



وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة محمد خيضر - بسكرة



معهد علوم وتقنيات النشاطات البدنية والرياضية
قسم التدريب الرياضي

محاضرات في مقياس

بيوكيمياء عامة

المستوى الدراسي: السنة الأولى ليسانس جذع مشترك (السداسي الأول)
ميدان: علوم وتقنيات النشاطات البدنية والرياضية.

إعداد: الدكتور عادل دخية

البريد الإلكتروني: adel.dakhia@univ-biskra.dz

1. معلومات عامة حول المقياس:

عنوان المقياس: الكيمياء الحيوية.

طبيعة المقياس: محاضرة.

الفئة المستهدفة: طلبة السنة الأولى ليسانس جذع مشترك.

ميدان: علوم وتقنيات النشاطات البدنية والرياضية.

الوحدة التعليمية: أساسية.

المدة: 14 أسبوعاً (42 ساعة).

المعامل: 02.

الرصيد: 03.

الأهداف التعليمية:

- فهم الأسس العلمية للكيمياء الحيوية من حيث تركيب ووظائف الجزيئات الحيوية الأساسية في الجسم (السكريات، الدهون، البروتينات، الهرمونات).
- التعرف على مسارات إنتاج الطاقة في الجسم (الهوائية واللاهوائية) وأهميتها في دعم مختلف أشكال النشاط البدني.
- الربط بين الكيمياء الحيوية والتغذية الرياضية، من خلال دراسة دور الفيتامينات والمعادن في دعم الأداء البدني والتفاعلات الحيوية.
- تطبيق المعارف البيوكيميائية في المجال الرياضي لتحسين الأداء البدني، والوقاية من التعب، وتصميم برامج تدريبية غذائية مدروسة.

المعارف القبلية المطلوبة:

- ❖ معرفة أساسية بمفاهيم علوم الحياة والبيولوجيا العامة، خصوصاً تركيب الخلية، مكوناتها، ووظائفها الحيوية.
- ❖ الإلمام بالمفاهيم الأساسية للكيمياء العامة مثل الذرة، الروابط الكيميائية، الجزيئات، و pH
- ❖ القدرة على قراءة المصطلحات العلمية وفهم اللغة العلمية باللغتين العربية والأجنبية بما يسمح بمتابعة الدروس وفهم المصطلحات البيوكيميائية.

طريقة التقييم:

تقييم مستمر + امتحان نهائي.



فهرس المحتويات

المحاضرة الأولى: مدخل إلى علم الكيمياء الحيوية

| | |
|--------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| 01 | 1.مدخل مفاهيمي |
| 02 | 2.تعريف علم الكيمياء الحيوية |
| 03 | 3.التطور التاريخي لعلم الكيمياء الحيوية |
| 03 | 1.3. القرن التاسع عشر: البدايات المبكرة |
| 04 | 2.3. القرن العشرون: مرحلة التأسيس والنضج |
| 04 | 3.3. القرن الحادي والعشرون: البيولوجيا الجزيئية وعلم الجينوم |
| 04 | 4.فروع علم الكيمياء الحيوية (Biochemistry Branches) |
| 05 | 1.4.الكيمياء الحيوية الوظيفية (Functional Biochemistry) |
| 05 | 2.4.الكيمياء الحيوية البنوية (Structural Biochemistry) |
| 05 | 5.أهمية الكيمياء الحيوية في ميدان علوم وتقنيات النشاطات البدنية والرياضية |
| 05 | 1.5.فهم إنتاج الطاقة أثناء النشاط البدني |
| 06 | 2.5.تحديد العوامل البيوكيميائية للتعب العضلي |
| 06 | 3.5.مراقبة المؤشرات البيوكيميائية للتدريب والاستشفاء |
| 06 | 4.5.تحسين النظام الغذائي الرياضي |
| 06 | 5.5.فهم التكيفات الفسيولوجية للتدريب |
| 06 | 6.5.دور الفيتامينات والمعادن في الأداء الرياضي |
| 06 | 7.5.دراسة تأثير المكملات الغذائية على الأداء |
| 06 | 8.5.فهم التغيرات الهرمونية الناتجة عن الجهد البدني |
| المحاضرة الثانية: الماء (H2O) | |
| 07 | 1.تعريف |
| 07 | 2. كيفية تحديد نسبة الماء في الجسم |
| 07 | 3.التركيب الكيميائي للماء |
| 10 | 4.الخواص الفيزيائية والكيميائية للماء |
| 10 | 1.4. الخواص الفيزيائية للماء |
| 11 | 5.حالات (أشكال) تواجد الماء في العضوية |
| 11 | 1.5. الماء الحرّ أو الماء السائل (l'eau libre) |
| 12 | 2.5.ماء التشرّب أو ماء الإنفتاح (Eau D'imbibition) |
| 12 | 3.5. الماء المتحدّ أو ماء التّركيب (Eau Synthetique) |
| 12 | 6. أهمية الماء أثناء التدريب البدني |

| | |
|-----------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|
| 13 | 1.6.دراسة Sawka et al (2007) |
| 13 | 2.6.دراسة Casa et al (2010) |
| 13 | 3.6.دراسة Cheuvront & Kenefick (2014) |
| المحاضرة الثالثة: الأملاح المعدنية (Les Sels Minéraux) | |
| 14 | 1.تعريف الأملاح المعدنية |
| 15 | 2. تصنيف الأملاح المعدنية في الكائنات الحية |
| 15 | 1.2.عناصر أساسية |
| 15 | 2.2.عناصر متواجدة دائماً في المادة الحية |
| 15 | 3.2.العناصر الزهيدة |
| 15 | 3.قياس نسبة الأملاح المعدنية في الأنسجة |
| 15 | 4.دور الأملاح المعدنية في جسم الإنسان |
| 16 | 5.أهم الأملاح المعدنية للجسم |
| 16 | 1.5.الكالسيوم Ca |
| 17 | 2.5.الفسفور P |
| 17 | 3.5.المغنسيوم Mg |
| 18 | 4.5.الحديد Fe |
| 18 | 5.5.الصوديوم ، البوتاسيوم ، الكلور Na, K, Cl |
| 18 | 6.5.البوتاسيوم Potassium K |
| 19 | 7.5.الصوديوم Na |
| 20 | 8.5.الكلور |
| 20 | 6.المعادن و الأداء الرياضي |
| المحاضرة الرابعة: الكربوهيدرات (les Hydrates de Carbons) | |
| 22 | تمهيد |
| 22 | 1.الوظائف الحيوية للكربوهيدرات |
| 22 | 1.1.مصدر رئيسي للطاقة |
| 22 | 2.1.سهولة وسرعة الأكسدة |
| 22 | 3.1.تشكل جزءاً كبيراً من الغذاء النباتي |
| 22 | 4.1.رخيصة التكلفة ومتاحة |
| 23 | 5.1.سهولة التخزين والتصنيع |
| 23 | 2.تصنيف الكربوهيدرات (السكريات) |
| 25 | 1.2.السكريات الأحادية (Monosaccharides) |

| | |
|-----------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| 35 | 2.2. السكريات الثنائية (Disaccharides) |
| 42 | 3.2. السكريات المعقدة (Les Polysaccharides) |
| 51 | 3. التمثيل الغذائي للكربوهيدرات (التحلل السكري) |
| 52 | 1.3. التحلل السكري |
| 52 | 2.3. دورة كريس |
| 53 | 3.3. سلسلة نقل الإلكترونات |
| 54 | 4. تحلل الجليكوجين واستهلاك الجلوكوز بالعضلات |
| 55 | 1.4. استهلاك الجلوكوز بالعضلات |
| 58 | 2.4. العوامل المؤثرة في تمثيل كربوهيدرات العضلات أثناء التدريب الرياضي |
| 60 | 3.4. تمثيل الطاقة الكبدية أثناء التدريب البدني |
| المحاضرة الخامسة: الدهون (Les Lipides) | |
| 62 | 1. تعريف الدهون |
| 62 | 2. الخصائص الكيميائية للدهون |
| 62 | 3. الخصائص الفيزيائية للدهون |
| 63 | 1.3. الذوبانية (Solubility) |
| 63 | 2.3. التفاعل اللوني (Color Reaction) |
| 63 | 3.3. الإماهة (Hydrolysis) |
| 63 | 4.3. التصبن (Saponification) |
| 64 | 2.4. الدور البنائي |
| 64 | 3.4. الدور الوظيفي (الهرموني والتحفيزي) |
| 64 | 4.4. الدور المناعي والالتهابي |
| 64 | 5.4. دور الحماية والتنظيم الحراري |
| 64 | 6.4. دور في الامتصاص |
| 65 | 5. الأحماض الدهنية (الدهمة) |
| 66 | 6. تصنيف الدهون |
| 66 | 1.6. الدهون البسيطة (C.H.O.) |
| 69 | 2.6. الدهون المعقدة (Complex Lipids) |
| 70 | 7. تصنيف بعض الأغذية المشبعة بالدهون وأثرها على صحة الإنسان |
| 72 | 8. التمثيل الغذائي للدهون (أكسدة الدهون) |
| 73 | 1.8. مرحلة التفعيل |

| | |
|----------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| 73 | 2.8 مرحلة الانتقال للكارنتين |
| 73 | 3.8 مرحلة الانتقال للغشاء البييني للمايتوكوندریا |
| 74 | 4.8 إزالة الهيدروجين |
| 74 | 5.8 إضافة ماء |
| 74 | 6.8 إزالة الهيدروجين الثانية |
| 74 | 7.8 الانشقاق أو الثايولايسس |
| المحاضرة السادسة: البروتينات (Les Protides) | |
| 75 | 1. تعريف البروتينات |
| 76 | 2. دور ووظائف البروتينات |
| 77 | 3. تقسيم البروتينات |
| 77 | 1.3 الأحماض الأمينية |
| 80 | 2.3 عديد الببتيد |
| 82 | 3.3 البروتينات |
| المحاضرة السابعة: الهرمونات (Les Hormones) | |
| 86 | 1. مدخل مفاهيمي للهرمونات |
| 87 | 2. مكونات الجهاز الهرموني |
| 88 | 3. تصنيف الهرمونات (Hormones Classification) |
| 88 | 1.3 الهرمونات متعددة الببتيد (Polypeptide Hormones) |
| 88 | 2.3 الهرمونات المشتقة من الأحماض الأمينية |
| 88 | 4.3 الهرمونات المشتقة من حمض الأراكيدونيك (Arachidonic Acid) |
| 88 | 4. أنواع الإفرازات الهرمونية (Types of Hormonal Secretion) |
| 88 | 1.4 الإفراز الذاتي (Autocrine Secretion) |
| 88 | 2.4 الإفراز النظير صمّاوي (Paracrine Secretion) |
| 88 | 3.4 الإفراز العصبي (Neurocrine Secretion) |
| 89 | 5. تنظيم الإفراز الهرموني |
| 90 | 1.5 دور الغدة تحت المهاد (Hypothalamus) |
| 90 | 2.5 الغدة النخامية (Pituitary Gland) |
| 90 | 3.5 تأثير الهرمونات الطرفية (Peripheral Hormones) |
| 90 | 4.5 آلية التغذية الراجعة (Feedback Mechanism) |
| 90 | 6. آلية تأثير الهرمونات على الخلية البشرية (Mechanism of Hormonal Action on Human Cells) |

| | |
|------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 90 | 7. تأثير التمرين البدني على مستويات تركيز الهرمونات (The Effect of Physical Exercise on Hormonal Concentrations) |
| 91 | 1. الكاتيكولامينات (Catecholamines): الأدرينالين والنورأدرينالين |
| 92 | 2. المحور رينين - أنجيوتنسين - ألدوستيرون (RAAS) |
| 92 | 3. الهرمون المضاد للإدرار (ADH) |
| 92 | 4. الإريثروبويتين (EPO) |
| 92 | 5. الإنسولين (Insulin) |
| 93 | 6. الجلوكاجون (Glucagon) |
| 93 | 7. هرمون النمو (GH) |
| المحاضرة الثامنة: الفيتامينات (Les Vitamines) | |
| 94 | 1. تعريف الفيتامينات |
| 94 | 2. دور الفيتامينات في الجسم |
| 95 | 3. تصنيف الفيتامينات |
| 95 | 1.3. الفيتامينات الذوابة في الدهون |
| 95 | 2.3. الفيتامينات الذوابة في الماء |
| 95 | 4. مصادر الفيتامينات |
| 95 | 1.4. مصادر فيتامين A |
| 95 | 2.4. مصادر فيتامين D |
| 95 | 3.4. مصادر فيتامين E |
| 96 | 4.4. مصادر فيتامين K |
| 96 | 5.4. مصادر فيتامين C |
| 96 | 6.4. مصادر فيتامينات B |
| 97 | 5. أهمية الفيتامينات أثناء الجهد البدني |
| 97 | 1.5. دعم العمليات الأيضية (الاستقلابية) |
| 97 | 2.5. الحفاظ على الأداء العضلي والوظائف العصبية |
| 97 | 3.5. تعزيز المناعة وتقليل الإجهاد التأكسدي |
| 97 | 4.5. تنظيم عمليات التمثيل الغذائي وتحسين الأداء القلبي الوعائي |
| 97 | 5.5. تعزيز التركيز العقلي والتوازن العصبي |
| 97 | 6.5. الوقاية من التشنجات والضعف والإرهاق |
| 98 | 6. أهم الدراسات العلمية التي بينت أهمية الفيتامينات في تعزيز الأداء الرياضي |
| 98 | 1.6. دراسة حول فريق الرجبي النيوزيلندي (2017) |

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|
| 98 | 2.6. باحثون إيرانيون (2018) |
| 98 | 3.6.دراسة De Oliveira Chou وآخرون (2018) |
| 99 | 4.6.دراسة Clifford وآخرون (2019) |
| 99 | 5.6.دراسة Wyatt وآخرون (2024) |
| المحاضرة التاسعة: مدخل إلى بيوكيمياء الجهد (Biochimie de l'Effort Physique) | |
| 100 | تمهيد |
| 101 | 1. العضلة الهيكلية le muscle squelettique |
| 104 | 1.1. تقلص العضلات |
| 105 | 2.1. الاسترخاء العضلي |
| 106 | 2. الأنظمة الطاقوية لإنتاج ATP أثناء الجهد Filières énergétiques |
| 107 | 1.2. نظام ATP-PCr |
| 107 | 2.2. التحلل السكري |
| 108 | 3.2. نظام الأكسدة |
| 109 | 3. الخصائص البيوكيميائية لبعض الصفات البدنية |
| 109 | 1.3. الخصائص البيوكيميائية لصفة القوة المميزة بالسرعة |
| 112 | 2.3. الخصائص البيوكيميائية لصفة المتانة ENDURANCE |
| 114 | 4. الخصائص البيوكيميائية لبعض الرياضات |
| 117 | 1.4. الرياضات الحلقية (Sports cycliques) |
| 121 | 2.4. الرياضات غير الحلقية (Sports acycliques) |
| 123 | قائمة المراجع |

المحاضرة الأولى: مدخل إلى علم الكيمياء الحيوية

1.مدخل مفاهيمي

يعتبر تخصص الكيمياء الحيوية (الحياتية) من العلوم الحديثة حيث لا يتعدى تاريخها عن 200 سنة، وفي الحقيقة لم يظهر هذا الاصطلاح إلا عام 1903 م بواسطة الكيميائي الألماني كارل نيوبرج Carl Neuberg وقبل ذلك كانت مرتبطة بالكيمياء العضوية والفسولوجي وعلوم الأحياء والطب والصيدلية. وتساهم الكيمياء الحيوية في مجالات الهندسة الوراثية والتقنية الحيوية وصناعة الأدوية والعقاقير ومكافحة الأمراض بجانب العلوم الأخرى.

وعلم الكيمياء الحيوية هو فرع من فروع العلوم ، وتعنى بدراسة التركيب الكيميائي للأجزاء المكونة لخلية الكائنات النباتية والحيوانية والإنسان، كما أن علم الكيمياء الحيوية يقوم بدراسة مكونات الخلية لمختلف الكائنات الحية من حيث مكوناتها وتراكيبها ووظائفها بالإضافة إلى التفاعلات الحيوية التي تحصل داخل هذه الخلايا، ومن هذه التفاعلات: إنتاج الطاقة والبناء وعملية الهدم والبناء. ونجد أن أهم مجالات الدراسة التي يعنى بها علم الكيمياء الحيوية هي :

• يتعامل هذا العلم مع التداخلات والتركيب الحاصلة بين مكونات الخلية مثل الجزيئات الحيوية والأحماض النووية والدهون إضافة إلى البروتينات والكربوهيدرات، بحيث يكون البعض منها على هيئة جزيئات معقدة وكبيرة في الحجم وهي البوليمرات الحيوية التي تتكون بدورها من العديد من الوحدات المتشابهة والتي يطلق عليها اسم مونومر.

• تقوم أيضا بدراسة تفاعلات الجزيئات الحيوية وخصائصها الكيميائية والتي يتم تحفيزها من خلال الأنزيمات ومنها البروتينات.

• تعنى كذلك بدراسة ما يتم داخل الخلية كعمليات الأيض وما يتعلق بالغدد الصماء.

• المركبات الحيوية التي تتكون منها الكيمياء الحيوية الاستقلاب والليبيدات والأحماض النووية والفيتامينات والهرمونات والأنزيمات .

• يعتبر هذا العلم أساسا لتقدم العلوم الحديثة كعلم زراعة الأنسجة وعلم الهندسة الوراثية.

• لهذا العلم ارتباطا وثيقا مع العلوم الأخرى بالأخص الكيميائية منها وهي علم الكيمياء الفيزيائية وعلم الكيمياء التحليلية بالإضافة إلى الكيمياء العضوية.

• يهتم هذا العلم بدراسة الأسس الكيميائية التي يقوم عليها علم الوراثة بالإضافة إلى المكونات

التي تحتوي عليها النواة. و يركز هذا العلم وبصورة محددة وكبيرة على دراسة كيمياء الأنزيمات.

2. تعريف علم الكيمياء الحيوية

مصطلح "الكيمياء الحيوية" مشتق من bio "بمعنى الحياة" و chemistry بمعنى الكيمياء. وتم تسجيل الكلمة لأول مرة في اللغة الإنجليزية في عام 1848 ، في حين في عام 1877 ، استخدم باللغة الألمانية في مقدمة العدد الأول من Biochemie فيليكس هوب-سيلر مصطلح بيوشيمي مجلة الكيمياء الفسيولوجية كمرادف للكيمياء الفسيولوجية، ودعا إلى إنشاء معاهد لدراساتها. ومع ذلك، نوهت العديد من المصادر إلى أن الكيميائي الألماني كارل نيوبيرغ صاغ مصطلح النظام الجديد في عام 1903 ، وبعضها نسبها إلى فرانز هوفمايستر .

ويعرف قاموس Oxford (2006) أن الكيمياء الحيوية أو الكيمياء البيولوجية بأنها فرع من فروع الكيمياء التي تبحث في الروابط، التفاعلات، وعمليات أخرى تحدث في الجسم.

