائف الحيوية لجسم الانسان (الأنظمة و الأجهزة و الأعضاء)، و يوافقها كمؤشر وظيفي معبر نبض قلب الإحتاطي (نبض القلب في حالة التمدد و السكون التام، مثل في حالة الاستيقاظ من النوم العميق).

[10] https://www.scientificamerican.com/article/how-long-can-a-person-survive-without-food/

- **النشـاط اليومي**: و هو قيمة الطاقة المستهلكة خلال مجموع النشـاطات البدنية خاصـة أيا كان نوع الجهد المبذول، حيث يضاعف هذا الأخير قيمة الأيض القاعدي حسب حجم و شدة الجهد المبذول.
- **أيض الهضـم**: و هي قمية الطاقة اللازمة لعملية الهضـم الميكانيكية (تقلصـات عضـلة المعدة) للوجبات اليومية، و تتراوح قيمتها بين 11-15 % (حســب البحوث) من قيمة الأيض الإجمالي اليومي.

- **حساب الأيض الإجمالي اليومي عن طريق المعادلات:**

الأيض الإجمالي اليومي هو ما يحتاجه الانســان من طاقة يومية لحفاظ على عمل وظائفه الحيوية و للقيام بنشاطاته اليومية حسب وزنه و سنه و جنسه.

أولا لحساب ذلك يجب حساب الأيض القاعدي:

- **الأيض القاعدي Basal Metablism (BM أو BMR):**

و هي قيمة الطاقة اللازمة بقاء عمل الوظتئف الحيوية كالقلب و التنفس و الجهاز العصبي و نظام التعديل الحراري و التصفية و المناعة و غيرها.

☐ **معادلة Harris & Benedict (1919):**

- الرجال Men :

BMR (Kcal) = 88.362 + (13.397 × weight in kg) + (4.799 × height in cm) - (5.677 × age in years)

- النساء Women :

BMR (Kcal) = 447.593 + (9.247 × weight in kg) + (3.098 × height in cm) - (4.330 × age in years)

☐ ثم روجعت المعادلة السابقة من طرف:

Mifflin and St Jeor in 1990:

- الرجال Man :

BMR (Kcal) = **(10 × weight in kg) + (6.25 × height in cm) - (5 × age in years) + 5**

- النساء Women :

BMR (Kcal) = **(10 × weight in kg) + (6.25 × height in cm) - (5 × age in years) – 161**

الوزن بالكيلوغرام :Weight in Kg

الطول بالسنتمتر :Height in cm

السن بالسنة :Age in years

- **حساب الأيض الإجمالي اليومي Total daily energy expenditure:**

و هو قيم الأيض القاعدي ضرب معامل النشاط اليومي، حسب المعادلة التالية:

الأيض الإجمالي اليومي (كيلوكالوري) = الأيض القاعدي × معامل

الكيلوجول هي الوحدة الدولية و الكيلوكالوري هي الوحدة الأكثر شيوعا، حيث أن:

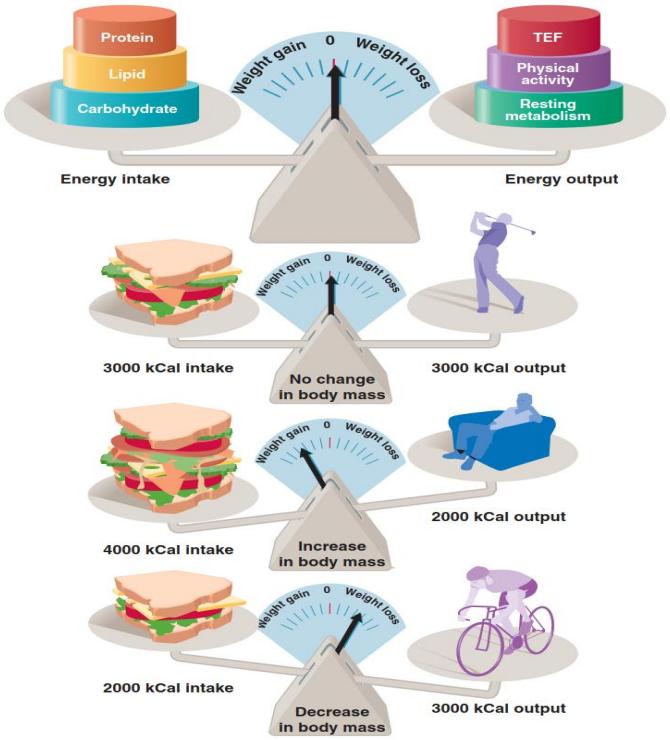
1 كيلوكالوري = 4.1868 كيلوجول.

تعريف معامل النشاط	معامل النشاط
قليل أو منعدم	1,2
خفيف/ رياضة 1-3 مراة/ الأسبوع	1,375
متوسط/ رياضة 3-5 مراة/ الأسبوع	1,55
عال/ رياضة 6-7 مراة/ الأسبوع	1,725
جد عال/ رياضة و العمل البدني	1,9

الجدول 7: جدول معامل النشاط اليومي

15.5.2 تغيرات ميزان الطاقة و ترجمة الوزن:

كما تقرر سابقا فإن ميزان الطاقة تترجم فيه فاورق كفيتي الطاقة كما موضح في الشكل التالي :



الشكل62 : تأثير فوارق ميزان الطاقة على تغير وزن جسم الانسان (William D. McArdle, Frank I. Katch, 2009).

الطاقة الداخلة: energy intake، الطاقة الخارجة: energy output

إذا علم أن قيم الوزن لأي شخص سواء كان رياضيا أو خاملا و من أي جنس هو بين الزيادة في الوزن أو سمنة الإعتدال في الوزن أو النحافة، و هته الأخيرة نتاج عن فارق الحريرات الداخلة للجسم و الخارجة منه كما في الشكلين السابقين، حيث أن الزيادة في الوزن ناتجة عن ارتفاع قيمة الحريرات الداخلة إلى الجسم عن طريق الأكل على قيم الحريرات الخارجة من الجسم عن طريق الأيض الإجمالي اليومي، و هذا في إطار المحددات الوراثية الخاصة بعدد الخلايا المهيئة لتخزين الدهون حسب مناطق تخزينها في الجسم(Dulloo, 1997) ، (Reynisdottir & Hellstro, 2000).