وعلم الكيمياء الحيوية هي فرع من فروع العلوم الطبيعية يُعنى بدراسة التركيب الكيميائي للكائنات الحية، والتفاعلات الكيميائية الحيوية التي تحدث داخل الخلايا والأنسجة الحية، بهدف فهم العمليات البيولوجية على المستوى الجزيئي. وتركز الكيمياء الحيوية على دراسة الجزيئات الحيوية مثل البروتينات، الأحماض النووية، الكربوهيدرات، والدهون، بالإضافة إلى آليات التنظيم الخلوي، والتمثيل الغذائي، والتعبير الجيني. ويُعد هذا العلم أساسًا لفهم فسيولوجيا الإنسان والحيوان والنبات، وله تطبيقات واسعة في الطب، والصيدلة، والتغذية، والتقنيات الحيوية.

وبشكل عام فإن الأسس المفاهيمية للكيمياء الحيوية تكمن في النقاط التالية:

- الجانب الكيميائي للحياة، حيث تُعرف الكيمياء الحيوية بأنها كيمياء الحياة، لأنها تدرس التركيب الكيميائي للكائنات الحية والتفاعلات التي تدعم استمراريتها.
- دراسة مكونات الخلية، تهتم الكيمياء الحيوية بتحليل مكونات الخلية الحية من جزيئات عضوية (مثل البروتينات، الدهون، الكربوهيدرات، والأحماض النووية) والتي تُعد أساس الوظائف الحيوية للكائنات.
- دراسة التفاعلات الحيوية داخل الخلية، تُعنى بدراسة التفاعلات الكيميائية الحيوية التي تحدث داخل الخلية، والتي تسهم في الحفاظ على حياة الخلية ووظائفها المختلفة.
- الربط بين التفاعلات والأمراض، تسعى الكيمياء الحيوية إلى فهم العلاقة بين التفاعلات الحيوية داخل الخلية والأمراض التي قد تنتج عنها، مما يجعلها علمًا أساسيًا في تفسير الظواهر المرضية.

- تحليل الجزيئات الحيوية الأساسية، تدرس الكيمياء الحيوية مجموعة من الجزيئات الحيوية مثل: الليبيدات (الدهون)، البروتينات، الكربوهيدرات، الأحماض النووية وتدرس أيضاً بناء هذه الجزيئات ووظائفها وتفاعلاتها داخل الخلايا.
- دورها المتقدم في تفسير العمليات الحيوية، تطورت الكيمياء الحيوية لتصبح من أهم العلوم التي تفسر العمليات الحيوية الدقيقة داخل الكائنات، وتربط بين علم الكيمياء والعلوم الحياتية والطبية.

3. التطور التاريخي لعلم الكيمياء الحيوية

يمكن القول أن تاريخ الكيمياء الحيوية قد بدأ مع الأفرق الذين كانوا مهتمين بالحياة والمواد المكونة لها، على الرغم من أن الكيمياء الحيوية باعتبارها علم محدد كانت بدايتها في جميع أنحاء العالم في أوائل القرن التاسع عشر. وذهب البعض إلى أن بداية الكيمياء الحيوية كانت مع اكتشاف أول انزيم ، وهو دياستيز يسمى اليوم الأميلاز (في عام 1833 من قبل أنسيلم باين .في حين اعتبر البعض الآخر أن وصفاً دوارد بوخنر لأول عملية كيميائية حيوية معقدة لتخمير الأيثانول خارج الخلية هو ميلاد علم الكيمياء الحيوية وقد يشير البعض أيضاً إلى العمل المؤثر الذي قام به يوستون فون ليبغ عام 1842 في الكيمياء الحيوانية الكيمياء العضوية في تطبيقاتها لعلم وظائف الأعضاء و علم الأمراض ، والذي قدم نظرية كيميائية لعملية التمثيل الغذائي كما أن البعض يرجع بدايتها إلى دراسات القرن الثامن عشر على التخمر والتنفس من قبل انطوان لافوانيه.

والكيمياء الحيوية هي علم متعدد التخصصات يهتم بدراسة العمليات الكيميائية التي تحدث داخل الكائنات الحية. وقد تطور هذا العلم عبر مراحل زمنية متتالية، بدءاً من الملاحظات المبكرة عن العمليات الحيوية، وصولاً إلى ثورة الجينوم وتقنيات البيولوجيا الجزيئية الحديثة. إن تطور الكيمياء الحيوية ارتبط ارتباطاً وثيقاً بتقدم تقنيات التحليل الكيميائي، والفيزياء الحيوية، والوراثة.

1.3. القرن التاسع عشر: البدايات المبكرة

بدأ الاهتمام العلمي بالكيمياء الحيوية في أوائل القرن التاسع عشر، عندما بدأ العلماء بدراسة العمليات الكيميائية داخل الكائنات الحية.

- في عام 1828، قام فريدريش فولر (Friedrich Wöhler) بتحضير مادة اليوريا صناعياً من مركب غير عضوي (سيانات الأمونيوم)، في تجربة قلبت المفهوم القائل بأن المركبات العضوية لا تُنتج إلا في الكائنات الحية، وفتحت الباب أمام فهم التفاعلات الحيوية كيميائياً (Wöhler, 1828).

- بحلول عام 1877، استخدم العالم الألماني فيليكس هوب-سايلر (Felix Hoppe-Seyler) مصطلح "الكيمياء الحيوية" (Biochemie) لأول مرة، واعتبر من مؤسسي هذا التخصص.

2.3. القرن العشرون: مرحلة التأسيس والنضج

● 1940-1930: اكتشاف المسارات الأيضية

-في عام 1937، وصف هانز كريبس (Hans Krebs) دورة حمض الستريك (حلقة كريبس)، التي تعتبر حجر الزاوية في فهم إنتاج الطاقة في الخلية (Krebs & Johnson, 1937).

-في عام 1953: اكتشاف بنية الحمض النووي DNA: توصل كل من جيمس واتسون وفرانسيس كريك إلى النموذج الحلزوني المزدوج للحمض النووي (DNA)، وهو ما أحدث نقلة نوعية في علم الوراثة الجزيئية (Watson & Crick, 1953).

● 1980-1970: تطور التكنولوجيا الجزيئية

-في السبعينيات، تطورت تقنيات فصل وتحديد البروتينات، كما أُدخل مفهوم تكنولوجيا الحمض النووي المؤتلف (Recombinant DNA Technology).

-في 1983، طوّر كاري موليس (Kary Mullis) تقنية تفاعل البلمرة المتسلسل (PCR)، التي سمحت بتكاثف قطع DNA بكفاءة عالية (Mullis & Faloona, 1987).

3.3. القرن الحادي والعشرون: البيولوجيا الجزيئية وعلم الجينوم

-في 2003، أُعلن رسمياً عن الانتهاء من مشروع الجينوم البشري (Human Genome Project)، وهو ما مثّل تنويجاً للتكامل بين الكيمياء الحيوية وعلوم الوراثة، وفتح آفاقاً جديدة لفهم الأمراض الوراثية، والتشخيص، والعلاج الموجه (Collins et al., 2003).

-أصبحت الكيمياء الحيوية اليوم من أهم الأسس التي تقوم عليها علوم الطب الحيوي، الصيدلة، علم الأعصاب، والتكنولوجيا الحيوية وعلوم الرياضة.

لقد تطور علم الكيمياء الحيوية من محاولات بسيطة لفهم "كيمياء الحياة" إلى علم مركزي لفهم البنية الجزيئية والوظيفة الخلوية للكائنات الحية. ويمثل اليوم حلقة وصل بين العلوم الطبيعية والعلوم الطبية، مع تأثيرات واسعة في البحث والعلاج والتقنيات الحيوية.

4. فروع علم الكيمياء الحيوية (Biochemistry Branches)

ينقسم علم الكيمياء الحيوية إلى عدة تخصصات فرعية، وقد تم تصنيفها في بعض البرامج

الأكاديمية، خاصة ضمن شعب علوم الرياضة، إلى قسمين رئيسيين، هما:

1.4. الكيمياء الحيوية الوظيفية (Functional Biochemistry)

الكيمياء الحيوية الوظيفية تهتم بدراسة العلاقة بين وظائف الأنسجة والأعضاء وبين وظائف المركبات الحيوية (مثل الإنزيمات، الهرمونات، الأحماض النووية) التي تتواجد داخل خلايا الكائنات الحية. كما تغطي المجالات التالية: كيف تؤثر التفاعلات الكيميائية الحيوية على وظائف الجسم؟، آلية عمل الإنزيمات في تسريع التفاعلات الحيوية. تأثير الهرمونات والبروتينات على العمليات الفسيولوجية والتغيرات الكيميائية في الأمراض (مثل السكري، فشل الكبد، أمراض الغدد الصماء). ومن الأمثلة التطبيقية التي يعنى بدراستها هذا الفرع: تحليل وظائف الكبد والكلى من خلال المؤشرات الكيميائية الحيوية في الدم. دراسة العلاقة بين نقص الإنزيمات الوراثي وظهور بعض الأمراض الاستقلابية. فحص وظائف الغدة الدرقية عبر تراكيز الهرمونات في الدم.

2.4. الكيمياء الحيوية البنوية (Structural Biochemistry)

يُعد هذا الفرع بدراسة التركيب الكيميائي للمكونات الخلوية من حيث الكمية والنوعية، ويُركّز على بنية الجزيئات الحيوية مثل البروتينات، السكريات، والدهن، وكيفية ارتباط هذه البنية بوظيفتها الحيوية. أما المجالات التي تغطيها: دراسة التركيب الفراغي ثلاثي الأبعاد للبروتينات والإنزيمات. تحليل بنية السكريات والليبيدات من حيث الترتيب الكيميائي والخصائص الفيزيائية. استخدام تقنيات مثل الرنين المغناطيسي النووي (NMR) والبلورات بالأشعة السينية (X-ray crystallography) لفهم بنية الجزيئات الحيوية. ومن أمثلة ذلك: دراسة كيفية تغير بنية الإنزيمات في الحالات المرضية. تصميم أدوية تعتمد على فهم البنية الجزيئية للمستقبلات البروتينية (Drug Design). فهم آلية الطيّ الخاطئ للبروتينات في أمراض مثل الزهايمر وباركنسون.

ونجد أن كل فرع يكمل الآخر، إذ تُسهّم الكيمياء البنوية في فهم شكل الجزيئات الحيوية وتركيبها، في حين تساعد الكيمياء الوظيفية في تفسير كيف تؤدي هذه الجزيئات دورها الحيوي داخل الكائنات الحية.

5. أهمية الكيمياء الحيوية في ميدان علوم وتقنيات النشاطات البدنية والرياضية

1.5. فهم إنتاج الطاقة أثناء النشاط البدني

تساعد الكيمياء الحيوية في تحليل مسارات التمثيل الغذائي لإنتاج الطاقة (ATP)، مثل: النظام الفوسفاجيني (ATP-PCr)، التحلل اللاهوائي (Glycolysis)، التنفس الهوائي (Aerobic respiration) هذا الفهم ضروري لتخطيط برامج تدريبية مناسبة حسب نوع النشاط (سرعة، قوة، قدرة هوائية...).

2.5. تحديد العوامل البيوكيميائية للتعب العضلي

من خلال دراسة تراكم حمض اللاكتيك، ونضوب الجلوكوجين العضلي، واضطراب توازن الأيونات (مثل الكالسيوم والبوتاسيوم)، يمكن فهم أسباب التعب العضلي ووضع استراتيجيات للوقاية منه.

3.5. مراقبة المؤشرات البيوكيميائية للتدريب والاستشفاء

يتم استخدام مؤشرات مثل: الكرياتين كيناز (CK)، اللاكتات، اليوريا لتقييم شدة التدريب، والتأكد من كفاءة برامج الاستشفاء البدني والوقاية من فرط التدريب (Overtraining).

4.5. تحسين النظام الغذائي الرياضي

من خلال فهم كيفية استقلاب العناصر الغذائية (كربوهيدرات، دهون، بروتينات)، يمكن تصميم برامج تغذية تدعم الأداء الأمثل قبل وأثناء وبعد التمارين الرياضية.

5.5. فهم التكيفات الفسيولوجية للتدريب

توضح الكيمياء الحيوية كيف تؤثر التمارين المنتظمة على: زيادة الكفاءة الميتوكوندرية، تحسين استخدام الدهون كمصدر للطاقة، تحسين حساسية الأنسولين. وهي عناصر جوهرية في رفع الأداء وتقليل خطر الإصابة بالأمراض المزمنة.

6.5. دور الفيتامينات والمعادن في الأداء الرياضي

تساهم الكيمياء الحيوية في تحديد دور المكونات الدقيقة (Micronutrients) مثل الحديد، الكالسيوم، فيتامين B، وغيرها، في إنتاج الطاقة، انقباض العضلات، ونقل الأوكسجين.

7.5. دراسة تأثير المكملات الغذائية على الأداء

تستخدم الكيمياء الحيوية لتقييم تأثير مكملات مثل الكرياتين، الكافيين، β -alanine، على الأداء والتحمل العضلي على أساس علمي دقيق.

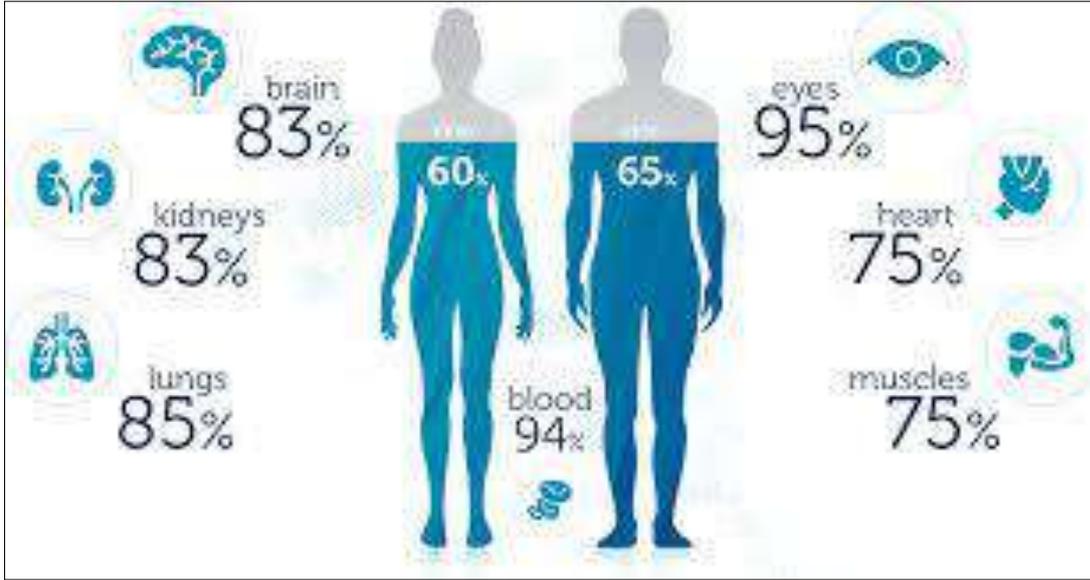
8.5. فهم التغيرات الهرمونية الناتجة عن الجهد البدني

تحليل التغيرات في هرمونات مثل الكورتيزول، التستوستيرون، والأنسولين بعد التمرين يساعد على فهم التكيف البدني، وبناء الكتلة العضلية، وتخطيط فترات الراحة.

المحاضرة الثانية: الماء (L'Eau H2O)

1. تعريف

الماء هو مركب كيميائي يتكون من ذرتين من الهيدروجين وذرة واحدة من الأوكسجين، صيغته الكيميائية H_2O ، ويُعد من أهم مكونات الخلية الحية، كما يمثل ما نسبته بين 50% إلى 70% من وزن جسم الإنسان منها 50% في النسيج الدهني و 65 إلى 75% في النسيج العضلي وذلك حسب العمر والجنس ونسبة الدهون في الجسم. كما يلعب الماء عدة أدوار كتسهيل التفاعلات الكيميائية، النقل الخلوي، الاستقرار الحراري، تسهيل عمل المفاصل الخ، كما أنه يتواجد في جميع أعضاء الجسم.



شكل رقم (01): يبين نسب الماء في أهم أعضاء الجسم

2. كيفية تحديد نسبة الماء في الجسم

تُقاس نسبة الماء في الجسم من خلال طرق غير مباشرة كتحليل مقاومة الجسم الكهربائية (Bioelectrical Impedance Analysis)، أو باستخدام أجهزة تصوير الرنين المغناطيسي، وتعتمد النسبة على عدة عوامل منها الجنس، العمر، نسبة الدهون، ومستوى النشاط البدني، حيث أن العضلات تحتوي على نسبة ماء أعلى من الدهون.

3. التركيب الكيميائي للماء

الماء يتكون من جزيء مكون من ذرتين هيدروجين وذرة أوكسجين، وتتكون بين الذرات روابط تساهمية قطبية تؤدي إلى تشكيل شحنة موجبة خفيفة على ذرات الهيدروجين وشحنة سالبة على ذرة الأوكسجين، مما يمنح الماء خصائص فريدة مثل التوتر السطحي العالي والقدرة على إذابة العديد من المواد.

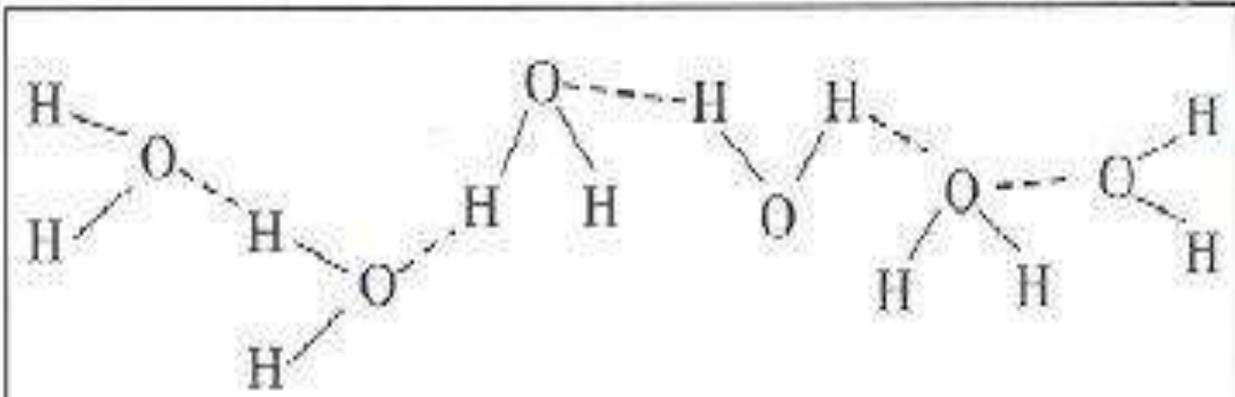
حيث تشارك كل ذرة هيدروجين بزوج من الإلكترونات مع ذرة الأوكسجين، مكوّنة روابط تساهمية. يتخذ هذا الترتيب شكلاً هندسيًا يشبه الحرف V، نتيجة لتوزيع الأزواج غير المرتبطة على ذرة الأوكسجين.

تتميز ذرة الأوكسجين بقدرتها الكبيرة على جذب الإلكترونات، مما يؤدي إلى اكتسابها شحنة موضعية سالبة تقع في قمة الحرف V، بينما تكتسب ذرتا الهيدروجين شحنة موضعية موجبة. ورغم أن جزيئة الماء متعادلة كهربائيًا من حيث عدد الشحنات، إلا أن تباعد الشحنات الموجبة والسالبة يجعلها جزيئة ثنائية القطب الكهربائي. (Electrical Dipole).

هذا التوزيع في الشحنات هو المسؤول إلى حد كبير عن قوى التجاذب بين جزيئات الماء، حيث يحدث تجاذب إلكتروستاتيكي قوي بين الشحنة الموضعية السالبة لذرة الأوكسجين في جزيئة ماء والشحنة الموجبة الموضعية لذرة الهيدروجين في جزيئة ماء مجاورة. ويُعرف هذا النوع من التجاذب باسم الرابطة الهيدروجينية. (Hydrogen Bond).

وبسبب ترتيب الإلكترونات حول ذرة الأوكسجين بشكل رباعي الجوانب (Tetrahedral)، فمن الناحية النظرية تستطيع كل جزيئة ماء تكوين أربع روابط هيدروجينية مع جزيئات ماء مجاورة. وفي الماء السائل عند درجة حرارة الغرفة، يُعتقد أن كل جزيئة ماء تشكّل في المتوسط حوالي 3.4 رابطة هيدروجينية. أما في الجليد، فإن كل جزيئة ماء ترتبط بأربع جزيئات ماء بروابط هيدروجينية، مما يكوّن بنية صلبة تُعرف بالتركيب الشبكي. (Lattice Structure).

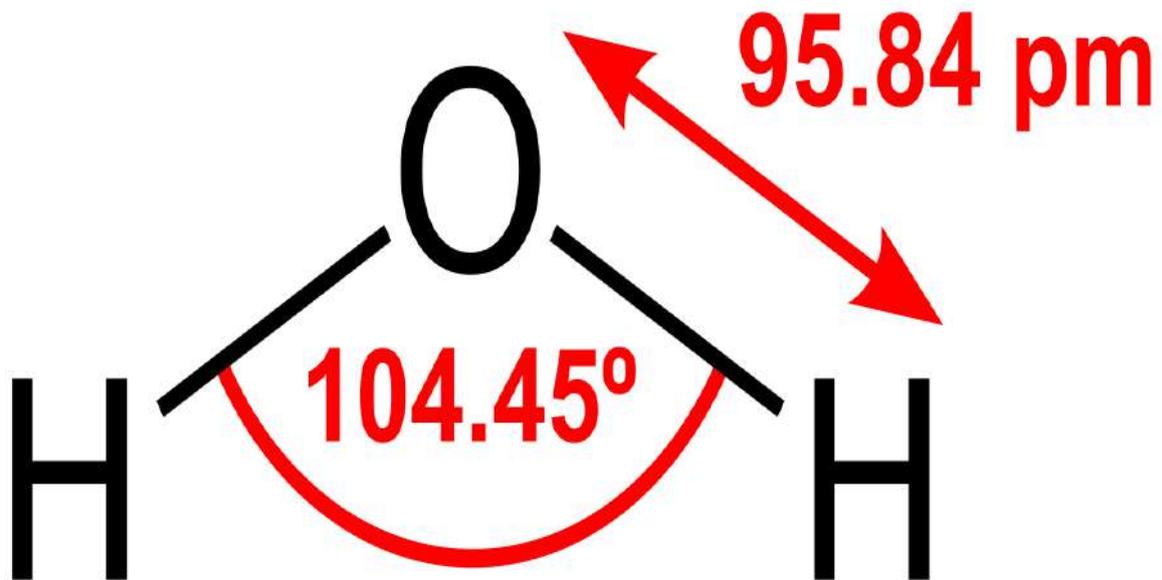
وعلى العكس من الماء، فإن معظم جزيئات السوائل الأخرى لا تتشكل بينها قوى تجاذب قوية، مثل الرابطة الهيدروجينية، مما يجعل الطاقة اللازمة لفصل جزيئات هذه السوائل - كالبترين مثلاً - أقل بكثير من تلك اللازمة لفصل جزيئات الماء عن بعضها البعض.



الروابط الهيدروجينية بين جزيئات الماء

روابط ضعيفة ولكنها كثيرة العدد ، تتكون بين ذرة الهيدروجين في أحد

الجزيئات وذرة الأكسجين في جزيء آخر



شكل رقم (02): التركيب الكيميائي للماء.

4. الخواص الفيزيائية والكيميائية للماء

1.4. الخواص الفيزيائية للماء

1.1.4. الحرارة النوعية

هي كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة 1 غ من المادة درجة مئوية واحدة، وتعتبر الحرارة النوعية للماء أعلى من بقية السوائل حيث تساوي واحد حريرة ، الأمر الذي يُمكن الأنسجة الحية من امتصاص أو فقد (إطراح) كميات كبيرة من الحرارة من دون تغيير كبير في درجة الحرارة.

جدول رقم (01): يبين الحرارة النوعية لبعض السوائل

| المادة | الحرارة النوعية |
|--------------------|-----------------|
| ○ الماء. | ○ 1 حريرة. |
| ○ الكحول الإيثيلي. | ○ 0.574 حريرة. |
| ○ زيت الزيتون. | ○ 0.310 حريرة. |

2.1.4. حرارة التبخر

إن درجة غليان الماء عالية وتساوي 100 درجة مئوية، وهي كمية الحرارة اللازمة لتحويل 1 غ من الماء من الحالة السائلة إلى الحالة الغازية في نفس الدرجة، لذا لا يُفقد الماء بسهولة من جسم الكائن الحي ويُفيد ذلك في التخلص من الحرارة الزائدة للجسم، حيث تُفقد كميات كبيرة من الحرارة تحت ظروف ملائمة (منظمة ودقيقة) للتبخّر مُسببةً عملية التبريد.

جدول رقم (02): يبين حرارة التبخر لبعض السوائل

| السلالة | حرارة التبخر |
|-----------------|--------------|
| الماء | 537 حرارة |
| الكحول الإيثيلي | 206 حرارة |
| الكلوروفورم | 61 حرارة |

3.1.4. الناقلية

الماء موصل جيد للحرارة، فهو من أفضل المواد ناقلياً لها عدا المعادن، وذلك ما يجعله يُحافظ على التوازن الحراري للجسم.

4.1.4. الذوبان

الماء مذيب عام بسبب قابليته على تكوين محاليل مع عدد كبير من المركبات (تكوين الروابط الهيدروجينية)، كما له أهمية كبيرة عند النباتات الحية، حيث ينقل الماء العناصر الأساسية للنمو، وكذا المركبات الضرورية لتحويلات الطاقة وختناً.

2.4. الخصائص الكيميائية للماء

- يدخل في تفاعلات الإماهة. (بروتين + ماء — حموض أمينية).
- يدخل في تفاعلات الأكسدة والإرجاع، اولتي تت م في المستوى الخلوي.
- يتميز بدرجة حموضة معتدلة، وبالتالي فهو الوسط الأمثل لحدوث التفاعلات الحيوية (الهدم والبناء).

5. حالات (أشكال) تواجد الماء في العضوية

1.5. الماء الحرّ أو الماء السائل (l'eau libre)

والذي يلعب دور ما دة حالة للأجسام الثابة والشاردية، وتت م في داخله تفاعلات كيميائية مختلفة، ويوجد هذا الشكل من الماء على الخصوص في: الدم، الل مف، الفجوات والسوائل الخلالية.

2.5. ماء التشرّب أو ماء الإنفتاح (Eau D'imbibition)

والذي يرتبط بالمواد الكبيرة الجزيئات بصورة خاصة بروابط فيزيائية كيميائية، ويُعتقد أن ماء التشرّب هذا يتألف من تكاثف جزيئات الماء العادي، ويتصف هذا الماء بصفات خاصة منها:

- تجمده بدرجة حرارة تقع تحت الصفر.
- يخضع لضغط كبير (حوالي 9 آلاف ضغط جوي).
- لا يُمكن فصله عن الجزيئات الضخمة إلا تحت تأثير قوى كبيرة.

3.5. الماء المتحدّ أو ماء التركيب (Eau Synthetique)

وهو الذي لا يُمكن فصله عن الأجسام التي يدخل في تركيبها دون تخريب الجزيئات نفسها، فمثلاً يلعب دوراً رئيسياً في اتحاد سلاسل البيبتيدات المتعددة والليسيثين لتكوين البروتينات الشحمية، وكذا الحال في ارتباط البيبتيدات والبروتينات ببعضها في السيتوبلازم.

6. أهمية الماء أثناء التدريب البدني

يلعب الماء دوراً حيوياً أثناء التمارين البدنية من خلال تنظيم حرارة الجسم، وتعويض السوائل المفقودة عبر العرق، والحفاظ على حجم البلازما، كما يساهم في منع التشنجات العضلية وتحسين الأداء البدني والذهني، ويُوصى بتطبيب الجسم قبل وأثناء وبعد التمرين لتفادي الجفاف وانخفاض الأداء.

فالتمرين البدني في الأجواء الحارة يزيد من احتياجات الجسم لعنصر الماء، بحيث تزيد الحاجة من 5 إلى 6 مرات بالنسبة للعادة. لكن يجب الحذر من شرب كميات كبيرة بعد جهد شاق في جو حار، حيث تحدث حالة تمل intoxication بالماء المعروفة باسم hyponatremie أو نقص صوديوم الدم. عندما تكون هذه الحالة خفيفة، ينجر عنها، الوجع في الرأس، الارتباك confusion، والشعور بالضيق malaise، والغثيان nausées، وإذا كانت خطيرة يترتب عنها، السكتة الدماغية، والغيبوبة، الوذمة الرئوية، والموت. والحالات التي يمكن أن تحدث فيها هذه الأعراض الخطيرة هي الماراتون ذات الشدة القصوى من 6 إلى 8 ساعات (Armstrong 1996) يحدث ينزل مستوى الصوديوم في الدم إلى حد أدنى، و تناول كميات كبيرة من الماء يؤدي إلى تمييع الصوديوم في الماء (Irvin 1991).

كما أن الدراسات البحثية تشير إلى أهمية الماء أثناء التدريبات البدنية والتي نذكر منها على سبيل المثال لا الحصر:

1.6.دراسة (2007) Sawka et al

بعنوان "Exercise and fluid replacement"، هدفت الدراسة إلى تقييم تأثير الجفاف على الأداء البدني والحراري، وقد شارك في هذه الدراسة رياضيين محترفين في ظروف مناخية مختلفة، وقد بينت النتائج أن الجفاف يقلل من القدرة الهوائية ويزيد من الضغط القلبي والحراري، وقد أوصت الدراسة بضرورة شرب الماء بانتظام قبل وأثناء وبعد التمرين للحفاظ على الأداء.

2.6.دراسة (2010) Casa et al

بعنوان "National Athletic Trainers' Association Position Statement: Fluid Replacement for Athletes"، هدفت الدراسة إلى وضع إرشادات مهنية لتعويض السوائل، وقد بينت النتائج أن فقدان 2% من كتلة الجسم بسبب الجفاف يمكن أن يقلل من الأداء العقلي والبدني، وقد أوصت الدراسة بضرورة استخدام استراتيجيات الترطيب الفردية بناءً على الظروف البيئية ونوع النشاط.

3.6.دراسة (2014) Cheuvront & Kenefick

بعنوان "Dehydration: Physiology, Assessment, and Performance Effects"، هدفت الدراسة إلى شرح آليات تأثير الجفاف على الأداء والتحكم الحراري، وقد شارك في هذه الدراسة رياضيون مدربون خضعوا لاختبارات مختلفة، وقد بينت النتائج أن الجفاف يؤثر على سرعة استجابة العضلات والقدرة الهوائية، وقد أوصت الدراسة بضرورة دمج التقييم الدوري لترطيب الجسم ضمن البرامج التدريبية.

المحاضرة الثالثة: الأملاح المعدنية (Les Sels Minéraux)

1. تعريف الأملاح المعدنية

الأملاح المعدنية هي عناصر كيميائية غير عضوية ضرورية لحياة الكائنات الحية، رغم أن نسبتها ضئيلة مقارنة بالعناصر العضوية. تُوجد هذه العناصر في الطبيعة على نطاق واسع، ويُصنّف معظمها ضمن الجدول الدوري للعناصر. تلعب دورًا أساسيًا في التفاعلات الكيميائية الحيوية، وتركيب الأنسجة، والحفاظ على توازن الوسط الداخلي للكائن الحي.

تتكون كتلة الجسم من أكسجين، هيدروجين، أزوت و 4% من هذه الكتلة تتمثل في مجموعة 22 عنصر تسمى معادن. تعتبر المعادن مكونات الإنزيمات و الهرمونات و الفيتامينات، و تتلاحم مع مواد كيميائية أخرى كالفوسفات و الكالسيوم في العظام، و الحديد في مجمعات الهيم hème و الهيموجلوبين، أما الكالسيوم الحر و سوائل الجسم فهي ليست متلاحمة.

يحتوي جسم الإنسان على 15 غ من oligo-éléments كما يحتاج إلى 100 مغ من المعادن صنف macro-éléments و 100 مغ صنف oligo-éléments يوميا. و تتواجد هذه المعادن في مياه البحيرات، الأنهار، المحيطات، نباتات الأشجار و في أجسام الحيوانات التي تتناول نباتات الأشجار و المياه. عند البشر استيعاب المعادن يكون على مستوى الأمعاء الدقيقة (McArdele 2001: 43).

كما هو الحال في ما يخص الفيتامينات، جسم الإنسان لا يحتاج إلى كميات من الأملاح المعدنية تفوق احتياجاته اليومية لأنها موجودة بكميات كافية في كل ما نستهلكه يوميا (طعام وماء) إلا في حالات خاصة، مثلا في الولايات المتحدة الأمريكية وخاصة في منطقة البحيرات الكبرى في حوض الساحل الغربي والمناطق الوسطى للبرازيل و في المناطق الجبلية للهِيمالايا أين ينعدم اليود iode. مع العلم أن الغدة الدرقية glande thyroïde تحتاج إلى اليود لتوليف synthèse التيروكسين و التريوترونين et thyroxine triiothyronine هرمونات تثير عمليات الأيض عند الراحة في الخلايا، و نقص هذا العنصر يمكن أن يسترجع بشرب الماء و ملح الطاولة (McArdele 2001: 44).

2. تصنيف الأملاح المعدنية في الكائنات الحية

يمكن تصنيف العناصر المعدنية إلى ثلاث مجموعات رئيسية:

1.2. عناصر أساسية

تتكون من أربعة عناصر رئيسية: الكربون (C) ، الهيدروجين (H) ، الأوكسجين (O) ، النيتروجين (N).

2.2. عناصر متواجدة دائماً في المادة الحية

مثل المغنيزيوم (Mg) ، البوتاسيوم (K) ، الصوديوم (Na) ، الكلور (Cl) ، الفوسفور (P) ، الكبريت (S) ، الكالسيوم (Ca).

3.2. العناصر الزهيدة

وهي توجد بكميات صغيرة جداً ولكنها أساسية، حيث تعمل كعوامل مساعدة في التفاعلات الكيميائية مثل: Se، Cu، Mn، Zn

3. قياس نسبة الأملاح المعدنية في الأنسجة

يُحسب محتوى الأملاح المعدنية بحرق العينة حتى الرماد، حيث يمثل وزن الرماد كمية الأملاح المعدنية غير القابلة للاحتراق.

نسبة الأملاح = (وزن الأملاح المعدنية ÷ الوزن الرطب) × 100

■ قيم تقريبية لنسبة الأملاح في الكائنات (%):

-الإنسان: 3.0

-الحيوان: 0.3

-النبات: 2.5

4. دور الأملاح المعدنية في جسم الإنسان

تلعب المعادن ثلاثة ادوار:

■ تساهم في هيكله الأسنان و العظام.

- من الناحية الحركية تساهم بشكل متكامل في الحفاظ على انتظام ضربات القلب و عملية التقلص العضلي ، الاتصال العصبي و توازن الحموضة الأساسية للجسم -équilibre acido-basique.
- المساهمة في تنظيم الأيض الخلوي. و تعتبر الأملاح المعدنية مكونات هامة للأنزيمات و الهرمونات التي لها دور في تعديل وتسوية النشاط الخلوي.
- تلعب الأملاح المعدنية دورا هاما في عمليات إنتاج الطاقة خلال عمليات البناء و الهدم catabolisme. بحيث لها دور، من جهة في هدم السكريات، الدهون و البروتينات، و من جهة أخرى في عمليات البناء، حيث يتشكل الجليكوجين من الجلوكوز، الدهون من الأحماض الدهنية، و الجليسيرول glycérole و البروتينات من الأحماض الأمينية. كما لها دور كبير في تشكيل الهرمونات حيث الاختلال في إنتاج التيروكسين من جراء نقص عنصر اليود يؤدي إلى تباطؤ في الأيض القاعدي، و نقص في إفراج الطاقة هنا يؤهب للسمنة (McArdele 2001: 45).

5. أهم الأملاح المعدنية للجسم

1.5 الكالسيوم Ca

هذا العنصر موجود بكميات كبيرة في جسم الإنسان، و يستطيع أن ينسجم مع الفسفور لتكوين الأسنان و العظام. في الواقع هذان المعدنان يشكلان 75% من محتوى المعادن في جسم الإنسان أي 2.5% من وزن الإنسان. الكالسيوم يلعب دور هام في التقلص العضلي و في نقل الدفعة العصبية influx nerveux. كما أن للكالسيوم دور في تفادي الإصابة بهشاشة العظام. فالعظام عبارة عن أنسجة ديناميكية مكونة من الكولاجين ، المعادن و حوالي 50% من ماء. بفضل خلايا مختصة (ostéoblastes) (ostéoplastes) العظام هي في إعادة تشكيل مستمرة. للأطفال حاجة أكبر للكالسيوم بالمقارنة للكبار. المراهق 1200مغ وللكبار أكثر من 24 سنة 800 إلى 1000مغ يوميا ما يعادل محتوى 5 أكواب من الحليم.

عند الحاجة يلجئ الجسم إلى الكالسيوم الموجود بالعظام، و إذا زادت الحاجة إلى هذا العنصر فيصاب الفرد بهشاشة العظام، و يتبع هذه الحالة المرضية نقص في المعادن بصفة عامة McArdele (2001: 46). و بالنسبة للنساء الناضجات هشاشة العظام لها علاقة بنقص إنتاج هرمون الاستروجين عند انقطاع الحيض (McArdele 2001: 46-47). دائما عند النساء يفترض أن هذا الهرمون يشجع

امتصاص الكالسيوم و يحد من استخراجه من الأنسجة (Owen 1980; Regelson 1983). أما الرجال ف لديهم كميات كافية من هرمون الاستروجين زيادة عن تحويل جزئ من هرمون التستوستيرون إلى استروجين يحافظ على توازن الكالسيوم.

في هذا الصدد يرى الباحثين أن ممارسة الرياضة تحد من شيخوخة الهيكل العظمي (Grimston 1991; Haliova 1989; Hetland 1993; Nichols 1994; Selemenda 1993). لان الكثافة المعدنية للعظام ترتبط بالقوة العضلية و الكتلة النحيفة للجسم (Nichols 1995). كما ينصح بممارسة الأنشطة التي تضع الكتلة العظمية تحت الحمل، كالمشي، الركض، القفز على الحبل أو التمارين الحلقية لتقوية العضلات باستعمال حمولات لها تأثير على العظام الطويلة (Drinkwater 1994; Hamdy 1994, Thaffle 1995; Williams 1984). من الناحية الهرمونية يرى الباحثون أن القوة العضلية أي الحمولات الميكانيكية المفروضة على العظام خلال النشاط البدني تغير التمثيل الغذائي للعظام إلى حد الإجهاد (Davee 1990; Faulkner 1993; Grimston 1993; Hodis 1995; Lee 1995). يمكن القول أن تكوين العظام محليا يرتبط ارتباطا شديدا بالقوى المفروضة على عضلات العظام المحشودة، بمعنى آخر العمل الميكانيكي على العظام يحفز نشاط خلايا بناء العظم (ostéoblastes) و يتسبب في تراكم الكالسيوم (McArdele 2001: 48).