كيف تعرف صنف وزنك؟

هناك العديد من الاختبارات لمعرفة صنف وزن جسم الإنسان، أدقها تلك المخبرية و أبسطها على عامة الناس و أسهلها إستعمالا هو مؤشر كتلة الجسم Body mass index (BMI)، حسب المعادلة التالية:

مؤشر الكتلة الجسم (IMC, BMI) = الوزن (كلغ)\الطول²(م)= قيمة

- **صنف نفسك حسب القيمة التي وجدتها:**

الصنف	قيمة مؤشر كتلة الجسم كلغ\م^2
وزنك اقل من الطبيعي	>18.5
وزن مناسب	24.99 - 18.5
وزن زائد	≤25
ما قبل السمنة	29.99 - 25
سمنة من الدرجة الأولى	34.99- 30
سمنة من الدرجة الثانية	39.99 - 35
سمنة من الدرجة الثالثة	≤40

الجدول 8: جدول تصنيف مؤشر كتلة الجسم حسب معايير منظمة الصحة العالمية، 2000.

يستثنى من هذا التصنيف الرياضيين ذووا المستوى العالي، حيث أن لديهم كتلة العضلات و العظام كبيرتين بالنسبة لكتلة الدهون (مكون العضلية و النحافة > مكون الدهون)، مما قد يحسبان مع الدهون و يصنف الرياضي في أحد درجات صنف الوزن الزائد، و هو في حقيقة الأمر لا تتجاوز لديه نسبة الدهون 11 % من وزنه الكلي، إذ هي العتبة بالنسبة لنسبة الدهون الوزن الطبيعي بالنسبة للرياضيين و غير الرياضيين، و لذلك يستعمل مؤشر نسبة الدهون Body fat percentage بالنسبة للرياضيين و ما أعلها من المؤشر من حيث دقة القياس.

16. الفيتامينات Vitamins:

الفيتامينات هي عبارة عن مركبات عضوية تتواجد في الأغذية، و لها أهمية بالغة في التفاعلات البيوكميائية في جسم الإنسان، فهي تدخل في عدة عمليات، بما في ذلك أيض الأملاح المعدنية و العظام، و في نمو الخلايا و الأنسجة، و هي تعمل على شكل عوامل مرافقة لأيض الطاقة، حيث يلعب **الفيتامين ب B vitamins** دورا واسعا بالنسبة لأي فيتامين آخر (Betts & Dsaix, 2013) (ص1189).

و هي عبارة عن مجموعة من 14 من المغذيات الأساسية العضوية، لازمة بكميات ضئيلة في الغذاء، و البنية الكميائية الدقيقة للفيتامينات المكتشفة الأولى لم تعلم، ثم تم إكتشافها حسب الحروف الأبجدية، و عرف أن **الفيتامين ب** متكون من ثمانية 8 مواد جعلته يعرف **بمعقد فيتنامين ب vitamin B complex** (WIDMAIER et al., 2011).

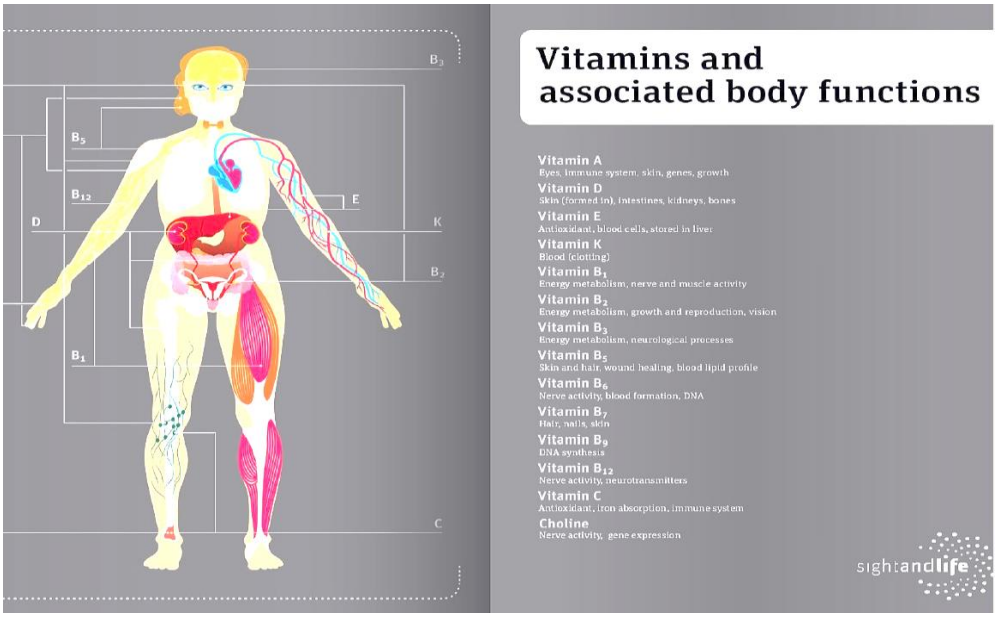
النباتات و البكتيريا لديها الأنزيمات لتشكيل الفيتامين، أما نحن البشر فنحصل على الفيتامينات من خلال أكل النباتات و اللحوم الحيوانية العاشبة(WIDMAIER et al., 2011).

الفيتامينات هي أقسام ليس لها بنية كميائية موحدة، لكن يكمن تصنيفها إلى **الفيتامينات الذائبة في الماء water-soluble vitamins** و **الفيتامينات الذائبة في الدهون fat-soluble vitamins**، فالفيتامينات الذائبة في الماء تكون أجزاء من مرافقات الأنزيمات كالـ **NAD** و **FAD** و **مر افق الإنزيم-أ coenzyme A**، و أما الفيتامينات الذائبة في الدهون (**أ/ A**، **د/ D**، **ك/ k**) فهي عموما لها دور مرافقات الأنزيمات، فعلى سبيل المثال الفيتامين **أ Vitamin A** (الريتينول Retinol) يستعمله الجسم لتكوين صباغ تحسس الضوء في العين، و نقصه يؤدي إلى العمى الليلي night blindness (WIDMAIER et al., 2011, p. 91)

هدم الفيتامينات لا ينتج طاقة كميائية بالرغم من أن بعض الفيتامينات تساهم كمرافقات للأنزيمات في طرق إنتاج الطاقة، كما أن الجسم لا يحتاج إلى كميات كبيرة من الفيتامينات (WIDMAIER et al., 2011)، فعلى سبيل المثال يحتاج الجسم إلى حوالي 350 غ (12 أوقية Oz) من الفيتامنات سنويا، و التي يمكن إستخلاصها من 862 كلغ (1896 رطل lb) مستهلكة من طرف شخص بالغ متوسط البنية.(William D. McArdle, Frank I. Katch, 2009, p. 47)

ولها أدوار عدة حسب كل فيتامين كما سيأتي في الجدول التالي، و قد تتلخص فيما يلي:

- تساهم في إنتاج كريات الدم والهرمونات والأعصاب .
- تبطل مفعول العناصر السامة بفضل خصائصها المضادة للتأكسد.
- تساعد في إعادة بناء الأنسجة إذ تدخل في تركيب بعض أغشية الخلايا .
- تزيد من مناعة الجسم والوقاية من الأمراض .
- ضرورية جدا لنمو الخلايا وعمل الأعضاء .
- تساعد في تأخير علامات الشيخوخة والوقاية من أمراض القلب ومنع ظهور بعض أنواع السرطانات أو التخفيف من حدتها.