2.5. الفسفور P

بغض النظر عن دوره مع الكالسيوم لإعطاء العظام شدتها ، يعتبر الفسفور عنصر أساسي من مجمعات الطاقة ATP و CP. مع العلم بان ال ATP هي المولد الرئيسي لكل أنواع الأعمال البيولوجية. يساهم الفسفور في إبادة العناصر الحمضية لأيض الطاقة، لذلك يرشد المدربين باستهلاك سوائل أو ماء غنية بالفسفور، بهدف إنقاص مفعول المواد الحمضية خلال التدريب الشاق وزيادة إطلاق صراح الأكسجين الموجود في الكريات الحمراء.

3.5. المغنسيوم Mg

المغنسيوم موجود في حوالي 300 أنزيم لازمة لعملية الأيض، و يلعب دورا هاما في ايض الجلوكوز بتسهيل تكوين الجلوكوز عن طريق الجلايكوجين glycogènèse في العضلات والكبد من خلال الجلوكوز الموجود بالدم. المغنسيوم يشارك في تدهور الجلوكوز ، الأحماض الدهنية والأحماض الأمينية أثناء أيض الطاقة.

4.5. الحديد Fe

جسم الإنسان يحتوي على 3 إلى 5 غ من الحديد. حوالي 80% من هذه الكمية تتواجد في المركبات التي لها علاقة بالهيموغلوبين. الحديد ينقل الأكسجين و يقوم بادوار أخرى خلال الممارسة الرياضية. 20% من الحديد الذي لا يقوم بادوار وظيفية fonctionnel هو مخزن و يتواجد في الكبد ، الطحال rate و نخاع العظام moelle osseuse على شكل بروتيد ناقل للأكسيجين hémosidérine et ferritine .

5.5. الصوديوم ، البوتاسيوم ، الكلور Na, K, Cl

الصوديوم ، البوتاسيوم ، الكلور من الشوارد أو المعادن المتنقلة في الدم électrolytes لأنها تحل في الجسم على شكل أيونات معبأة بالكهربائية. يعمل تبادل أيونات الصوديوم والبوتاسيوم عبر الأغشية الخلوية للأعصاب على نقل السوائل العصبية من خلية عصبية إلى أخرى كنتيجة لتغيير الشحنة الكهربائية التي توجد على الغشاء الخلوي ويعتمد هذا أيضاً على وجود الأستيل كولين Acetyl choline الذي يعتمد إطلاقه بين الألياف العصبية على عنصر الكالسيوم (McArdele 2001: 48). يؤدي التوازن بين الكالسيوم (الذي يحفز انقباض العضلات) وبين الصوديوم والبوتاسيوم والمغنيسيوم (التي تحفز ارتخاء العضلات) إلى قيام العضلات بوظيفتها الحركية بصورة مثالية.

6.5. البوتاسيوم Potassium K

البوتاسيوم هو أحد الأملاح المعدنية Mineral salts، وله تأثير فعّال على نشاط العضلات خصوصا عضلة القلب ، كما يلعب دورا مهما في التوازن الحمضي ويسبب نقصه اضطرابات عصبية وقلبية (قلة وضعف ضربات القلب). ومن وظائف البوتاسيوم نجد:

- يدعم بالإشتراك مع الصوديوم و الكلور توزيع وتنظيم السوائل في الجسم.
- يساعد العضلات على الإنقباض و الإسترخاء ويؤمن مرور النبضات العصبية في الجهاز العصبي.
- يلعب دوراً هاماً في تنظيم ضغط الشرايين و نبضات القلب.
- يساعد أولئك الذين يعانون من زيادة الصوديوم في الجسم.
- يعتبر عنصراً مفيداً في تلافي السكتة الدماغية ، الاكتئاب ، حب الشباب ، التورم ، التعب ، و التعصيب.

كما تتمثل مصادره الغذائية في:

الموز ، دبس السكر ، العسل الاسود ، الحليب ، طحين البطاطا ، المشمش المجفف ، نخالة الحبوب ، الدراق المجفف ، القمح ، بذر القرع ، الزبيب ، اللوز ، التين المجفف ، بذور دوار الشمس ، البلح ، الافوكادو ، المكسرات ، سمك السردين ، السبانخ ، الشعير ، الاجاص المجفف ، البروكلي.

7.5. الصوديوم Na

الصوديوم و هو إحدى أملاح المعادن الموجود في الطبيعة كمركبات عديدة منها كلور الصوديوم (أي ملح الطعام).

ومن وظائف الصوديوم:

- يشكل الصوديوم الجزء الأساسي من عصارة المعدة.
- ينظم التوازن المائي داخل وخارج الخلايا، فلا يصاب الشخص بالجفاف (يشترك الصوديوم مع البوتاسيوم والكلور في عملية توزيع السوائل في الجسم).
- ينظم ميزان الحموضة وحساسية العضلات.
- ينظم عمليات ضغط الدم.

ولا بد من الإشارة إلى أن هناك حالات مرضية معينة تتطلب عدم الإكثار من ملح الطعام، كما أن هناك حالات أخرى تتطلب إلغاءه كلياً إلى الحد الأدنى المطلوب للجسم، وهو نصف غرام في اليوم. ويعتبر التهاب الكليتين و ارتفاع الضغط الشرياني وهبوط دقات القلب من الأمراض التي تستدعي التقليل من استهلاك ملح الطعام. ويمكن الحصول على معدن الصوديوم من أي غذاء من دون أي عناء، فهو موجود في ملح الطعام (كلوريد الصوديوم)، السمك (القريدس/ السردين)، كبد البقر، البيض، الجبن، الحليب، الزيتون الأخضر، نخالة الحبوب (خاصة الذرة)، الفاصوليا الحمراء، القمح و الأغذية المعلبة.

حسب العلماء الحد من استهلاك الصوديوم يخفف من ارتفاع حجم البلازما أي السوائل الموجودة في الدم، مما يحد من ارتفاع ضغط الدم، دون ان ننسى الحد من الاستهلاك الزائد للبوتاسيوم لأنه عنصر ذا علاقة وطيدة بالصوديوم بحيث يلعب هرمون الالدوستيرون دور هام في توازن هذان العنصران (McArdele 2001: 51).

8.5. الكلور

الكلور مع الصوديوم يعتبران معدنان أساسيان للبلازما، بحيث يلعبان دورا هاما في تنظيم المغذيات و النفايات بين الخلايا و الوسط الخارجي لها. يتواجد هذا العنصر في الغذاء وفي أجسامنا على شكل كلوريد chloride ، ونادرا ما يحدث نقص في هذا العنصر إلا في حال القيء والإسهال والتعرف المستمر والمسرف.

ومن وظائف الكلور:

- يدخل في تركيب الحوامض المعوية ، ويشترك في عملية هضم الطعام
- يشترك مع البوتاسيوم والصوديوم في حفظ توازن الماء وحسن توزيع السوائل
- يساعد في تأمين وظيفة العضلات والجهاز العصبي.

كما تتمثل مصادره الغذائية في:

يتواجد الكلور في الخضار ، الحبوب المجروشة ، الفواكه ، اللحوم ، الطيور ، مشتقات الحليب . ويتواجد بكميات كبيرة في ملح الطعام ، لكن لا داعي إلى اللجوء للملح للحصول عليه فهو يتواجد في كل أصناف الطعام تقريبا ولا خوف من نقصه.

6. المعادن والأداء الرياضي

لم يعرف بأن تناول كميات كبيرة من المعادن يزيد في الأداء (Telford et al. 1992) ، لكن نقص هذه العناصر له أعراض خطيرة على الرياضيين و خاصة أثناء التدريب في الأجواء الحارة، حيث يؤدي نقص هذه العناصر خاصة، الماء، الصوديوم، الكلوريد و البوتاسيوم خلال التدريبات الطويلة في الجو الحار إلى مشكلة تعامل الجسم مع الحرارة، التشنجات العضلية الناتجة من الحرارة و الإنهاك. و من المعروف كذلك حسب الباحثين أن خلال التدريبات أو المنافسات في هذه الأجواء، يضيع الرياضي من 1 إلى 5كغم من الماء عن طريق التعرق، و ينجر من هذا التعرق ضياع 1.5 إلى 8 غ من الأملاح، لأن كل كيلوغرام أو لتر من العرق يحتوي على 1.5 غ من الأملاح (McArdele 2001: 45). وأظهرت كذلك نتائج بعض الأبحاث أن الجهد الشاق يتسبب في إطلاق الهرمونات الخاصة التي تقلل من ضياع الماء و العرق عن طريق الكلى مثل الفاسوبريسين، الرنين و الالدوسيبرون (De Souza et al. 1989). كما اظهرت العديد من الابحاث انه ليس من الضروري تناول مشروبات غنية بالأملاح المعدنية أثناء التدريب أو المنافسة في الجو الحار إذا كانت التغذية متوازنة (Johnson et al. 1988). لكن عندما يكون ضياع

السوائل اكبر من 4 أو 5 كلغم أو أثناء العمل في زمن الحر ينصح بتناول مشروب يحتوي على 01 إلى 0.2% من الملح أي 3/1 ملعقة صغيرة في لتر واحد من الماء (ACSM 1984).

التدريب الشاق يمكن أن يستنزف oligo-éléments مثل الكروم (مهم في عملية هدم الدهون و هيدرات الكربون، و عمليات بناء البروتينات، و السير الصحيح للانسولين) ، النحاس (ضروري لتوليف الكريات الحمراء) ، المنغنيز (مكون لانزيمات الجهاز المضاد للاكسدة) ، الزنك (السير الحسن للعديد من التفاعلات منها الخاصة باستقلاب الطاقة métabolisme énergétique). في هذا المجال اظهرت دراسة (Anderson 1984) أن خلال اليوم الذي تم فيه سباق 10 كم لوحض نقص الكروم و الزنك ب 1.5 إلى 2 مرات من المستويات العادية. لكن بوجود تغذية متوازنة يمكن ان تعود تلك النسب إلى مستوياتها العادية (McArdele 2001: 52). من ناحية أخرى لوحض أن النوم و عدم ممارسة الحركة البدنية يستنزف مخزون النحاس و الزنك (Krebs 1987).

المحاضرة الرابعة: الكربوهيدرات (الغلويسيدات)

LES HYDRATES DE CARBONS

تمهيد

تُعد الكربوهيدرات (Carbohydrates) من المركبات العضوية الأساسية في الكائنات الحية، وهي تتكون كيميائيًا من عناصر الكربون (C) والهيدروجين (H) والأكسجين (O)، بنسبة تماثل تقريبًا النسبة الموجودة في جزيء الماء (H₂O)، مما يجعلها مركبات "مميّمة للكربون". توجد الكربوهيدرات في الطبيعة بصور متعددة، أهمها: السكريات البسيطة (Monosaccharides) مثل الجلوكوز والفركتوز، السكريات الثنائية (Disaccharides) مثل السكروز واللاكتوز، السكريات المعقدة أو المتعددة (Polysaccharides) مثل النشاء (Starch)، السليلوز (Cellulose)، والجليكوجين (Glycogen).

ونجد أن التركيب الكيميائي للكربوهيدرات هو العامل الأساسي الذي يُحدد خصائصها الفيزيائية والكيميائية، وكذلك وظائفها الحيوية في أنسجة الجسم. على سبيل المثال، وجود روابط α في النشاء يسهّل هضمه وتحلله في الجسم، بينما تمنع الروابط β في السليلوز هضمه في الجهاز الهضمي البشري.

1. الوظائف الحيوية للكربوهيدرات

1.1. مصدر رئيسي للطاقة

تشكل الكربوهيدرات المصدر الأساسي والسريع للطاقة، إذ تتحلل في الجسم إلى جلوكوز يتم أكسدته في الخلايا لإنتاج ATP، وهو الوقود الخلوي للنشاط العضلي والعمليات الحيوية.

2.1. سهولة وسرعة الأكسدة

يمكن للجسم أن يستخدم الجلوكوز مباشرة خلال النشاط البدني، ما يمنح الكربوهيدرات ميزة فسيولوجية مقارنة بالمصادر الأخرى للطاقة كالدهون والبروتينات.

3.1. تشكل جزءًا كبيرًا من الغذاء النباتي

تشكل الكربوهيدرات ما يقارب ثلاثة أرباع المادة الجافة للنباتات، وأكثر من نصف الغذاء المتداول عالميًا، مثل الحبوب، البقوليات، والدرنات.

4.1. رخيصة التكلفة ومتاحة

تُعتبر الكربوهيدرات من أكثر العناصر الغذائية وفرة واقتصادية، مما يجعلها عماد الأمن الغذائي على مستوى العالم.

5.1. سهولة التخزين والتصنيع

الكربوهيدرات، خاصة المعقدة مثل النشاء، يمكن تخزينها في أنسجة النبات أو الجسم (مثل الجليكوجين في الكبد والعضلات)، مما يضمن توافر الطاقة عند الحاجة.

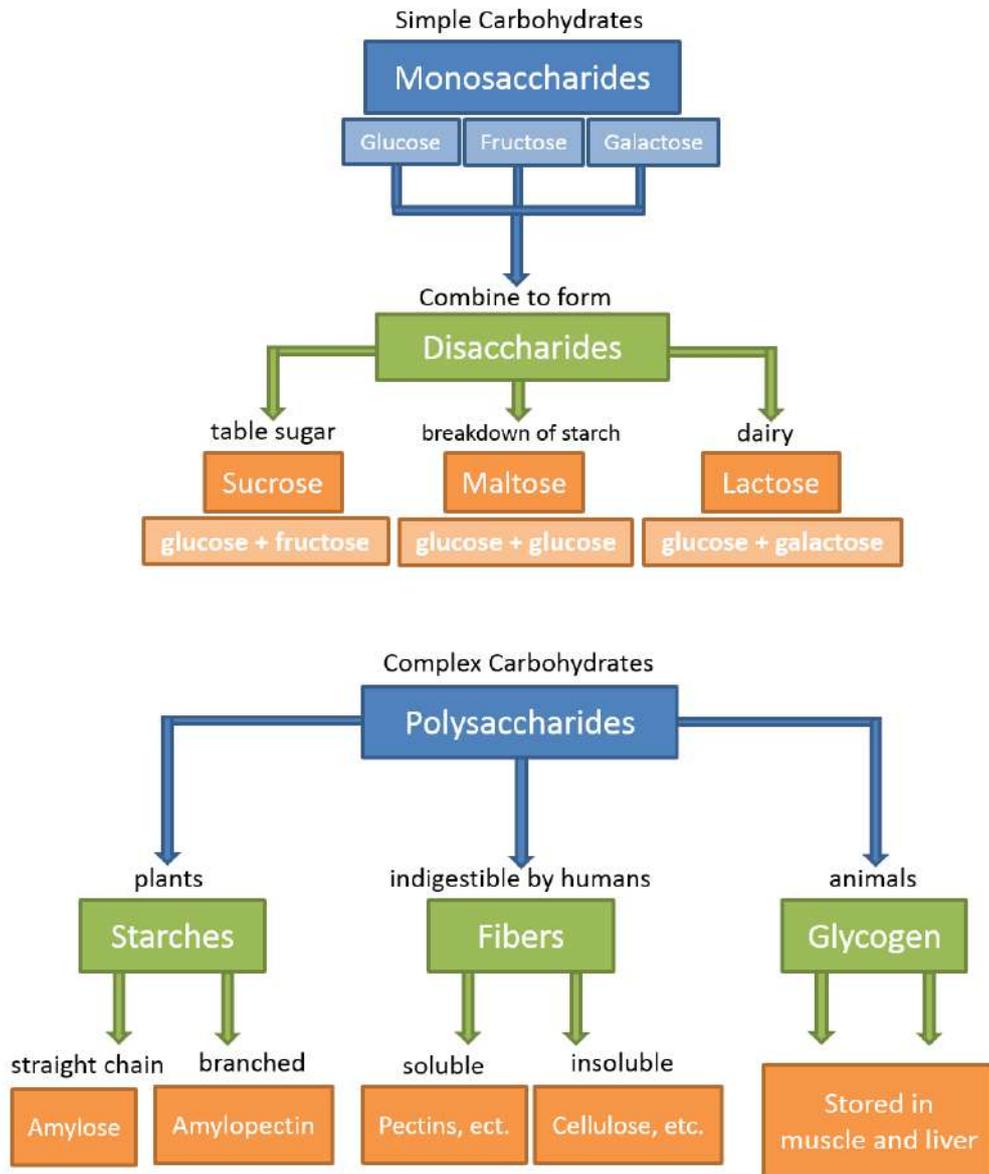
تشكل الكربوهيدرات عنصرًا غذائيًا أساسيًا للحياة، ليس فقط بسبب دورها في إنتاج الطاقة، بل أيضًا لأنها تدخل في تركيب الخلايا والأنسجة، وتؤدي دورًا تنظيميًا في العمليات الأيضية والهرمونية. إن دراسة تركيبها، ووظائفها، وميكانيكية تحليلها تُعد من المحاور الأساسية في الكيمياء الحيوية وعلم التغذية.

2. تصنيف الكربوهيدرات (السكريات)

تصنّف الكربوهيدرات إلى أربع مجموعات رئيسية، وذلك وفقًا لعدد جزيئات السكريات الأحادية (Monosaccharides) التي تدخل في تركيبها. هذا التصنيف يُستخدم بشكل شائع في الكيمياء الحيوية والتغذية الرياضية، ويُعد أساسيًا لفهم وظائف هذه المركبات في الجسم البشري (McArdle & Katch, 2009). فالكاربوهيدرات تصنف إلى: أ/السكريات الأحادية (Monosaccharides) هي أبسط أنواع الكربوهيدرات، تتكون من وحدة سكرية واحدة، ولا يمكن تحليلها إلى مركبات أبسط مثل:الجلوكوز الفركتوز، الجلاكتوز. ب/السكريات الثنائية (Disaccharides) تتكون من ارتباط وحدتين من السكريات الأحادية برابطة جليكوسيدية. مثل:السكروز المالتوز واللاكتوز.