الشكل 63: الفيتامينات المرتبطة بوظائف الجسم

و يمكن إعطاء صورة إجمالية لمنابع الفيتامينات و دورها حسب الشكل التالي:



الصورة15 : مختصر لأهم الفيتامينات الضرورية للجسم ومنابعها الغذائية.

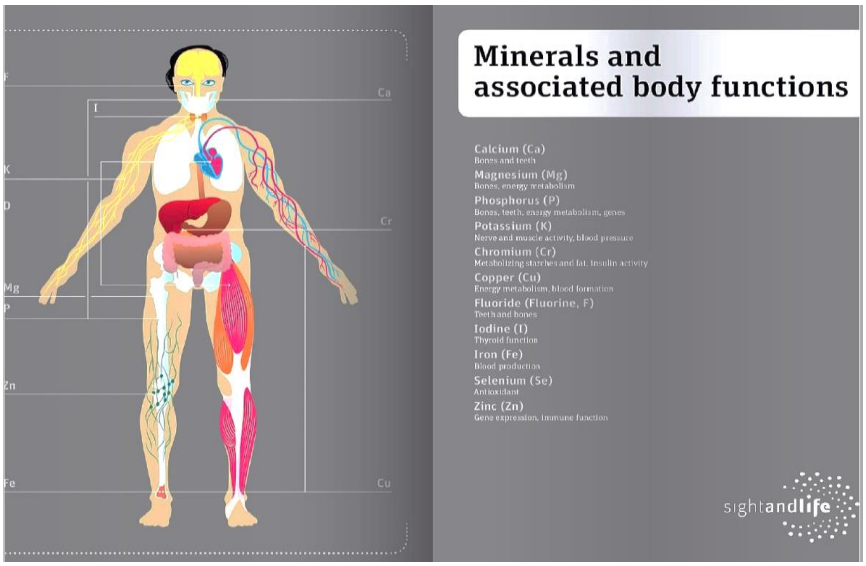
17. الأملاح المعدنية:

تعتبر الأملاح المعدنية في الغذاء مركبات غير عضوية، والتي تعمل مع مغذيات أخرى للحفاظ على وظائف الجسم بشكل صحيح، حيث أن جسم الانسان ليس له القدرة على تركيبها، بل يتحصل عليها عن طريق الغذاء.

كمية لأملاح المعدنية التي يحتاج إليها الجسم ضئيلة – 4% من مجمل كتلة الجسم، وهاته التي يحتاجها بكميات قليلة تتمثل في: البوتاسيوم، الصوديوم، الكالسيوم، الفوسفور، المنغنيزيوم، الكلوريد.

الأملاح المعدنية الأكثر انتشارا في الجسم هي الكالسيوم و الفوسفور، و كلاهما يخزنان في الهيكل العظمي و مهمان في صلابة العظام، كما أن معظم الاملاح المعدنية عبارة عن شوارد، و خاصيتها الشاردية تستعمل في العمليات الفيسيولوجية في كل مكان في الجسم، أما أيونات الصوديوم والكلوريد فهي نواقل كهربائية (كهرل أو إلكتروليت electrolytes) في الدم و في الأنسجة الخارج- خلوية، و أيونات الحديد عناصر حاسمة في تكوين الهيموغلوبين، كما أنه يوجد زخ من الأملاح المعدنية لها أهمية في وظائف الجسم، لكنه يحتاج إليها بشكل جد ضئيل(Betts & Dsaix, 2013, p. 1191).

مثل الفيتامينات، فإن الأملاح المعدنية يمكن استهلاكها بكميات مسمة (ما هو نادر)، حيث أن الغذاء الصحي يتضمن مجمل الأملاح المعدنية الضرورية للجسم، إلا نظام الأكل و المكملات الغذائية قد تتسبب في خلق مستويات تسمم بالأملاح المعدنية.



الشكل 64: الأملاح المعدنية المرتبطة بوظائف الجسم.

18. الهرمونات:

أي مادة مشـــكلة بكميات قليلة في عضـــو معين أو في مجموعة من الخلايا، و التي تنقل (في كثير من الحالات عبر الدم) إلى أعضـــاء أخرى أو إلى مجموعة من الخلايا في الجســـم الواحد، التي لديها عمل تنظيمي معين ("Oxford Dictionary of Biochemistry and Molecular Biology (TIBS)," 1998, p. 318)

تساعد على تنسيق النشاطات الأيضية بين العديد من الأنسجة و أعضاء الجسم، فعمليا كل عملية في الكائن الحي تنظم من قبل هرمون أو من العديد منها: الحفاظ على ضـــغط الدم، حجم الدم، و توازن النواقل الكهربائية، الفوارق الجنســية، النمو و التكاثر؛ الجوع، عادات الأكل، تخصـيص منابع الطاقة – و هذا على سبيل المثال لا الحصر (Lehninger, A. L., Nelson, D. L., & Cox, 2009, p. 929).

18.4 مكونات الجهاز الهرموني:

يتكون جهاز الغدد الصـــماء من ســـبعة (7) غدد لكل جنس من ذكر أو أنثى، ومن ثمانية (8) غدد لجنس البشر (Lehninger, A. L., Nelson, D. L., & Cox, 2009)، أهمها الغدتين التي تقعان في الدماغ، وهما **الغدة تحت المهاد (Hypothalamus Gland)** و**الغدة النخامية (Pituitary Gland)**، حيث يتحكمان في جميع الغدد و تنطلق منهما جل محاور الإفراز الهموني في الجســـم، كما أن لهما تنســـيق كبير بين الدماغ لوجود اتصالات عصبية مباشرة مركز الجهاز العصبي.

يليهما الغدتين **الدرقية والجار درقية (Thyroid and Parathyroid Glands)**، التي تقعان محميتان خلف البلعوم، ويقع تحت الكبد **غدة البنكرياس (Pancreas Gland)**، أما الغدة الكظرية **(Adrenal Glands)** فهي زوج من الغدد يقع فوق الكليتين، ويوجد عند الجنس الذكور الخصـــيتني **(Teste Glands)** كغدة تتكاثر يقابلها المبيضين عند جنس الإناث **(Ovarie Glands)**.

ورغم وجود إفرازات أخرى هرمونية أخرى في الجسم من طرف أنسجة أو غدد، لكنها إما أن يكون الإفراز تنبيه هرمون من خلايا غير غدية من هرمون اللبتين Leptin من النسيج الدهني، أو من غدة إفارزها خارج الدورة الدموية في اللعاب، الدموع في العين والعرق في الجلد.