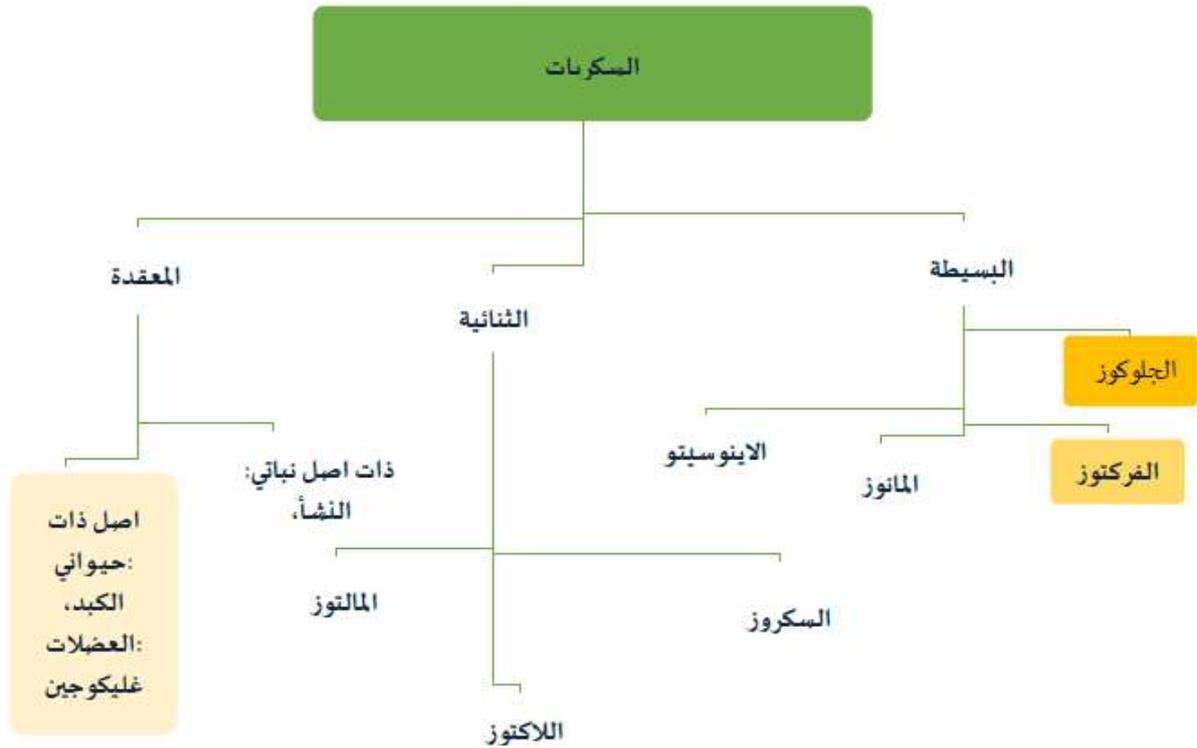
ج/السكريات قليلة الوحدات (Oligosaccharides)، تتكون من 3 إلى 10 وحدات من السكريات الأحادية، وتوجد بكميات أقل في الغذاء.توجد بشكل خاص في بعض الحبوب والبقوليات، وقد يكون لها دور في تعزيز البكتيريا النافعة في الأمعاء (Prebiotics).د/السكريات المتعددة (Polysaccharides):تتكون من سلاسل طويلة جدًا من وحدات الجلوكوز، وتُعد الشكل المخزن للكربوهيدرات في الكائنات الحية، مثل:النشاء، الجليكوجين والسليولوز. والشكل التالي يوضح ذلك:

Carbohydrate Concept Map



شكل رقم (03): يبين أنواع الكربوهيدرات حسب عدد الوحدات المكونة لها

و لتصنيفها بشكل مختصر للشكل السابق، لدينا الشكل رقم (02):



شكل رقم (04): يبين أنواع السكريات

1.2. السكريات الأحادية (Monosaccharides)

تُعد السكريات الأحادية أبسط أنواع الكربوهيدرات، وتمثل الوحدة الأساسية التي تُبنى منها السكريات الثنائية والمتعددة. وهي مركبات عضوية تحتوي على سلسلة غير متفرعة من ذرات الكربون، تُحاط بمجموعة من الوظائف الكحولية (OH-)، وتحتوي على وظيفة كربونيلية واحدة، إما ألدهيدية (CHO-) أو كيتونية (C=O)، مما يمنحها الخصائص الكيميائية والبيولوجية المميزة.

• ومن أهم خصائصها الكيميائية:

- ✚ لا يمكن تحليل السكريات الأحادية إلى وحدات أصغر عن طريق التحلل المائي.
- ✚ تحتوي على ذرات كربون يتراوح عددها غالبًا بين ثلاث إلى ست ذرات.
- ✚ قابلة للذوبان في الماء ولها طعم حلو نسبيًا.
- ✚ تدخل مباشرة في التفاعلات الأيضية لإنتاج الطاقة داخل الخلية.

1.1.2. تسمية السكريات الأحادية

يتم تسمية السكريات الأحادية بناءً على معيارين أساسيين:

1 التسمية حسب عدد ذرات الكربون

يعتمد هذا التصنيف على عدد ذرات الكربون في جزيء السكر الأحادي، ويُستخدم فيه اللاحقة "ose-" المأخوذة من اللاتينية، مع بادئة عددية:

جدول رقم (03): تسمية السكريات الأحادية حسب عدد ذرات الكربون

| عدد ذرات الكربون | الاسم العلمي | التسمية بالإنجليزية | أمثلة |
|------------------|--------------|---------------------|----------------------|
| 3 | تريوز | Triose | الجليسرألدهيد |
| 4 | تتروز | Tetrose | إريتروز |
| 5 | بنتوز | Pentose | ريبوز، دياوكسي ريبوز |
| 6 | هكسوز | Hexose | جلوكوز، فركتوز |

2 التسمية حسب نوع الوظيفة الكربونيلية

جدول رقم (04): تسمية السكريات الأحادية حسب نوع الوظيفة الكربونيلية

| نوع الوظيفة | التسمية | الصيغة العامة | مثال |
|-------------|----------------|--------------------------------|----------|
| ألدهيد | (Aldose) ألدوز | في الطرف $-CHO$ | الجلوكوز |
| كيتون | (Ketose) كيتوز | في الموضع الثاني غالبًا $>C=O$ | فركتوز |

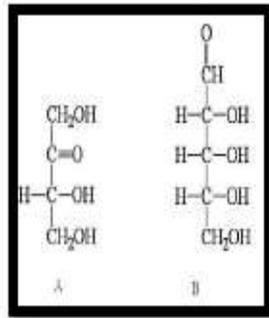
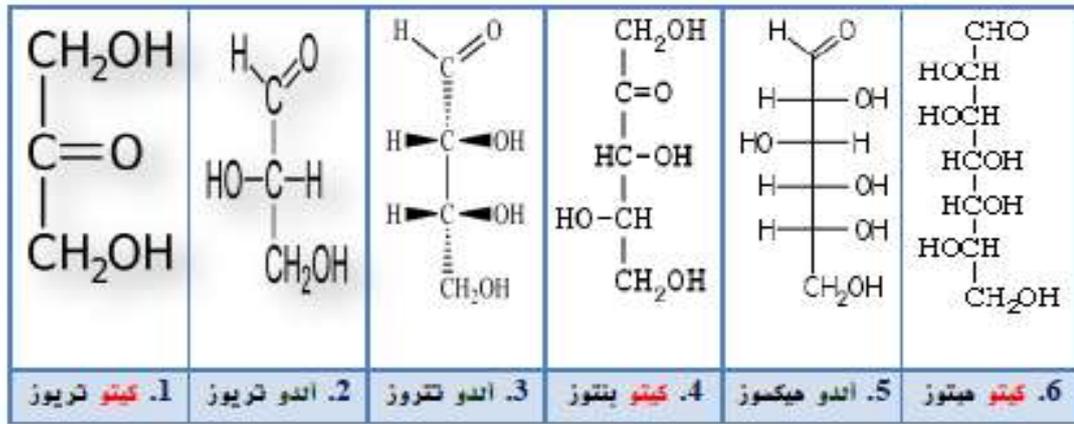
على سبيل المثال، الجلوكوز هو هكسوز ألدهيدي (Aldohexose)، بينما الفركتوز هو هكسوز كيتوني (Ketohehexose). كما يُستخدم هذا التصنيف لفهم تفاعلات الأيض المختلفة، مثل تحلل الجلوكوز (Glycolysis) أو تخزين الطاقة ويسهم في التمييز بين السكريات من حيث قابليتها للأكسدة والاختزال، وسلوكها في التفاعلات الكيميائية والإنزيمية.

كما أن الجدول التالي يوضح ذلك:

جدول رقم (05): تسمية السكريات الأحادية حسب عدد ذرات الكربون ونوع الوظيفة

| رقم السكر | عدد ذرات C | التسمية | نوع الوظيفة | التسمية | التسمية الكيميائية |
|-----------|------------|---------|-------------|---------|--------------------|
| 1 | 3 | تريوز | ونبة | تريوز | تريوز |
| 2 | 3 | تريوز | معدية | تريوز | تريوز |
| 3 | 4 | تتروز | معدية | تتروز | تتروز |
| 4 | 5 | بنتوز | ونبة | بنتوز | بنتوز |
| 5 | 6 | هكسوز | معدية | هكسوز | هكسوز |
| 6 | 7 | هبتوز | ونبة | هبتوز | هبتوز |

والأشكال التالية كذلك:



مثال:

✓ السكر البسيط A: ألدو هيكسوز

✓ السكر البسيط B: كيتو بنتوز

شكل رقم (05): يبين الصيغ الخطية للسكريات الأحادية من نوعي ألدووكيتو

2.1.2 تصنيف السكريات الأحادية حسب عدد ذرات الكربون

إنّ من أهمّ الكربوهيدرات الموجودة في الكائن الحيّ هي: البنتوزات والهيكسوزات

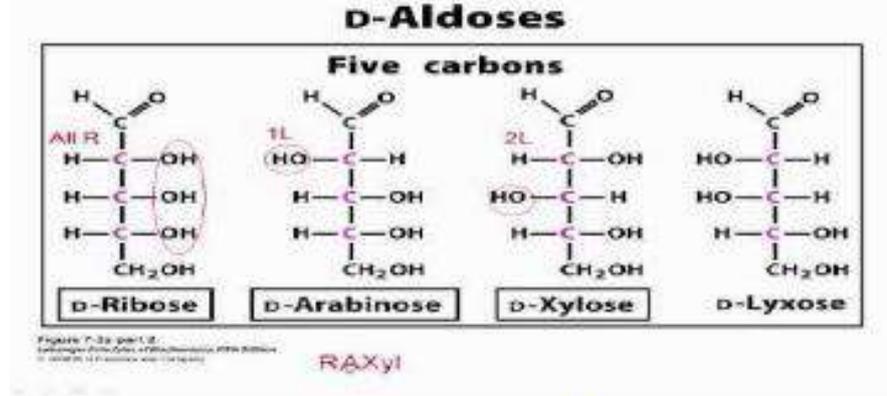
1.2.1.2 البنتوزات (Pentoses)

البنتوزات هي نوع من السكريات الأحادية (Monosaccharides) التي تحتوي على خمس ذرات كربون في بنيتها الجزيئية، وصيغتها العامة هي $\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_5$. وتُعد من السكريات الهامة في النظام الحيوي، حيث تلعب دوراً أساسياً في تركيب الأحماض النووية، ونقل الطاقة، والوظائف الأيضية للخلية.

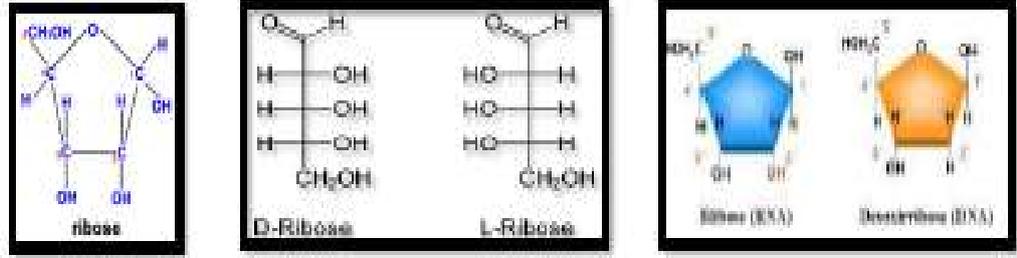
تُصنّف البنتوزات بحسب نوع المجموعة الكربونيلية (وظيفة ألدهيد أو كيتون) إلى:

- ألدو-بنتوزات (Aldopentoses) التي تحتوي على مجموعة ألدهيدية (-CHO) في الطرف الأول من السلسلة الكربونية ومن أمثلة ذلك: D-Ribose (الريبوز) الذي يُعد السكر الأساسي في تركيب الحمض النووي الريبوزي (RNA)، وكذلك Deoxy-D-ribose-2 (الريبوز المنزوع الأوكسجين): يدخل في تركيب الحمض النووي منقوص الأوكسجين (DNA).

كيتو-بنتوزات (Ketopentoses)، تحتوي على مجموعة كيتونية (C=O) غالبًا في الموضع الثاني من السلسلة الكربونية مثل Ribulose الذي يُستخدم في تفاعلات دورة كالفن في عملية التمثيل الضوئي. والأشكال التالية توضح أهم البنتوزات المتواجدة في الطبيعة:



حُكُن، البنتوزات الخمسة الأهم



قوة الريبوز

الريبوز والباري

حُكُن

قوة الريبوز

قوة الريبوز

حُكُن

ونجد أن الأهمية البيولوجية للبنتوزات تكمن في:

تدخل في بنية الأحماض النووية (DNA و RNA)، حيث يُشكّل الريبوز و-2-ديوكسي ريبوز العمود الفقري لسلاسل النيوكليوتيدات.

تُستخدم بعض البنتوزات في مسارات الأيض الوسيطة مثل مسار فوسفات البنتوز (Pentose Phosphate Pathway)، الذي يُنتج NADPH اللازم للعمليات الحيوية.

تدخل في تركيب بعض الإنزيمات، الأنزيمات المساعدة، والنيوكليوتيدات مثل ATP، NAD^+ ، FAD.

تُعد جزءًا من مكونات الخلايا النباتية، ومرتبطة بعملية البناء الضوئي في الكلوروبلاستات.

2.1.2.2 الهكسوزات (Hexoses)

الهكسوزات هي نوع من السكريات الأحادية (Monosaccharides) التي تحتوي على ست ذرات كربون ($C_6H_{12}O_6$)، وتُعد من أكثر الكربوهيدرات شيوعًا وأهمية من الناحية الحيوية والغذائية. وتلعب دورًا

محوريًا في إنتاج الطاقة، وتخزينها، إضافةً إلى اشتراكها في العديد من التفاعلات الحيوية والأنشطة الخلوية. تُصنف الهكسوزات إلى مجموعتين رئيسيتين بناءً على نوع المجموعة الكربونيلية الموجودة فيها:

- ألدو-هكسوزات (Aldohexoses) تحتوي على مجموعة ألدهيدية (-CHO) في ذرة الكربون الأولى. أشهر الأمثلة: D-Glucose (الجلوكوز): أهم مصدر للطاقة في الكائنات الحية. D-Galactose (الجالاكتوز): يدخل في تركيب اللاكتوز في الحليب.

- كيتو-هكسوزات (Ketohexoses) تحتوي على مجموعة كيتونية (C=O) في ذرة الكربون الثانية. أشهر D-Fructose (الفروكتوز): يوجد في ، ويُعد الفواكه والعسل من أحلى السكريات الطبيعية. وتبرز الأهمية البيولوجية للهكسوزات في:

- مصدر أساسي للطاقة: الجلوكوز هو الوقود الرئيسي لجميع خلايا الجسم، خاصة الدماغ.
 - تخزين الطاقة: يتم تخزين الجلوكوز في صورة جليكوجين في الحيوانات، ونشا في النباتات.
 - مكونات بنيوية: تدخل بعض الهكسوزات في تركيب السكريات المعقدة، والدهون السكرية، والبروتينات السكرية.
 - أدوار أيضية: الهكسوزات مثل الجلوكوز تدخل في مسارات حيوية هامة مثل تحلل الجلوكوز (Glycolysis) ودورة حمض الستريك.
 - تدخل في بناء الجزيئات الحيوية: مثل النيوكليوتيدات، والإنزيمات المساعدة (مثل NAD^+ و FAD).
- سوف ندرس أهم الهكسوزات المتواجدة في الكائن الحي:

أولاً: الجلوكوز

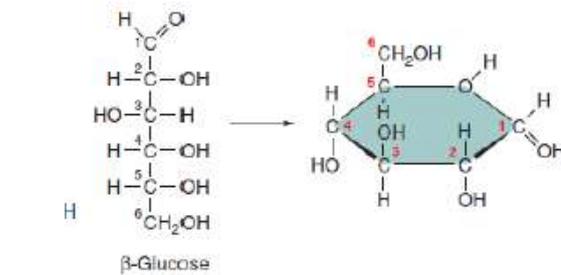
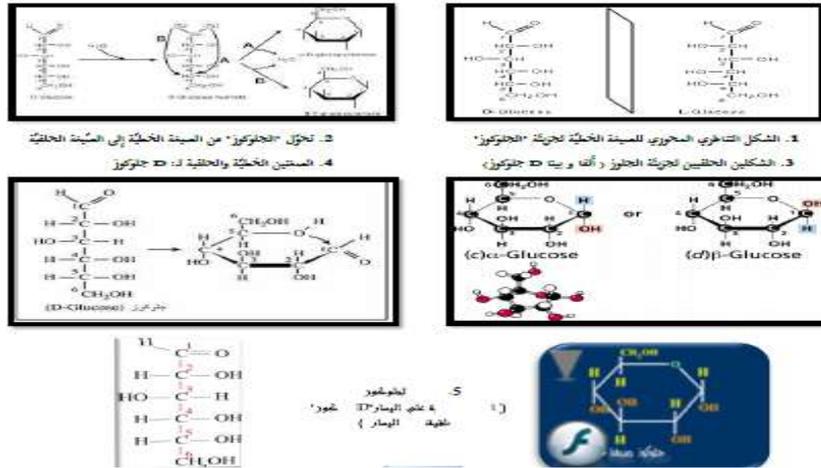
الجلوكوز هو سكر أحادي (Monosaccharide) ينتمي إلى فئة الألدو-هكسوزات (Aldohexoses)، أي أنه يحتوي على ست ذرات كربون ومجموعة ألدهيدية (-CHO). صيغته الجزيئية هي $C_6H_{12}O_6$ ، ويُعد من أهم السكريات البسيطة في الكائنات الحية لأنه يمثل المصدر الأساسي للطاقة لمعظم الخلايا الحيوية، خاصة في الدماغ والعضلات. يتواجد الجلوكوز في الطبيعة بأحد شكلين: الشكل المفتوح (ألدهيدي) والشكل الحلقي (أكثر استقرارًا في المحاليل)، وهو الشكل الذي يوجد عادة في الدم والغذاء، حيث يشكل حلقة سداسية تُعرف باسم بيرانوز (Pyranose). يوجد طبيعيًا في: الفواكه (مثل العنب)، العسل والنشويات بعد التحلل (كالخبز والأرز)

ومن خصائصه الفيزيائية والكيميائية:

- الصيغة الجزيئية: $C_6H_{12}O_6$

- الكتلة الجزيئية: ~180 غ/مول
- قابلية الذوبان: يذوب بسهولة في الماء بسبب مجموعاته الهيدروكسيلية (OH) العديدة.
- الطعم: حلو لكن أقل حلاوة من الفركتوز.
- النشاط الكيميائي: يمكن أن يخضع لتفاعلات أكسدة، اختزال، تكثيف، وتخمير.
- ومن أهم الوظائف الحيوية للجلوكوز:
- مصدر الطاقة الأولي، يستخدم مباشرة في عملية التحلل السكري (Glycolysis) لتوليد ATP. كل جزيء جلوكوز يعطي طاقة عالية (حتى 38 ATP عند الأكسدة الكاملة).
- يُخزن على شكل جليكوجين في الكبد والعضلات للاستخدام لاحقًا.
- مادة أولية لصناعة مركبات حيوية، يدخل في تركيب النيوكليوتيدات، الدهون السكرية، البروتينات السكرية ويساهم في تكوين الحامض النووي الريبوزي المنقوص الأكسجين (DNA) والريبوزي (RNA) بشكل غير مباشر.
- أهمية في تنظيم التوازن الداخلي، يُنظم عبر هرمونات مثل الأنسولين والجلوكاجون للحفاظ على توازن سكر الدم.