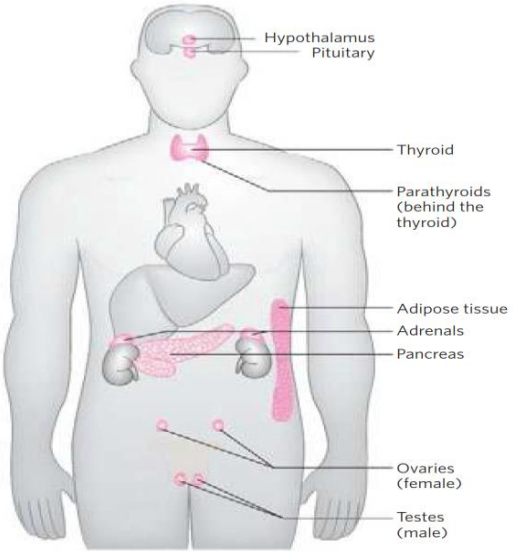


FIGURE 23–6 The major endocrine glands. The glands are shaded pink.

الصورة 16:الموقع التشريحي لمكونات جهاز الغدد الصماء

18.5 تصنيف الهرمونات Hormones classification:

تصنف الهرمونات من خلال بنيتها الكميائية الخاصة (Poortmans & Boisseau, 2003, p. 289)، و لذلك نميز:

1. **الهرمونات المتعددة البيبتد Polypeptide hormones**، مثل هرمون النمو، هرمونات الهضم والبنكرياس، هرمونات الغدة النخامية والغدة تحت المهاد أو الوطاء.
2. **هرمونات مشتقة من الأحماض الآمنية**، مثل النواقل العصبية، و هرمونات الغدة الدرقية.
3. **هرمونات ستيرويدية مشتقة من الكولستيرول**، مثل الهرمونات الجنسية المفرزة من الكبسولة الكضرية.
4. **هرمونات مشتقة من حمض الأراشيدونيك**، مثل البروستاغلاندينات prostaglandins، اللوكوترايينات Leukotrienes.

18.6 أنواع الإفرازات الهرمونية:

1. **الإفرازات ذاتي Autocrine secretion**: يأثر الهرمون مباشرة في الغدة (مثل بعض البروستاغلاندينات على بطانة الرحم، الأنسولين على البنكرياس...).

2. **الإفرازات النظيرة الصماء Paracrine secretion**: يأثر الهرمون في المساحة الداخل خلوية لنفس النسيج (مثل الأنسولين يثبط إفراز الغلوكاغون).
3. **الإفرازات العصبية Neurocrine secretion**: يأثر الهرمون في الخلايا العصبية المحيطة (مثل الغوندوتروفين على الغدة النخامية).

19. محاور الإفراز الهرموني وخصائصه:

كل الإفرازات الهرمونية تمر على محور الغدتين الدماغيتين وهما الغدة تحت المهاد والغدة النخامية، وذلك ليصل هذا الأمر الكميائي إلى غدة أخرى من الغدد الصماء أو إلى عضو أو نسيج معين محدد فطريا.

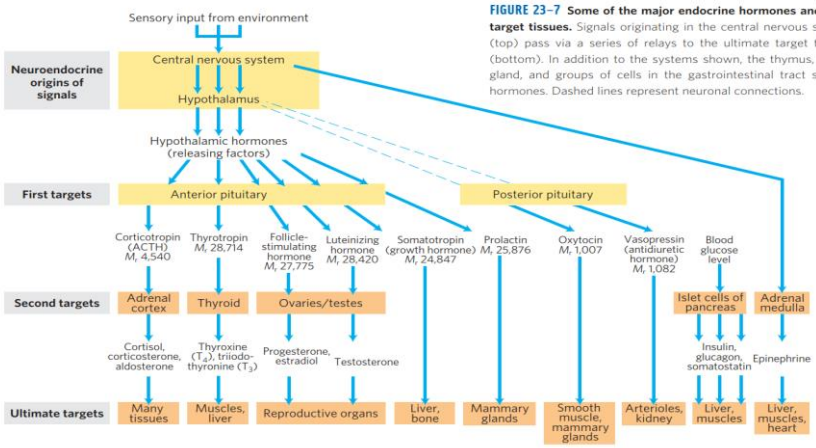


FIGURE 23–7 Some of the major endocrine hormones and their target tissues. Signals originating in the central nervous system (top) pass via a series of relays to the ultimate target tissues (bottom). In addition to the systems shown, the thymus, pineal gland, and groups of cells in the gastrointestinal tract secrete hormones. Dashed lines represent neuronal connections.

المخطط 1: أهم هرمونات الجهاز الغدي وأهدافها

19.4 بعض الهرمونات: غدتها المفرزة وأهدافها و أثرها.

	المركب	الاسم	الاخت صار	النسيج	الخلية	المستق بلات	الانسج ة المستهد فة	التأثير
1	أمين - التربتوفان	ميلاتونين-5-(N-acetyl methoxytryptamine)	MT	الغدة الصنوبرية	الخلية الصنوبرية			مضاد تأكسد وتسبب النعاس
2	أمين - التربتوفان	سيروتونين	5-HT	الجهاز العصبي المركزي (CNS) ,الجهاز الهضمي	خلية الكرومافينية الداخلية [الانتيروبة]			ضبط المزاج، والشهية، والنوم
3	أمين -التيروسين	ثيروكسين أو (رباعي يودوثيرونين)) هرمون الغدة الدرقية(	T4	الغدة الدرقية	خلاية الغدة الدرقية الطلائية	مباشرة		تأثيرقليل من هرمون الغدة الدرقية : زيادة معدل الأيض الأساسي والحساسية للالكاتيكولامينات، يؤثرعلى إنتاج البروتين
4	أمين - التيروسين	ثلاثي يودوثيرونين) هرمون الغدة الدرقية(	T3	الغدة الدرقية	خلاية الغدة الدرقية الطلائية	مباشرة		تأثيرقوي من هرمون الغدة الدرقية : زيادة معدل الأيض الأساسي والحساسية للالكاتيكولامينات، يؤثرعلى إنتاج البروتين
5	أمين - التيروسين (الكاتيكول امين)	أبيينفرين (او الأدرينالين(	EPI	لب الكظر	خلية الكرومافين			الاستجابة للكروالفر : يعزز إمدادات الأوكسجين والجلوكوز إلى المخ والعضلات (عن طريق زيادة معدل ضربات القلب والسكتة الدماغية، توسع الأوعية، تحفيز زيادة الجليكوجين في الكبد، توزيع الدهون في الخلايا الدهنية، توسع بؤبؤ العين، قمع الحالات الجسدية الغيرطارنة (كالهضم) ,قمع نظام المناعة.
6	أمين - التيروسين (الكاتيكول امين)	نورإبينفرين) او نورأدرينالين(	NRE	لب الكظر	خلية الكرومافين			الاستجابة للكروالفر : يعزز إمدادات الأوكسجين والجلوكوز إلى المخ والعضلات (عن طريق زيادة معدل ضربات القلب والسكتة الدماغية، انقباض الأوعية وزيادة ضغط الدم، توزيع الدهون في الخلايا الدهنية، توسع بؤبؤ العين، قمع الحالات الجسدية الغيرطارنة (كالهضم) ,قمع نظام المناعة، زيادة استعداد العضلات الهيكلية.
7	أمين - التيروسين (الكاتيكول امين)	دوبامين)هرمون تثبيط البرولاكتين(	DPM, PIH or DA	الكلى , الوطاء	خلايا الكرومافين في الكلى الخلايا العصبية الدوبامين من النواة المقوسة تحت المهاد			زيادة معدل ضربات القلب، وضغط الدم كبح تحرير البرولاكتين و الهرمون المطلق لموجبة الدرقية من الغدة النخامية الأمامية.