والأشكال التالية تبين صيغته الخطية والحلقية:



شكل رقم (06): يبين الصيغة الخطية والحلقية للجلوكوز

ثانياً: الجالاکتوز (Galactose)

الجالاکتوز هو سكر أحادي (Monosaccharide) ينتمي إلى فئة الألدو-هكسوزات (Aldohexoses)، أي أنه يحتوي على ست ذرات كربون ($C_6H_{12}O_6$) ومجموعة ألدهيدية. ويُعد الإيزومير الفراغي (Epimer) للجلوكوز، حيث يختلف عنه فقط في الترتيب الفراغي لمجموعة الهيدروكسيل ($-OH$) على الكربون الرابع.

يوجد الجالاکتوز في الطبيعة غالباً متحداً مع الجلوكوز في سكر اللاكتوز (سكر الحليب)، كما يدخل في تركيب العديد من المركبات الحيوية المهمة مثل السكريات المخاطية (mucopolysaccharides) والدهون السكرية (glycolipids).

ومن أهم الخصائص البنوية والكيميائية لهذا السكر:

- الصيغة الجزيئية: $C_6H_{12}O_6$
- الكتلة المولية: ~ 180.16 جم/مول
- قابلية الذوبان: يذوب جيداً في الماء.
- ينصهر عند درجة حرارة مئوية 165°
- يعطي عند أكسدته حمض D الجلوكتونيك ($C_6H_{12}O_7$) وحمض المونيك ($C_6H_{10}O_8$)
- النشاط الكيميائي: مشابه للجلوكوز، يشارك في تفاعلات الأكسدة والاختزال، ويتحول بسهولة إلى جلوكوز في الكبد.

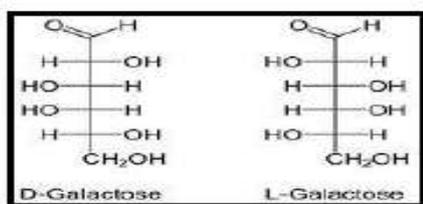
يتواجد الجالاکتوز عادة في شكلين، شكل مفتوح السلسلة يحوي مجموعة ألدهيدية وشكل حلقي سداسي يُعرف باسم galactopyranose، وهو الشكل السائد في المحاليل الحيوية.

ومن أهم الوظائف الحيوية للجالاکتوز:

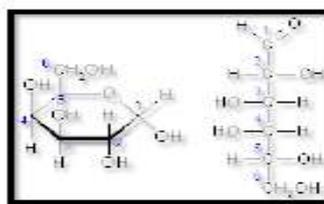
- يدخل في تركيب سكر اللاكتوز حيث اللاكتوز = جلوكوز + جالاکتوز (رابطة جلايكوسيدية).
- عنصر أساسي في تركيب الجليكوليبيدات والجليكوبروتينات

- تشارك هذه المركبات في تحديد الزمر الدموية (ABO) والتعرف الخلوي.
 - مصدر طاقة ثانوي، حيث تم تحويل الجالاكتوز إلى جلوكوز في الكبد عبر مسار Leloir ليستخدم كمصدر طاقة.
 - مهم لوظائف الجهاز العصبي، يدخل في تركيب الغالاكتيكوسيريبروزيدات التي تُعد من مكونات الغلاف المياليني للأعصاب.
- يحصل الإنسان على الجالاكتوز من الحليب ومنتجاته (كما يتواجد في حليب الأمهات). في حالة نقص إنزيم الجالاكتوز-1-فوسفات يوريديل ترانسفيراز (GALT)، تتراكم مركبات الجالاكتوز مسببة داء الجالاكتوسيميا (Galactosemia)، وهو مرض وراثي خطير قد يؤدي إلى تلف الكبد والدماغ إذا لم يُعالج.
- كما يتم استقلاب الجالاكتوز في الكبد عبر سلسلة من التفاعلات: تحويل الجالاكتوز إلى جالاكتوز-1-فوسفات ثم تفاعل مع UDP-glucose لإنتاج UDP-galactose و glucose-1-phosphate. وأخيرا تحويل glucose-1-phosphate إلى glucose-6-phosphate، الذي يدخل في التحلل السكري (glycolysis).

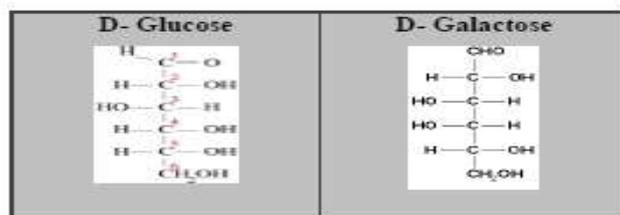
والأشكال التالية توضح الصيغة الخطية والحلقية للجالاكتوز:



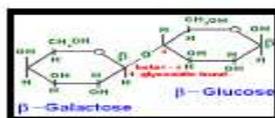
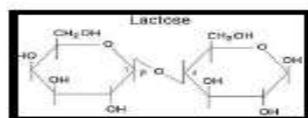
الحلقة ل-D، بوز و D، غوز



طية والحلقة غر، غوز



تبي الخطتين ل-D، بوز و D، غوز



شكل رقم (07): بين الصيغة الخطية والحلقية للجالاكتوز

ثالثًا: الفروكتوز (Fructose)

الفروكتوز هو سكر أحادي (monosaccharide) ينتمي إلى فئة الكيتوهكسوزات (ketohexoses)، أي أنه يحتوي على ست ذرات كربون ومجموعة كيتونية في موقع الكربون الثاني. يُعرف أيضًا باسم سكر الفاكهة (fruit sugar) نظرًا لوجوده الطبيعي بكثرة في الفواكه (التفاح، الكمثرى، البطيخ، العنب، المانجو)، العسل، وبعض الخضروات (مثل البنجر والبطاطا الحلوة)، شراب الذرة عالي الفركتوز (HFCS)، العصائر الطبيعية والمصنعة. وستواجد كذلك في الدم والحيوانات المنوية إذ يهد الغذاء الوحيد لها. كما يُعد الفروكتوز من السكريات البسيطة المهمة في تغذية الإنسان، وهو الإيزومير البنوي للجلوكوز، لكنه يختلف عنه في نوع الرابطة الكربونيلية وموقعها.

ومن أهم الخصائص البنوية والكيميائية لهذا السكر:

❖ الصيغة الجزيئية: $C_6H_{12}O_6$

❖ الكتلة الجزيئية: ≈ 180.16 جم/مول

❖ المجموعة الوظيفية: كيتون ($-CO-$)

❖ البنية: غالبًا ما يتواجد في الطبيعة في الشكل الحلقي خماسي الأضلاع (furanose ring).

ومن أهم الوظائف الحيوية للفروكتوز:

- مصدر طاقة سريع الامتصاص: يتم امتصاص الفروكتوز في الأمعاء الدقيقة عبر نواقل خاصة (GLUT5)، ويُحوَّل في الكبد إلى جلوكوز أو يدخل في مسارات إنتاج الطاقة.
- يشارك في تكوين السكروز: السكروز (سكر المائدة) = جلوكوز + فروكتوز.
- أقل تأثيرًا على نسبة الجلوكوز في الدم، لا يتطلب وجود الأنسولين لدخوله إلى الخلايا، ولهذا يُستخدم أحيانًا كمُحلِّ بديل في الأنظمة الغذائية لمرضى السكري، لكن بحدود.
- يُستقلب الفروكتوز في الكبد بسرعة دون تنظيم صارم من الأنسولين، مما قد يؤدي إلى زيادة تصنيع الدهون الثلاثية إذا تم تناوله بكميات كبيرة.
- لا يحفز إفراز الإنسولين أو اللبتين كما يفعل الجلوكوز، ما قد يساهم في الإفراط في الأكل وزيادة الوزن.
- يُستخدم كمُحلي في الأطعمة والمشروبات.

- يدخل في تركيب شراب الذرة عالي الفركتوز (HFCS) المستخدم في صناعة المشروبات الغازية والمخبوزات.

إلا أن الإفراط في استهلاك الفركتوز (خاصة في شكل HFCS) مرتبط بزيادة خطر:

❖ مقاومة الإنسولين

❖ الكبد الدهني غير الكحولي (NAFLD)

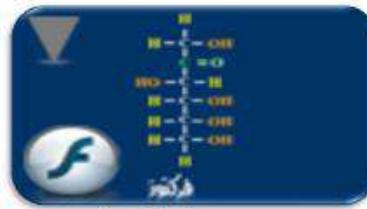
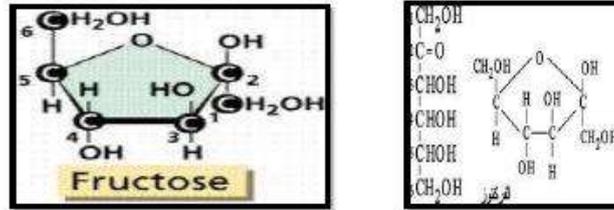
❖ السمنة ومتلازمة الأيض

❖ اضطرابات في أيض الدهون.

جدول رقم (05): مقارنة بين الجلوكوز والفركتوز

| العنصر | الجلوكوز | الفركتوز |
|-------------------|----------------------------|---------------------------------|
| نوع السكر | ألدهيد (Aldose) | كيتون (Ketose) |
| الامتصاص | سريع + يعتمد على الإنسولين | سريع + لا يعتمد على الإنسولين |
| التأثير على السكر | يرفع الغلوكوز في الدم | تأثير ضعيف على الجلوكوز في الدم |
| الاستقلاب الأساسي | في جميع الخلايا | في الكبد بشكل رئيسي |

والأشكال التالية توضح الصيغ العامة والحلقية لكل من الجلوكوز والجالاكتوز والفركتوز:



سلسلة لسفر الفركتوز

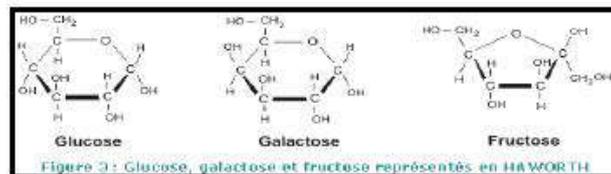


Figure 3: Glucose, galactose et fructose représentés en HAWORTH

شكل رقم (08): يبين الصيغ الخطية والحلقية للجلوكوز والجالاكتوز والفركتوز.

2.2. السكريات الثنائية (Disaccharides)

السكريات الثنائية هي كربوهيدرات بسيطة تتكوّن من اتحاد جزيئين من السكريات الأحادية (monosaccharides) بواسطة رابطة غليكوزيدية (glycosidic bond)، مع فقدان جزيء ماء (H₂O) في عملية تُعرف باسم التكاثف أو النزع المائي (condensation reaction). صيغتها الجزيئية العامة هي: C₁₂H₂₂O₁₁ هذه السكريات مصدرًا مهمًا للطاقة، وتحتاج إلى تحلل إنزيمي (hydrolysis) في الجهاز الهضمي لتتحول إلى وحداتها الأساسية قبل امتصاصها في الأمعاء الدقيقة.

جدول رقم (06): الخصائص العامة للسكريات الثنائية

| الخاصية | التوضيح |
|---------------------|------------------------------------------------------|
| التركيب | تتكون من وحدتين من السكريات الأحادية |
| الرابطية الكيميائية | رابطة غليكوزيدية بين ذرتي كربون من السكريات الأحادية |
| الطعم | حلو، لكنه يختلف باختلاف النوع |
| الذوبانية | تذوب جيدًا في الماء |
| مصادرها الطبيعية | الغذاء النباتي والحيواني (العسل، الحليب، الفواكه) |
| الهضم | يتم هضمها بواسطة إنزيمات متخصصة إلى سكريات أحادية |
| الامتصاص | لا تُمتص مباشرة؛ يجب أن تتحلل إلى وحدات بسيطة |

كما تبرز الأهمية الحيوية والغذائية للسكريات الثنائية في:

- مصدر سريع للطاقة: تتحلل السكريات الثنائية إلى وحداتها البسيطة لتمد الجسم بالطاقة الفورية.
- وظيفية غذائية خاصة: اللاكتوز مثلًا مهم في غذاء الرضيع.
- تأثير على مؤشر السكر في الدم: يختلف حسب نوع السكر الأحادي الناتج.
- كما أن للسكريات الثنائية دور مهم أثناء الجهد البدني يتمثل في:
- تساهم في تعويض سريع لمخزون الطاقة (خصوصًا السكروز والمالتوز) بعد التمرينات.

• تدخل في تصنيع مشروبات الطاقة الرياضية لتزويد الجسم بسكر سهل الهضم وسريع الامتصاص.

• اللاكتوز يساهم في تعزيز امتصاص الكالسيوم لدى الرياضيين الشباب يوجد في الطبيعة ثلاثة أنواع رئيسية من السكريات الثنائية تتمثل في: السكروز، المالتوز واللاكتوز، والجدول التالي يعرف هذه السكريات

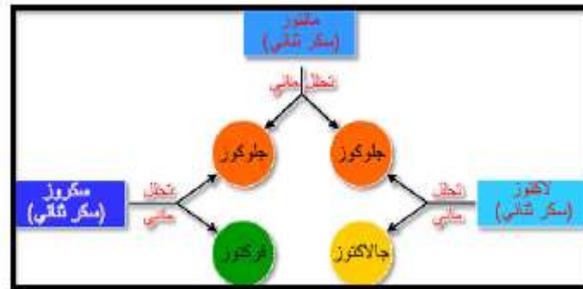
جدول رقم (07): الخصائص العامة للسكريات الثنائية

| السكريات الثنائية | المكونات (السكريات الأحادية) | المصدر الطبيعي | الإنزيم المسؤول عن الهضم |
|--------------------|------------------------------|-------------------------------------|--------------------------|
| السكروز (Sucrose) | جلوكوز + فروكتوز | سكر المائدة، الفواكه، البنجر، القصب | إنزيم السكراز (Sucrase) |
| اللاكتوز (Lactose) | جلوكوز + جالكتوز | الحليب ومنتجاته | إنزيم اللاكتاز (Lactase) |
| المالتوز (Maltose) | جلوكوز + جلوكوز | الحبوب المبنية، النشاء المتحلل | إنزيم المالتيز (Maltase) |

ملاحظات هامة:

- السكروز هو أكثر السكريات الثنائية استهلاكاً عالمياً.
- عدم تحمل اللاكتوز شائع في بعض المجموعات العرقية، مما يتطلب اتباع نظام غذائي خاص.
- المالتوز ناتج ثانوي طبيعي لتحلل النشاء أثناء إنبات الحبوب أو الطهي.

والأشكال التالية يوضح أهم السكريات الثنائية وكيفية تشكيلها:



شكل رقم (09): يبين أهم السكريات الثنائية وكيفية تشكيلها.

1.2.2 المالتوز (Maltose)

المالتوز هو سكر ثنائي (Disaccharide) يتكوّن من جزئين من الجلوكوز (α -D-glucose) مرتبطين معًا بواسطة رابطة غليكوزيدية $\alpha(1\rightarrow4)$. يُعرف أيضًا باسم "سكر الشعير" لأنه يتكوّن بكثرة أثناء تحلل النشاء (النشا) في الحبوب أثناء الإنبات أو الهضم. صيغته الجزيئية العامة هي ($C_{12}H_{22}O_{11}$)

ومن أهم المصادر الغذائية لسكر المالتوز:

- الحبوب المنبته مثل الشعير (Barley)
 - منتجات الشعير مثل شراب المالت (Malt syrup)
 - المخبوزات التي تحتوي على خمائر أو إنزيمات محللة للنشاء
 - تحلل النشاء في الفم أو الأمعاء الدقيقة
- إن الأهمية البيولوجية لهذا السكر الثنائي تتمثل في:
- مصدر للطاقة السريعة: يتحلل إلى جلوكوز، مما يساهم في رفع مستوى السكر في الدم بسرعة.
 - منتج وسيط طبيعي في هضم الكربوهيدرات.
 - يُستخدم في الصناعات الغذائية كمُحلٍ خفيف وسهل الامتصاص.
 - يحتوي على مؤشر سكري عالٍ، ما يجعله مناسبًا بعد النشاط البدني لتعويض الجليكوجين العضلي.

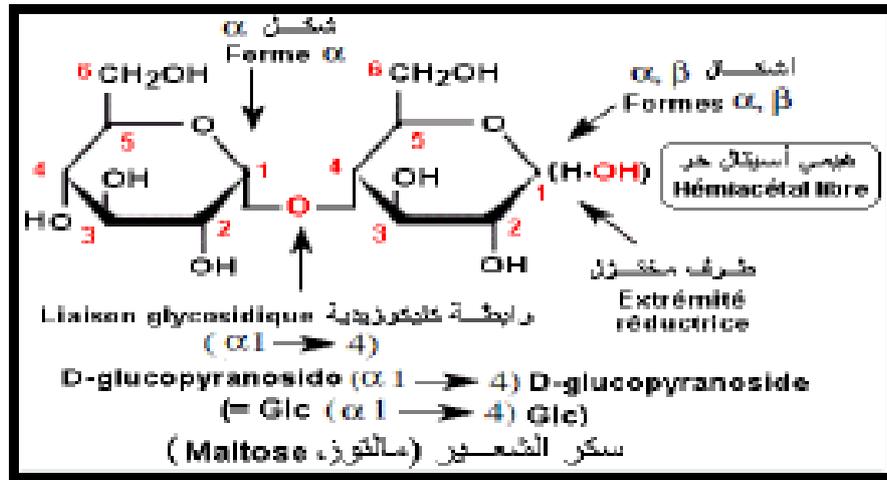
كما أن لسكر المالتوز أهمية في مجال الجهد البدني من خلال:

- يُستخدم سكر المالتوز في بعض المكملات الغذائية الرياضية لتعويض الطاقة بعد التمرينات، خاصة لاحتوائه على جلوكوز سريع الامتصاص.
- يساعد في إعادة ملء مخازن الجليكوجين العضلي بعد الجهد البدني المكثف.
- يُفضّل في بعض الحالات على السكروز، لأن جسم الرياضي لا يحتاج إلى إنزيمات متعددة لتحليله، مما يجعله أكثر فاعلية في الاسترجاع الطاقوي السريع.

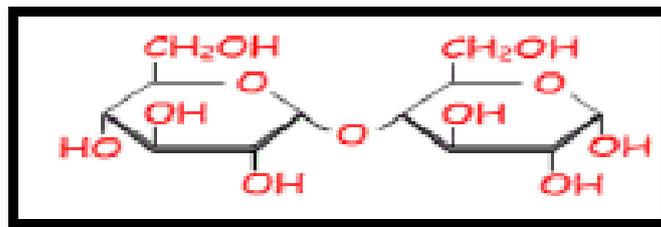
جدول رقم (08): الخصائص العامة لسكر المالتوز

| الخاصية | التوضيح |
|-------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| التركيب الكيميائي | جزيئان من α -D-glucose مرتبطان برابطة $\alpha(1 \rightarrow 4)$ |
| الطعم | حلو، لكن أقل حلاوة من السكروز والفركتوز |
| الذوبانية | يذوب بسهولة في الماء |
| الهضم | يتحلل بواسطة إنزيم المالتيز إلى جلوكوز |
| المؤشر الجلايسيمي | مرتفع نسبياً، لأنه ينتج جلوكوزاً حراً |
| النشاط الإنزيمي | يُنْتَج في الجسم من تحلل النشاء بفعل إنزيم الأميلاز ثم يُكسر إلى جلوكوز بواسطة المالتيز |

كما أن الأشكال التالية توضح الصيغ الكيميائية لسكر المالتوز:



يوضح "المسكر المالتوز" الشعير "Malt" العلمية والعامة



التسمية العلمية لسكر المالتوز: D-جلوكوز بيرانونيد ألفا (1,4) جلوكوز بيرانونيد

شكل رقم (10): يبين الصيغ الكيميائية لسكر المالتوز.

2.2.2. اللاكتوز (Lactose)

اللاكتوز هو سكر ثنائي (Disaccharide) يتكوّن من اتحاد جزيئين من السكريات الأحادية، هما: جلوكوز (Glucose) والجالاكتوز (Galactose)، وهذا الاتحاد يتم من خلال رابطة غليكوزيدية (β 1-4)، مما يجعل تركيبه أكثر تعقيداً في الهضم مقارنة بالمالتوز أو السكروز. صيغته الجزيئية: ($C_{12}H_{22}O_{11}$)، يتم تحليله في المعدة بواسطة أنزيم "اللاكتاز" أو "جلاكتوسيداز" إلى مكوناته من السكريات الأحادية. لسكر اللاكتوز أهمية كبيرة بحيث أنه لا تحدث له عملية تخثر حمضي في المعدة، ويساعد على نمو البكتيريا النافعة في الأمعاء، كما أنّ له دور في امتصاص عنصر الكالسيوم والفوسفور داخل جسم الكائن الحي. ويعدّ كذلك الغذاء الرئيسي للطفل الرضيع. تتمثل المصادر الطبيعية لسكر اللاكتوز في:

- حليب الإنسان والحيوانات (البقر، الماعز، الأغنام)
- منتجات الألبان مثل الزبادي، الجبن، اللبن، القشدة
- بعض المكملات الغذائية المحتوية على الحليب

كما أن أهميته البيولوجية تكمن في:

- مصدر أساسي للطاقة عند الرضع، خاصة في الشهور الأولى من الحياة.
- يدعم نمو وتطور الدماغ والجهاز العصبي بفضل وجود الجالاكتوز.
- يسهم في امتصاص الكالسيوم والمغنيسيوم والفوسفات في الأمعاء.
- له دور في تنمية البكتيريا النافعة (الفلورا المعوية) في القولون.

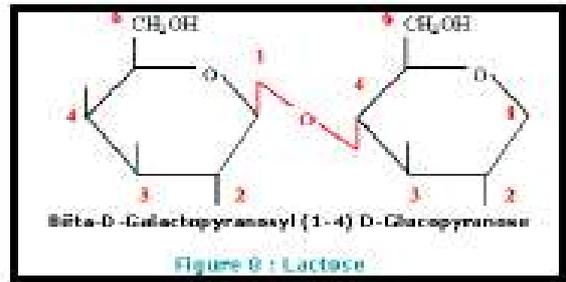
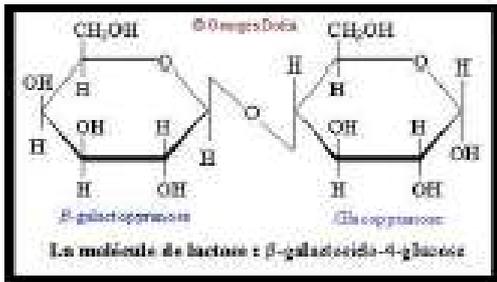
كما أن له أهمية في مجال النشاط البدني تتمثل في:

- ❖ يُعد مصدراً معتدلاً للطاقة، خاصة في الوجبات المرافقة للتمارين متوسطة الشدة.
 - ❖ منتجات الألبان المحتوية على اللاكتوز تعتبر مهمة في برامج التغذية الرياضية بسبب احتوائها أيضاً على البروتينات والكالسيوم.
 - ❖ يمكن أن تسهم في تعويض مخازن الجليكوجين بعد التمرين، لكن استخدامها محدود لدى الرياضيين الذين يعانون من عدم تحمل اللاكتوز.
- والجدول التالي يبين خصائص سكر اللاكتوز

جدول رقم (09): الخصائص العامة لسكر المالتوز

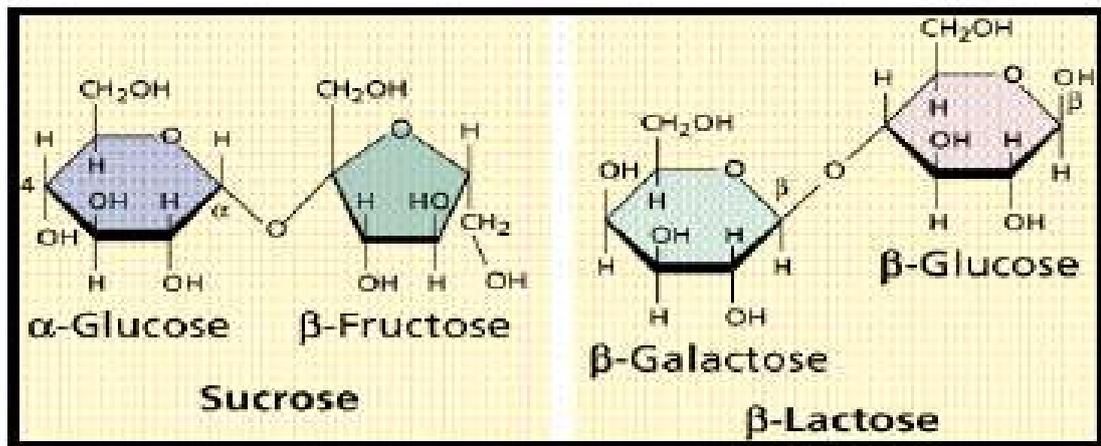
| الخاصية | التوضيح |
|-------------------|-----------------------------------------------------------|
| التركيب الكيميائي | جلوكوز + جالكتوز، مرتبطان برابطة $\beta(1 \rightarrow 4)$ |
| المصدر الطبيعي | يوجد بشكل رئيسي في الحليب ومنتجاته |
| الحلاوة النسبية | منخفضة مقارنة بالسكروز (حوالي 16% من حلاوته) |
| الهضم | يتحلل بواسطة إنزيم اللاكتاز الموجود في الأمعاء الدقيقة |
| الدوبانية | أقل ذوباناً من معظم السكريات الثنائية |
| المؤشر الجلايسيمي | متوسط إلى منخفض |

والأشكال التالية تبين الصيغ الكيميائية لسكر اللاكتوز:



زئبة لسكر " لكتوز (الألبان)

يوضحين



شكل رقم (11): يبين الصيغ الكيميائية لسكر اللاكتوز.

3.2.2. السكروز (Sacarose)

السكروز هو سكر ثنائي (Disaccharide) يتكوّن من اتحاد جزيئين من السكريات الأحادية: جلوكوز (Glucose) وفركتوز (Fructose) وهما مرتبطان برابطة غليكوزيدية $\beta(1\rightarrow2)\alpha$. صيغته الجزيئية: $(C_{12}H_{22}O_{11})$ ، يتحلّل في المعدة بأنزيم "السكراريز" حيث يتم هضم السكروز في الأمعاء الدقيقة بواسطة إنزيم السكراز (sucrase)، حيث يُحلل إلى جلوكوز: يُمتص سريعًا في الدم وفركتوز يُمتص ثم يتحول في الكبد إلى جلوكوز أو دهون ثلاثية. ومن أهم مصادره الغذائية نجد:

✓ قصب السكر.

✓ بنجر السكر.

✓ الفواكه (مثل: الأناناس، المانجو).

✓ الخضروات الجذرية (كالجزر).

✓ الحلويات والمشروبات الغازية.

وتكمن الأهمية البيولوجية لسكر السكروز في:

✓ مصدر سريع للطاقة خاصة في حالات النشاط البدني أو الجهد الذهني

✓ يستخدم في التغذية الرياضية لاستعادة الطاقة الفورية بعد التمارين

✓ يسهم في رفع سكر الدم بسرعة، وهو ما يُستخدم أحيانًا في حالات نقص السكر

(Hypoglycemia)

أما في مجال النشاط البدني فسكرالسكروز مفيد في أنه:

✓ يُستخدم السكروز في بعض مشروبات الطاقة الرياضية.

✓ عند مزجه مع الجلوكوز أو المالتوديكستين، يمكن تحسين معدّل امتصاص الكربوهيدرات.

✓ يساعد على إعادة تخزين الجليكوجين العضلي بعد التمارين.

✓ ومع ذلك، الاستخدام المفرط قد يؤدي إلى نتائج عكسية مثل اضطرابات الجهاز الهضمي أو

التأثير السلبي على صحة القلب والأوعية الدموية.

كما يوصى بعدم تجاوز 10% من مجموع السعرات اليومية من السكريات الحرة بما فيها السكروز، حسب

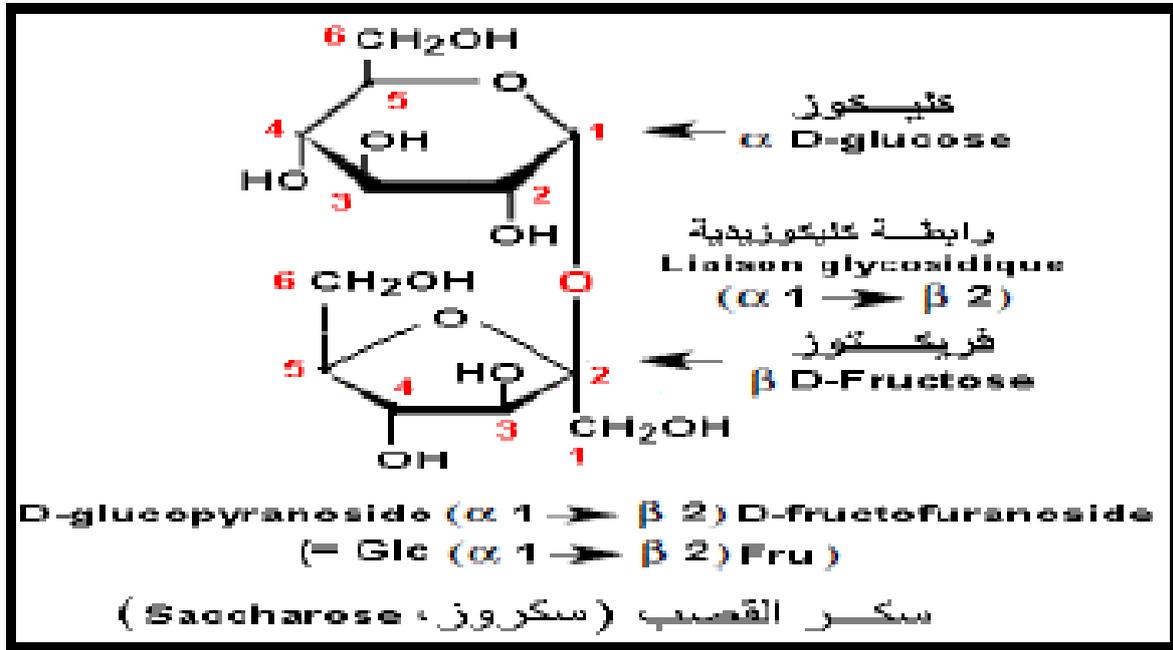
توصيات منظمة الصحة العالمية (WHO, 2015).

وبين الجدول التالي أهم الخصائص الكيميائية والفيزيائية للسكروز.

جدول رقم (10): الخصائص العامة لسكر السكروز

| الخاصية | التوضيح |
|-------------------|-------------------------------------------|
| التركيب الكيميائي | جلوكوز + فركتوز |
| الرابطة | $\alpha(1 \rightarrow 2)\beta$ غليكوزيدية |
| المذاق | عالي الحلاوة (مرجع للسكريات) |
| الذوبان | يذوب بسهولة في الماء |
| الحالة الطبيعية | بلورات بيضاء في صورته النقية |

كما أن الشكل التالي يوضح الصيغ الكيميائية لسكر السكروز



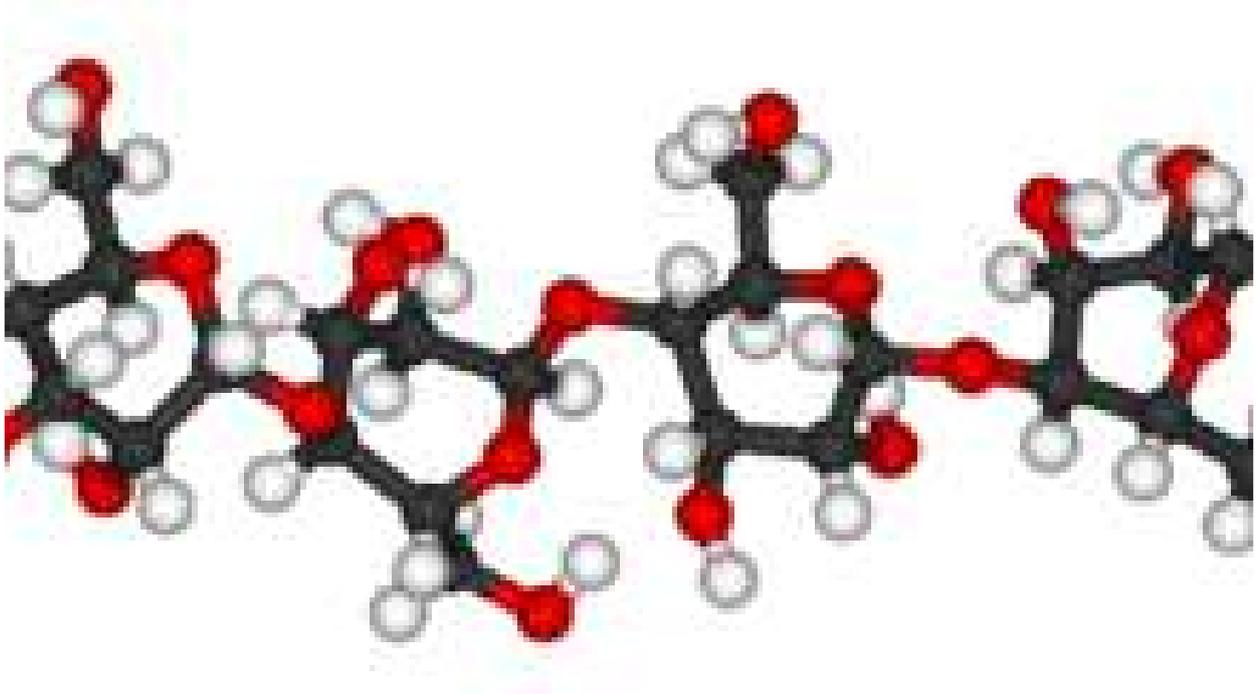
شكل رقم (12): يبين الصيغة الحلقية لسكر اللاكتوز.

3.2. السكريات المعقدة (Les Polysaccharides)

وهي السكريات التي يحتوي الجزء منها على عدد من 2 إلى 10 وحدات من السكريات الأحادية مرتبطة مع بعضها بروابط غلوسيدية ويمكن تحليلها إلى السكريات البسيطة ، وتنقسم هذا النوع إلى قسمين حسب نوع وحدات السكر الأحادي المكون لجزيئاتها إلى :

- السكريات المتعددة المتجانسة : هي التي تحتوي على نوع واحد من السكريات الأحادية
- السكريات المتعددة الغير المتجانسة : هي التي تحتوي على أكثر من نوع واحد من السكريات الأحادية

كما تعدّ السكّريّات المعقّدة أو المركّبة من أكثر الموادّ الكربوهيدراتيّة تعقيداً في تركيبها الكيميائي وذلك لاحتوائها على أكثر من عشر وحدات من السكّريّات الأحاديّة، كما تعدّ من أكثر السكّريّات انتشاراً في الطبيعة من حيث كمّيّتها. والشكل الموالي يبيّن درجة تعقيد السكريات المركّبة من حيث التركيب الجزيئي.



شكل رقم (13): درجة تعقيد السكريات المركّبة من حيث التركيب الجزيئي.

ويعتبر النّشاء والجليكوجين والسيليلوز من أهمّ الكربوهيدرات العديدة التسكر ذات الوزن الجزيئي العالي.

1.3.2. النّشاء (Starch)

النّشاء هو أحد السكريات المعقدة (السكريات المتعددة – Polysaccharides) ويتكون من وحدات متكررة من الجلوكوز مرتبطة بروابط غليكوسيدية. يتكون جزيئ النّشاء من (100) إلى (20000) وحدة من الجلوكوز يُخزن في النباتات كمصدر احتياطي للطاقة، ويوجد بكثرة في الحبوب (كالقمح والذرة والأرز)، والبطاطا، والبقوليات.

ومن خصائص النّشاء:

- غير قابل للذوبان في الماء البارد، ولكنه يشكل معلّقاً غروانيّاً (suspension).
- يتحلل عند التسخين بالماء إلى هلام نشوي (gel) بخصائص فيزيائية مهمة للصناعات الغذائية.
- يُهضم بسهولة في الجهاز الهضمي بفعل إنزيم الأميلاز، الذي يحوّلّه إلى سكر الجلوكوز.

■ يتغير تركيب النشاء بحسب مصدره النباتي، ما يؤثر على لزوجته وسلوكه في الطبخ والمعالجة الصناعية.

ومن أهم الوظائف الحيوية للنشاء نجد:

- مصدر أساسي للطاقة في النظام الغذائي للإنسان.
- يخزن في النباتات في الأجزاء الخازنة مثل الجذور والدرنات.
- في جسم الإنسان، يتحول إلى جلوكوز ثم يُستخدم لإنتاج الطاقة أو يُخزن على شكل جليكوجين.

كما أن للنشاء أهمية في النشاط البدني:

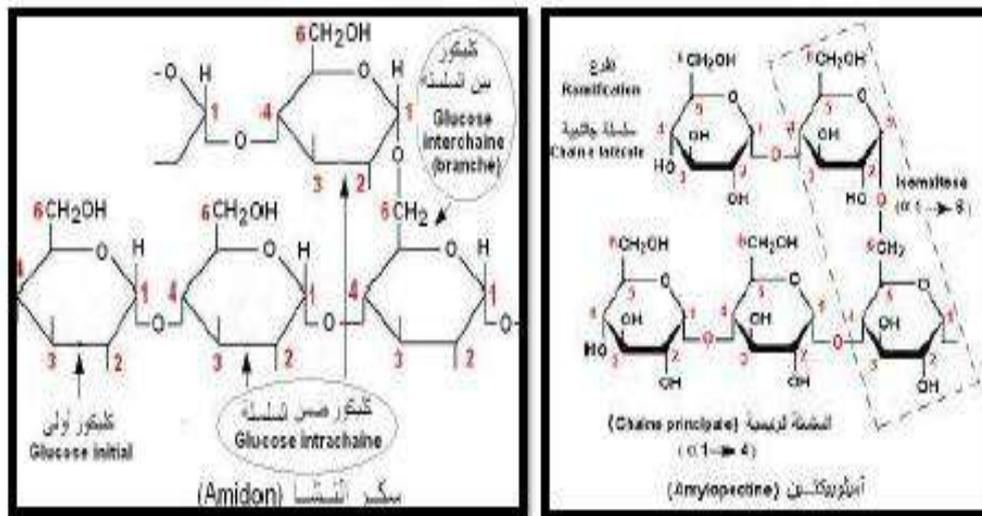
- يعتبر النشاء مصدرًا مركزيًا للكربوهيدرات المعقدة التي تزود الجسم بطاقة مستدامة خلال النشاط البدني.
- يعزز الأداء الرياضي إذا تم تناوله بكميات مناسبة قبل التمرين.
- يساهم في استعادة مخازن الجليكوجين في العضلات بعد الجهد.