8	ببتيد	هرمون انتي مولر [الانجليزية])عامل تثبيط هرمون مولر(	AMH	الخصيتين	خلية سيرتولي			كبح تحرير البروجاكتين و الهرمون المطلق لموجهة الدرقية من الغدة النخامية الأمامية
9	ببتيد	ادبيونيكتين	Acrp30	الأنسجة الدهنية				
10	ببتيد	الهرمون الموجه لقشر الكظر أو (الموجهة القشرية)	ACTH	النخامية الأمامية	خلية الموجه القشري [الانجليزية]	cAMP		تكوين الكورتيزون (جلايكورتيكود والأندروجين) في الخلايا القشرية الكظرية
11	ببتيد	أنجيوتينسينوجين و أنج يوتنسين	AGT	الكبد		IP3		الافراج عن تضيق الأوعية للألدوستيرون من القشرة الكظرية ومسبب للعطش.
12	ببتيد	فازوبرسين أو انتيديورتك (الهرمون المضاد لإدرار البول)	ADH	النخامية الخلفية	خلايا الإفراز العصبية الصغيرة في الوطاء خلايا الإفراز العصبية الكبيرة في الغدة النخامية الخلفية	varies		احتباس الماء في الكليتين، معتدل تضيق الأوعية الافراج عن (هرمون موجه لقشرة الكظر) في الغدة النخامية الأمامية
13	ببتيد	البيتيد الأذيني الطارح للصوديوم) او اتروبيتيد(	ANP	القلب		cGMP		
14	ببتيد	كالسيتونين	CT	الغدة الدرقية	الخلية المجاورة للجريب [الانجليزية] او) خلية C)	cAMP		بناء العظام، والحد من الكالسيوم في الدم
15	ببتيد	كوليسيستوكينين	CCK	الاثنا عشري				"الافراج عن الإنزيمات الهضمية من البنكرياس الافراج عن عصارة المرارة القامع للجوع"
16	ببتيد	الهرمون المحرر لموجهة القشرة	CRH	الوطاء او تحت المهاد		cAMP		الافراج عن) هرمون موجه لقشرة الكظر (من النخامية الأمامية
17	ببتيد	إريثروبويتين	EPO	الكلى	الخلايا المسراقية للكبيبات الاضافية [الانجليزية]			تحفيز إنتاج كرات الدم الحمراء
18	ببتيد	هرمون محفز للجريب	FSH	النخامية الأمامية	خلية موجبة للغدد التناسلية	cAMP		في الأنثى : يحفز نضج حويصلات غراف في المبيض. في الذكر : الحيوانات المنوية، ويعزز إنتاج بروتين الاندروجين ملزم من قبل خلايا سيرتولي في الخصيتين.

19	ببتيد	جاسترين	GRP	المعدة , الإثنا عشري	خلايا G			إفراز حمض المعدة بواسطة الخلايا الجدارية
20	ببتيد	الغريلين		المعدة	خلايا P/D1			تحفيز الشهية، و إفراز هرمون النمو من الغدة النخامية الأمامية
21	ببتيد	غلوكاغون	GCG	البنكرياس	خلايا الفا	cAMP		تحلل الغليكوجين واستحداث السكر في الكبد يزيد مستوى السكر في الدم
22	ببتيد	الهرمون المحرر لموجهة الغدد التناسلية	GnRH	الوطاء او تحت المهاد		IP3		الافراج عن) الهرمون المنبه للجريب (و (LH) من الغدة النخامية الأمامية.
23	ببتيد	الهرمون المحرر لهرمون النمو	GHRH	الوطاء او تحت المهاد		IP3		الافراج (GH) من الغدة النخامية الأمامية
24	ببتيد	هرمون موجهة القند المشيمانية) هرمون الحمل(	hCG	المشيمة	خلايا الأرومة الغاذية المخلوية	cAMP		تشجيع الحفاظ على الجسم الأصفر أثناء بداية الحمل وتمنع استجابة المناعة، من اجل الأجنة البشرية.
25	ببتيد	اللاكتوجين المشيمي البشري	HPL	المشيمة				زيادة إنتاج الإنسولين وعامل النمو شبيه الانسولين-1 زيادة مقاوم الانسولين وحساسية الكربوهيدرات.
26	ببتيد	هرمون النمو	GH or hGH	النخامية الأمامية	سوماتوتروب			تحفيز نمو وتكاثر الخلايا الافراج عن عامل النمو الشبيه بالانسولين 1 (IGF-1) من الكبد.
27	ببتيد	انهبين		الخصيتين , المبيضان, الجنين الحي	خلايا سيرتولي من الخصيتين الخلايا الحبيبية في الخلايا الاكلة بالمبيض في الجنين	النخامية الأمامية		تثبيط إنتاج الهرمون المنبه للجريب(FSH)
28	ببتيد	إنسولين	INS	البنكرياس	خلايا بيتا	تيروزين كيناز		إمتصاص الجلوكوز، تكون الغليكوجين والتحلل السكري للدم في الكبد والعضلات إمتصاص الدهنيات و تكوين الجليسريدات الثلاثية في الخلايا الدهنية و آثار ابتنائية أخرى.
29	ببتيد	عامل النمو شبيه الانسولين)سوماتوميدين(	IGF	الكبد	خلايا الكبد	تيروزين كيناز		يؤثر الشبيه بالإنسولين في تنظيم تكاثر الخلايا وتطورها.
30	ببتيد	لبتين	LEP	الأنسجة الدهنية				خفض الشهية وزيادة التمثيل الغذائي.
31	ببتيد	هرمون اللوتنين	LH	النخامية الأمامية	خلية موجهة للغدد التناسلية	cAMP		في الأنثى :الإباضة في الذكر : يحفز خلايا لايديغ لإنتاج التستوستيرون.
32	ببتيد	هرمون المحفز للخلايا الميلانية [الانجليزية]) الصبغية(	MSH or α-MSH	النخامية الأمامية , الجزء الأوسط	ميلانوتروب [الا نجليزية]	cAMP		تكون الميلانين بواسطة الخلايا الصباغية في الجلد والشعر.
33	ببتيد	أوركسين		الوطاء او تحت المهاد				تنبيه وزيادت استهلاك الطاقة، زيادة الشهية.
34	ببتيد	أوكسيتوسين	OXT	النخامية الخلفية	خلايا الإفراز العصبية كبير الخلايا	IP3		يزيد تدفق حليب الام ويقلص عنق الرحم والمهبل يشارك في هزة الجماع، يزيد الثقة بين الناس.[1] وتوازن الساعة البيولوجية (درجة حرارة الجسم، ومستوى النشاط، اليقظة)

35	ببتيد	هرمون الدريقات أو باراثورمون	PTH	الغدة الدريقية	الخلايا الرئيسية للغدة الدريقية	cAMP		زيادة الكالسيوم بالدم: تنشيط الخلايا الآكلة أوستيوكلاست بشكل غير مباشر – اعادة امتصاص الكالسيوم في الكلى – تنشيط فيتامين دي – خفض الفوسفات بالدم (قليلا): – تقليل إعادة الامتصاص في الكلى ولكن يزداد الامتصاص من العظام – تنشيط فيتامين دي.
36	ببتيد	بروﻻكتين) هرمون الحليب(	PRL	النخامية الأمامية ,الرحم	خلية موجية لبنية من الغدة النخامية الأمامية الخلايا الساقطة للرحم			إنتاج الحليب في الغدد الثديية المتعة الجنسي بعد ممارسة الجنس.
37	ببتيد	ريلاكسين	RLN	الرحم	الخلايا الساقطة			يساهم في استرخاء عضلات الحوض للحامل تمهيدا للولادة.
38	ببتيد	سكريتين	SCT	الاثنا عشري	خليةS			إفراز البيكربونات من البنكرياس ,الكبد وغدد برونر في الاثني عشر. يعزز آثار الكولسيستوكينين يوقف إنتاج العصارة المعدية.
39	ببتيد	سوماتوستاتين	SRIF	الوطاء او تحت المهاد ,جزر لانغرهانس, الجهاز البضمي	خلايا دلتا [الانجليزية] في جزر خلايا الغدد الصم العصبية لنواة المحيطة بالبطين في تحت المهاد			يثبط افراز هرمون النمو وهرمون مطلق لموجية الدرقية من النخامية الأمامية. كبح اطلاق هرمون جاسترين، كولسيستوكينين(CCK) ، سيكريتين، المو تيلين [الانجليزية] ، البيتيد المعوي الفعال في الأوعية [الانجليزية](VIP) ، عديد الببتيد المعدي المثبط(GIP) ، غلوكاغون المعوي في الجهاز البضمي. يخفض معدل التفريغ المعدى ويقلل من تقلصات العضلات الملساء وتدفق الدم في الأمعاء. يثبط افراز الهرمونات البنكرياسية ويمنع اطلاق الانسولين عندما يتم تحرير السوماتوستاتين من خلايا دلتا. يثبط افراز الغلوكاغون من خلايا ألفا يمنع الغدد خارجية الافراز في البنكرياس.
40	ببتيد	ترومبوبيوتين	TPO	الكبد , الكلى , العضلا ت المخططة	الخلية العضلية	خلية نواء		إنتاج الصفائح الدموية

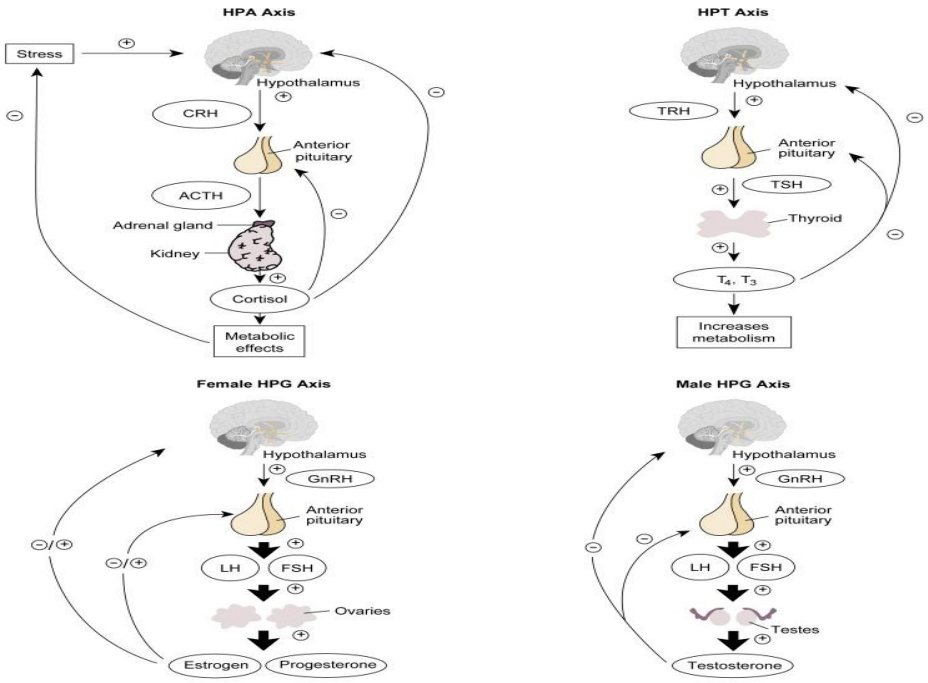
الجدول 9: بعض الهرمونات المفرزة في الجسم؛ أسماؤها؛ غددها المفرزة؛ أهدافها؛ تأثيرها.

19.5 تعديل الإفراز الهرموني:

للحفاظ على توازن الجسم والاستجابة بشكل مناسب للتغيرات في الجسم ، يجب التحكم القوي في إنتاج الهرمونات وإفرازها، وتحقيق هذا التحكم لا يتم بتنظيم العديد من وظائف الجسم بواسطة هرمون واحد فقط، بل يكون بواسطة تدخل عدة هرمونات ينظم بعضها البعض.

بالنسبة للعديد من أنظمة الهرمونات، يفرز الوطاء ما يسمى بالهرمونات المطلقة Released Hormones، والتي يتم نقلها عبر الدم إلى الغدة النخامية، وهناك تحفز الهرمونات المطلقة إنتاج وإفراز هرمونات الغدة النخامية، والتي بدوره عن تنقل طريق الدم إلى الغدد المستهدفة (على سبيل المثال ، الغدد الكظرية ، الغدد التناسلية ، أو الغدة الدرقية)، وفي تلك الغدد يؤدي تفاعل هرمونات الغدة النخامية مع الخلايا المستهدفة الخاصة بها إلى إطلاق الهرمونات التي تؤثر في النهاية على الأعضاء التي تستهدفها سلسلة الهرمونات (الأعضاء الحيوة كالقلب والرئتين وغيرهما، أو جميع أنواع الأنسجة في الجسم).

تضمن التغذية الراجعة المستمرة من الغدد المستهدفة إلى الوطاء والغدة النخامية ببقاء نشاط النظام الهرموني اللازم ضمن الحدود المناسبة، وهكذا في معظم الحالات توجد آليات ردود فعل سلبية تؤثر من خلالها الهرمونات التي تفرزها الغدد المستهدفة على الغدة النخامية و / أو الوطاء (Stark & Walter, 2011).



المخطط 2: التغذية الراجعة لتعديل الافراز الهرموني زيادة أو نقصانا أو توقيفا لثلاثة محاور إفرازية.

- *محور الغدد تحت المهاد-النخامية-الكظرية Hypothalamus-Pitruitary-Adrenal (ت ن ك HPA).*
- *محور الغدد تحت المهاد-النخامية-الدرقية Hypothalamus-Pitruitary-Thyroid (ت ن د HPT).*
- *محور الغدد تحت المهاد-النخامية-الجنسة Hypothalamus-Pitruitary-Genetic (ت ن ج HPG).*

NOTE: = stimulates; = inhibits; ACTH = adrenocorticotropic hormone; CRH = corticotropin-releasing hormone; FSH = follicle-stimulating hormone; GnRH = gonadotropin-releasing hormone; HPA = hypothalamic-pituitary-adrenal; HPG = hypothalamic-pituitary-gonadal; HPT = hypothalamic-pituitary-thyroid; LH = luteinizing hormone; T3 = triiodothyronine; T4 = thyroxine; TRH = thyrotropin-releasing hormone; TSH = thyroid-stimulating hormone.

19.6 طرق تأثير الهرمونات على الخلية البشرية:

تأثر الرسالة الهرمونية أو الهرمون على مستوى المستقبلات الخاصة بها في منطقتين من الخلية البشرية، إما على مستوى المستقبلات الموجودة على مستوى غشاء الخلية، أو داخل الخلية على مستوى الهيولة أو الميتوكندري أو نواة الخلية، علما أن نوعية الاستجابة الخلوية للهرمون طردية مع عدد المستقبلات، حيث يتراوح عدد المستقبلات الغشائية بين 200 إلى 1000000 مستقبل غشائي (Poortmans & Boisseau, 2003).

تعتبر المستقبلات الغشائية خاصة بالهرمونات البيبتدية، أما المتوجدة خلف الغشاء الخلوي في داخل الخلية خاصة بالهرمونات الدهنية، وأغلبها تحفز الخلية لعملية البناء البروتيني داخل الخلية.

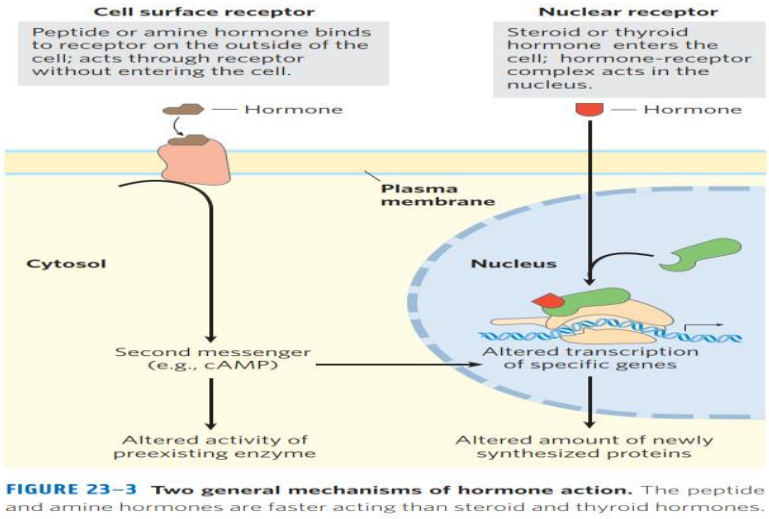


FIGURE 23–3 Two general mechanisms of hormone action. The peptide and amine hormones are faster acting than steroid and thyroid hormones.

الشكل 65: أنواع المستقبلات الهرمونية في الخلية البشرية.

19.7 تأثير التمرين البدني على مستويات تركيز الهرمونات:

1. التركيزات البلازمية للنورأدرينالين هي أحسن مؤشر للنشاط العصبي للجهاز العصبي الودي، حيث يرتفع طرديا مع شدة الجهد البدني.
2. تغيرات النورأدرينالنين و الأدرينالين متعلقة كذلك بمدة التمرين البدني و بوضعية الجسم (الجهد البدني واقفا> الجهد البدني مستلق)، و بنوع الجهد (تقلص ثابت>تقلص بليومتري)، و بوفرة الأكسجين (في حالة نقصه > في حالة توفره العادي)، بوفرة الجلوكوز (السكريات تثبط الكاتيكولأمينات).

3. تنخفض تركيزات الكاتيكولأمينات البلازمية Plasmatic catecholamines عند توقف التمرين البدني بشكل سريع، سبب توقف التحفيز النظام الودي-الكظري Sympathoadenal system .
4. الأدرينالين Adrenaline ينشط فسفرة الجليكوجين الكبدي، و بالتالي يحرر الجلوكز.

عند الانسان دور الأدرينالين في بناء الجليكوجين العضلي محدودة خلال التمرين البدني، و تحفيز مستقبلات الأدرنالين **β –أدرينرجيك β-adrenergic** على مستوى الخلايا، مما يحفز عملية هدم الدهون على مستوى الأنسجة الدهنية أثناء التمرين البدني، و التدريب الهوائي يخفض من الاستجابة الأدرينرجية خلال تمرين بدني متوسط الشدة.

5. المحور رنين-أنجيوزين-ألدوسترون يحفز عند التمرين البدني، و ارتفاع تركيزته (أو النشاط الأنزيمي) البلازمي طردي مع شدة التمرين البدني، و تغيرات تركيزه متعلقة أيضا مع مدة التمرين البدني (التمرين الطويل المدى > التمرين القصير المدى)، و بوضعية الجسم (الجهد البدني واقفا> الجهد البدني مستلق)، و بالارتفاع (في حالة نقصه > في حالة توفره العادي).

إفراز الألندوسترون Andosterone في حالة التمرين البدني مسؤولة على إعادة إمتصاص كبير للصوديوم و الماء.

6. التركيز البلازمي لهرمون المضاد للإدرار Antidiuretic hormone (ADH) يرتفع طرديا مع شدة التمرين، و الإستجابة لتحفيز الـ ADH مقبدة بإرتفاع الضغط الأسموزي الناجم عن مدة و شدة التمرين البدني، و إنتاج الـ ADH من طرف الغدة النخامية مسؤول على خفض التدفق البولي.
7. يبقى التركيز البلازمي لهرمون الإرتروبروتين Erythroprotein hormone (EPO) ثابت، ولا يلاحظ تأثير المرتفعات، و ما يترتب عليه من نقص الأكسجين على إنتاج الـ EPO.
8. ينخفض مستوى تركيز الأنسولين مع زيادة حجم و شدة التمرين البدني، وهذا الانخفاض عند الانسان متعلق أساسا بالانخفاض المؤقت لمستوى السكر في الدم، و بشكل ثانوي لتحفيز المستقبلات **β** في جزر لانجرهنس **Langerhans islands β**، و هذا الانخفاض الأنسوليني يعوض بزيادة حساسية المستقبلات الخلوية الأنسولينية.

يترتب على هذا الاخفاض أيضا، تحفيز عملية بناء الجلوكوز الكبدي وتعبئة أحماض النسيج الدهني الدهنية الغير مؤسترة، و أما الارتفاع السريع لمستوى تركيز الأنسولين في الدم بمجرد توقف التمرين البدني يرجع إلى توقف النشاط الشديد لمحور النظام الودي-الكظري Sympathoadenal system ، علما أن التدريب بغالبية النظام الهوائي تزيد من حساسية الخلايا للأنسولين.

9. يرتفع مستوى الجلوكاجون Glucagonemia خلال التمرين البدني مع انخفاض مستوى السكر في الدم، مما يحفز إعادة بناء الجلوكوز Gluconeogenesis.
10. التمرين البدني العالي الشدة (> 40% من VO_2 max) و الطويل (>45) يرفع من تركيز هرمون النمو Growth hormone (GH)، و عودة قيمه القاعدة يكون بطيئا جدا، و يعمل GH عن طريق التحرير الكبدي و العضلي لهرمون الأنسولين- الشبيه بعامل النمو-11 Insuline-like growth factor

(IGH-1)، و خلال التمرين البدني يقول GH و IFG1 يتعبئة الاحماض الدهنية الغير مؤســـترة من الأنسجة الدهنية.

المراجع:

1. Betts, G., & Dsaix, P. (2013). Anatomy & Physiology vol 2. In *Anatomy & Physiology*. Retrieved from http://cnx.org/content/col11496/latest/.
2. Contributors, W. (2020). Food energy. In *Wikipedia*. Wikipedia, The Free Encyclopedia.
3. Contributors, W. (2021). أدينوسين_ثلاثي_الفوسفات.pdf. In *Wikipedia*. https://doi.org/1000645142
4. Dulloo, A. G. (1997). Human pattern of food intake and fuel-partitioning during weight recovery after starvation: a theory of autoregulation of body composition. *Proceedings of the Nutrition Society*, *56*(1A), 25–40. https://doi.org/10.1079/PNS19970007
5. *Inclusion (cell).* (2006). *1*, 3–4.
6. Kennedy, C. (2007). Adenosine triphosphate. *XPharm: The Comprehensive Pharmacology Reference*, 1–7. https://doi.org/10.1016/B978-008055232-3.61170-5
7. Lehninger, A. L., Nelson, D. L., & Cox, M. M. (2009). *Principles of Biochemistry Lehninger Sixth edition*.
8. MacLaren, D., & James, M. (2012). *Biochemistry for Sport and Exercise Metabolism* (John Wiley).
9. Oxford Dictionary of Biochemistry and Molecular Biology (TIBS). (1998). *Trends in Biochemical Sciences*, Vol. 23, p. 468. https://doi.org/10.1016/S0968-0004(98)01321-8
10. Peroxysome. (2021). In *Wikipédia* (p. : http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Peroxy).
11. Poortmans, J. R., & Boisseau, N. (2003). *Biochimie des activités physiques et sportives* (2ème éditi). Bruxelles.
12. Reynisdottir, S., & Hellstro, L. (2000). *In ¯uence of heredity for obesity on adipocyte lipolysis in lean and obese subjects*.
13. Sridharan, S., Kurzawa, N., Werner, T., Günthner, I., Helm, D., Huber, W., … Savitski, M. M. (2019). Proteome-wide solubility and thermal stability profiling reveals distinct regulatory roles for ATP. *Nature Communications*, *10*(1), 1–13. https://doi.org/10.1038/s41467-019-09107-y
14. Stark, C., & Walter, J. (2011). The Endocrine System. *The Minipig in Biomedical Research*, 277–282. https://doi.org/10.1201/b11356-22
15. TALBOT, N. B., RICHIE, R. H., CRAWFORD, J. D., & TAGRIN, E. S. (1961). Lihninger principales of biochemistry. In *The American Journal of the Medical Sciences* (Vol. 241). https://doi.org/10.1097/00000441-196103000-00041
16. Theillet, F. X., Binolfi, A., Frembgen-Kesner, T., Hingorani, K., Sarkar, M., Kyne, C., … Selenko, P. (2014). Physicochemical properties of cells and their effects on intrinsically disordered proteins (IDPs). *Chemical Reviews*, Vol. 114, pp. 6661–6714. https://doi.org/10.1021/cr400695p
17. Watts, M. E., Pocock, R., & Claudianos, C. (2018). Brain energy and oxygen metabolism: Emerging role in normal function and disease. *Frontiers in Molecular Neuroscience*, *11*(June), 1–13. https://doi.org/10.3389/fnmol.2018.00216

18. WIDMAIER, E. P., RAFF, H., MEDICAL, & STRANG, K. T. (2011). *VANDER ' S Human Physiology THE MECHAN I SMS OF BODY F UNC TION* (THIRTEENTH).
19. Wikipedia contributors. (2020). Biological organisation. In *Wikipedia, The Free Encyclopedia* (pp. 1–5). Wikipedia, The Free Encyclopedia.
20. Wikipedia contributors. (2021). Myoglobin. In *Wikipedia* (Vol. 3916). https://doi.org/1002477200
21. William D. McArdle, Frank I. Katch, V. L. K. (2009). *Sports and exercise nutrition* (3rd ed.; a W. K. business. 351 Lippincott Williams & Wilkins, Ed.). Philadelphia.