يتكون النشاء أساسًا من مكونين رئيسيين هما:

- الأميلوز (Amylose): سلسلة مستقيمة أو قليلة التفرع من وحدات α -D-Glucose مرتبطة بروابط $(\alpha(1 \rightarrow 4))$.
- الأميلوبكتين (Amylopectin): سلسلة كثيرة التفرع من وحدات الجلوكوز تحتوي على روابط $(\alpha(1 \rightarrow 4))$ مع تفرعات $(\alpha(1 \rightarrow 6))$.

كما أن النشاء النباتي يتحول إلى مكوناته من السكريات الأحادية وفق المراحل التالية:

نشاء ← دكسترين ← مالتوز ← جلوكوز



شكل رقم (14): يبين التركيب الجزيئي للنشاء.

1.1.3.2. الأميلوز (Amylose)

الأميلوز هو بوليمر خطي غير متفرع مكوّن من وحدات متكررة من α -D-glucose مرتبطة بواسطة روابط ($\alpha 1 \rightarrow 4$)-جليكوسيدية.

ومن أهم خصائص الأميلوز:

- يمثل حوالي 20% إلى 30% من تركيب النشاء الكلي.
- غير قابل للذوبان في الماء البارد، لكنه يشكل هلامًا غروانيًا عند التسخين.
- يعطي لونًا أزرقًا عند تفاعله مع اليود (اختبار اليود للنشاء).
- يتمتع بدرجة هضم أبطأ نسبيًا، ما يجعله مصدرًا للطاقة المستدامة.
- له تأثير مفيد على المؤشر الجلايسيمي (GI) للأطعمة.

2.1.3.2. الأميلوبكتين (Amylopectin)

الأميلوبكتين هو بوليمر متفرع من الجلوكوز، يتكون من سلاسل طويلة مرتبطة بروابط ($\alpha 1 \rightarrow 4$)-جليكوسيدية، مع تشعبات عند روابط ($\alpha 1 \rightarrow 6$) كل 24 إلى 30 وحدة جلوكوز.

ومن خصائص الأميلوبكتين:

- يمثل حوالي 70% إلى 80% من تركيب النشاء.
 - أكثر قابلية للذوبان من الأميلوز ويُنتج هلامًا أكثر لزوجة.
 - يعطي لونًا أحمر بنفسجي عند تفاعله مع اليود.
 - يُهضم بسرعة نسبية، ويؤثر في رفع مستوى الجلوكوز في الدم.
- والجدول التالي يقارن بين الخصائص الكيميائية للاميلوز والاميلوبكتين.

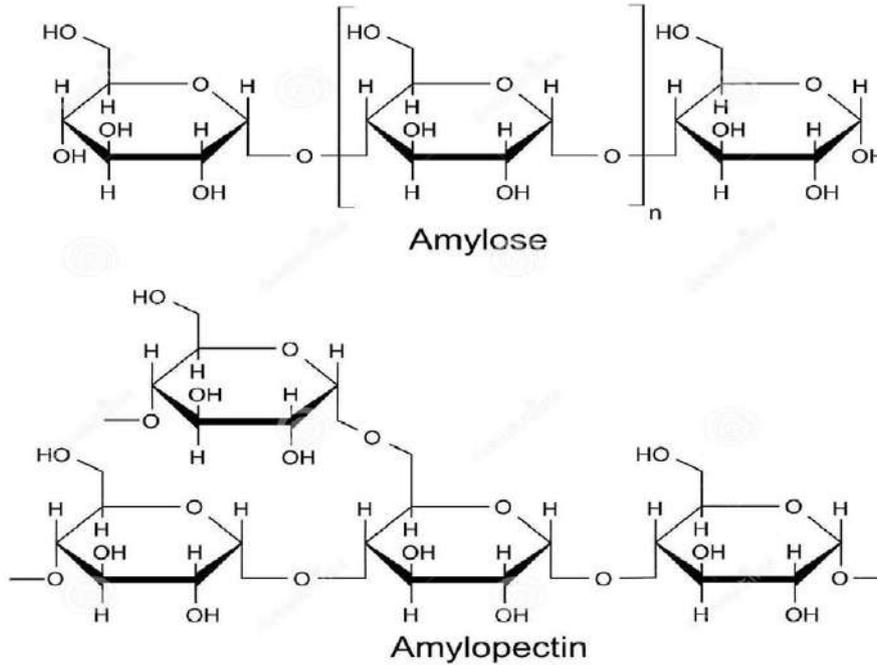
جدول رقم (11): الخصائص العامة للأميلوز والأميلوبكتين

| العنصر | الأميلوز (Amylose) | الأميلوبكتين (Amylopectin) |
|------------------------|-----------------------------|---------------------------------------------------|
| البنية | خطية (غير متفرعة) | متفرعة |
| نوع الروابط | $\alpha(1\rightarrow4)$ فقط | $\alpha(1\rightarrow4)$ و $\alpha(1\rightarrow6)$ |
| نسبة التواجد في النشاء | 20-30% | 70-80% |
| الذوبانية | منخفضة في الماء | أعلى ذوبانية |
| الهضم | أبطأ | أسرع |
| التفاعل مع اليود | لون أزرق داكن | لون بنفسجي-أحمر |
| التأثير على مؤشر السكر | منخفض | أعلى |

كما أن الأميلوز يعطي طاقة طويلة الأمد ومناسب للوجبات منخفضة المؤشر الجلايسيمي. في حين

أن الأميلوبكتين يساهم في استرجاع سريع للجليكوجين بعد التمارين الرياضية.

كما أن الشكل التالي في الصفحة الموالية يوضح الصيغ الكيميائية للاميلوز والاميلوبكتين



Download from
Dreamstime.com
This watermarked copy is not for commercial purposes only.

40390746
Seriob10 | Dreamstime.com

شكل رقم (15): بين التركيب الكيميائي للأميلوز والأميلوبكتين

2.3.2. الجليكوجين (Glycogène)

الجليكوجين هو أحد أنواع السكريات العديدة المعقدة (Polysaccharides) يتكون من وحدات عديدة من الجلوكوز مرتبطة معًا بروابط $\alpha(1\rightarrow4)$ مع تفرعات $\alpha(1\rightarrow6)$. كما أن صيغته الجزيئية العامة هي من الشكل: $(C_6H_{10}O_5)_n$ يُعتبر الشكل الأساسي لتخزين الجلوكوز في الكائنات الحية العليا ويُعرف اصطلاحًا بـ "النشاء الحيواني" نظرًا لتشابهه البنيوي مع الأميلوبكتين الموجود في النباتات. يُخزن داخل الكائنات الحية، خاصة في الكبد والعضلات الهيكلية، على شكل مخازن طاقوية قابلة للتعبئة والتفريغ حسب حاجة الجسم.

يُنتج الجليكوجين داخل الجسم عبر عملية الجليكوجينيسيس (Glycogenesis)، التي يتم خلالها تحويل السكريات الأحادية، ولا سيما الجلوكوز، إلى جزيئات كبيرة من الجليكوجين لتخزين الطاقة. ويتركز هذا التخزين بنسبة كبيرة في الكبد، حيث يمكن أن يصل إلى حوالي 100 غرام، بينما تخزن العضلات الهيكلية كميات أكبر نسبيًا، ولكنها مخصصة للاستخدام المحلي ضمن العضلة نفسها.

من الناحية البنيوية، يتكون الجليكوجين من سلسلة طويلة من وحدات الجلوكوز المرتبطة بروابط $\alpha(1\rightarrow4)$ ، مع تفرعات متكررة كل 8 إلى 12 وحدة عبر روابط $\alpha(1\rightarrow6)$. ويُشبه تركيب الجليكوجين تركيب الأميلوبكتين إلى حد كبير، إلا أن الجليكوجين يتميز بمستوى أعلى من التفرع وسلاسل أقصر نسبيًا، ما يسمح بتحرر الجلوكوز منه بسرعة أكبر عند الحاجة.

عند انخفاض مستويات الجلوكوز في الدم، يبدأ الكبد بتفكيك الجليكوجين عبر عملية التحلل الجليكوجيني (Glycogenolysis) لتوفير الجلوكوز للأنسجة المختلفة، خصوصًا الدماغ والعضلات، مما يجعله عنصرًا جوهريًا في تنظيم سكر الدم وتزويد الجسم بالطاقة، خصوصًا في حالات الصيام أو النشاط البدني المكثف.

تتميز بنيته الكيميائية أيضًا بما يلي:

- يتكوّن من آلاف الوحدات من α -D-glucose.
- يحتوي على نواة من بروتين الغليكوجينين (glycogenin) تبدأ عملية بناء السلسلة.
- سلسله تحتوي على: روابط خطية من النوع $\alpha(1\rightarrow4)$.
- تفرعات كل 8 إلى 12 وحدة من النوع $\alpha(1\rightarrow6)$ ، مما يمنحه بنية شجرية كثيفة تساعد على سرعة التحلل.

كما يخزن في الجسم في منطقتين مختلفتين:

- الكبد: يخزن نسبة كبيرة من الجليكوجين (حتى 100 غرام تقريبًا)، ويُستخدم للحفاظ على مستوى الجلوكوز في الدم.
- العضلات الهيكلية: يخزن كمية أكبر نسبيًا (300-400 غرام)، ويُستخدم كمصدر للطاقة أثناء النشاط البدني.

ونجد من أهم خصائصه الرئيسية هي:

- من السكريات العديدة المتفرعة بكثافة.
- يُنتج من الجلوكوز ويُخزن في الكبد والعضلات.
- يُحرر بسرعة عند الحاجة للطاقة.
- تركيبته شبيهة بالأميلوبكتين لكن أكثر تفرعًا.
- يوفر طاقة فورية في غياب الغذاء أو أثناء التمرين.

كما نجد أن من أهم وظائفه الحيوية في الجسم هي:

- تنظيم مستويات السكر في الدم (من خلال جليكوجين الكبد).
- توفير الطاقة السريعة أثناء التمارين الرياضية (خصوصًا الجليكوجين العضلي).
- الحفاظ على الأداء الرياضي خلال الجهد البدني الطويل أو المكثف.
- يعمل كمخزن مؤقت للجلوكوز يمكن استعماله عند الحاجة خلال حالات الصيام أو الجهد المفاجئ.

وفي النشاط البدني للجليكوجين دور حاسم حيث أنه:

- خلال التمارين المتوسطة إلى الشديدة، يُعد الجليكوجين العضلي المصدر الأساسي للطاقة.
- تناقص مخازن الجليكوجين يؤدي إلى ظهور التعب العضلي وانخفاض الأداء.
- يُنصح الرياضيون بزيادة استهلاك الكربوهيدرات قبل المنافسات (استراتيجية "تحميل الجليكوجين") لتعزيز الأداء.
- الرياضي الذي يتدرب بانتظام يزيد من قدرة عضلاته على تخزين الجليكوجين، وهو ما يسمى بـ"تكيف التدريب".

والشكل التالي يوضح التركيب الكيميائي للجليكوجين

(c) Glycogen

Highly branched
glycogen molecule

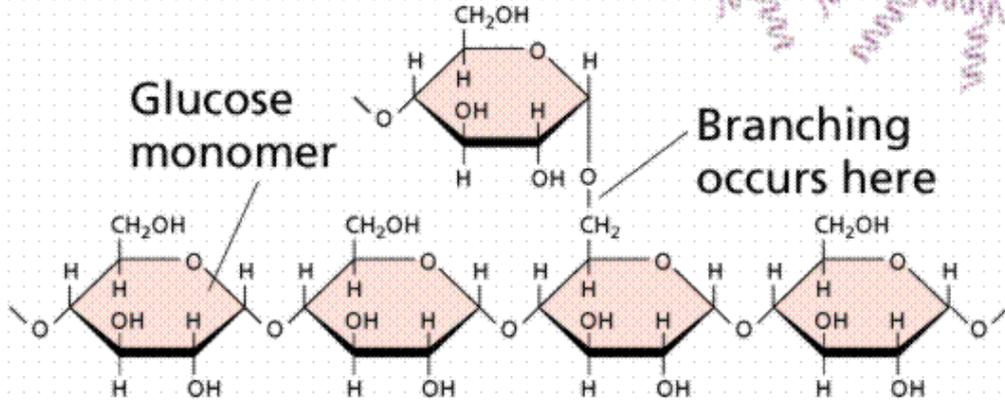


Figure 3.12 (3)

شكل رقم (16): يبين التركيب الكيميائي للجليكوجين

3.3.2 السليلوز (Cellulose)

يُعدّ السليلوز أحد السكريات العديدة المعقدة (polysaccharides)، ويشكّل المكوّن البنيوي الأساسي لجدران الخلايا النباتية، حيث يوفرّ الدعامة والصلابة اللازمة للنمو العمودي للنباتات. يتكوّن السليلوز من سلسلة خطيّة طويلة من وحدات β -D-Glucose، ترتبط معًا بروابط $\beta(1\rightarrow4)$ غليكوسيدية، مما يمنحه هيكلًا متينًا ومقاومًا للاهتزاز الميكانيكي والإنزيمي. صيغته الجزيئية العامة هي من الشكل: $(C_6H_{10}O_5)_n$.

يظهر السليلوز تشابهًا بنيويًا مع النشاء النباتي من حيث وحدة البناء (الجلوكوز)، غير أنّه يختلف عنه في نمط الارتباط الجليكوسيدي؛ حيث تحتوي سلاسل النشاء على روابط $\alpha(1\rightarrow4)$ ، في حين يُبنى السليلوز بروابط $\beta(1\rightarrow4)$. هذا الاختلاف في التشكيل الفراغي يؤدي إلى تشكل سلاسل مستقيمة

في السليلوز، قدرة على الاصطفاف وتشكيل روابط هيدروجينية قوية بين السلاسل، وهو ما يفسر صلابته العالية كما يُلاحظ في جدران النباتات الخضراء.

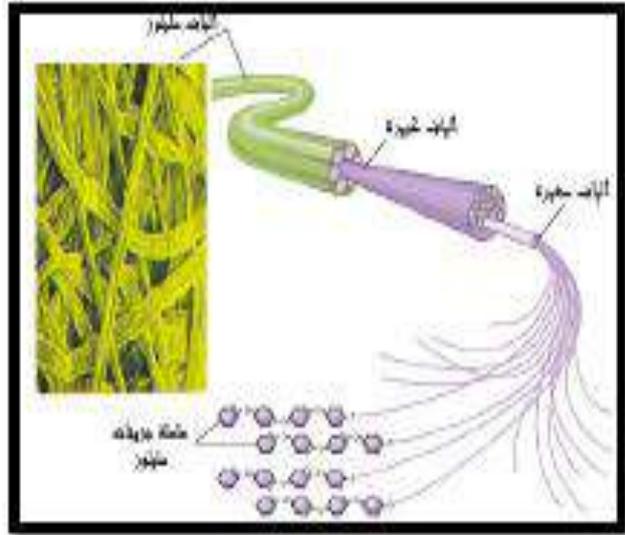
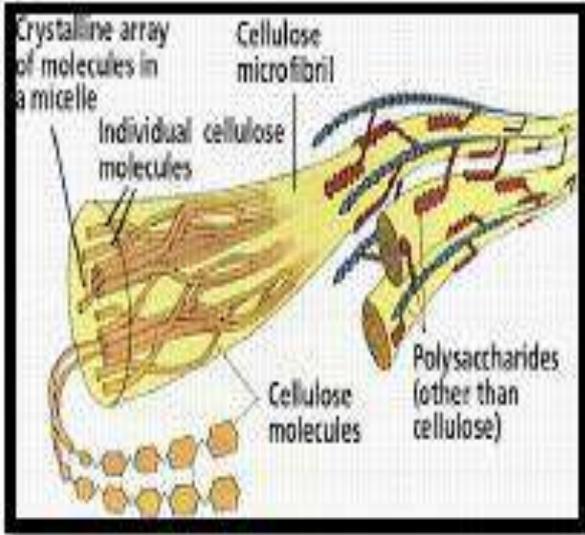
ومن خصائصه الكيميائية:

- السليلوز غير قابل للهضم عند الإنسان، لعدم وجود إنزيم "سيلولاز" في الجهاز الهضمي البشري.
- مع ذلك، فهو يشكل مكونًا أساسيًا من الألياف الغذائية غير الذائبة، ويساهم في:
 - تعزيز حركة الأمعاء.
 - الوقاية من الإمساك.
 - تحسين صحة الجهاز الهضمي.

وللسليلوز أهمية من حيث أنه:

- يشكل نسبة كبيرة من الكتلة الحيوية النباتية.
- يدخل في تركيب الألياف النباتية كالقطن والكتان والخشب.
- يُستخدم صناعياً في تصنيع الورق، الأنسجة، والمركبات النسيجية الأخرى.
- في التغذية، يُعدّ من المركبات المنظمة للعبور المعوي، مما يُساهم في المحافظة على صحة القولون.

كما أن الشكل التالي يبين التركيب الكيميائي للسليولوز



شكل رقم (17): يبين التركيب الكيميائي للسيليلوز

3. التمثيل الغذائي للكربوهيدارات (التحلل السكري)

يتألف الجليكوجين من الجلوكوز الذي يمثل 99% من سكر دم. في الجلوكزة يحول الجلوكوز إلى G6P هذه العملية تستهلك جزيء واحد من ATP لكن تحويل الجلايكوجين إلى G6P يمر بالجلوكوز 1 فوسفات G1P ولا تتطلب العملية أي طاقة.

تبدأ الجلوكزة بالجلوكوز-6-فوسفات G6P و تمر على 12 تفاعلات كيميائي بوجود أنزيمات خاصة و تنتهي بحمض البيروفيك. مع غياب الأكسجين يحول حمض البيروفيك إلى حمض لبني، و النتيجة هي 3 ATP لكل مول من الجلايكوجين و 2 ATP لكل مول من الجلوكوز. يمثل تراكم الحمض اللبني في العضلات و مناطق تراكم الدهون و خاصة أثناء التمرينات ذات الشدة القصوى لدقيقة أو دقيقتان، العامل المحدد للجلوكزة، بحيث يصل تراكم هذا الحمض إلى 25 mmol.kg^{-1} من العضلة مقارنة إلى 1 mmol.kg^{-1} أثناء الراحة (Wilmore et al. 2006: 106).

بما أن العضلة يجب أن تزود بالأكسجين اللازم فهذا النظام يسمى هوائي. أكسدة الجلوكوز لإنتاج الطاقة تتضمن 3 عمليات:

- التحلل السكري.
- دورة كريبس.
- سلسلة نقل الأكسجين.

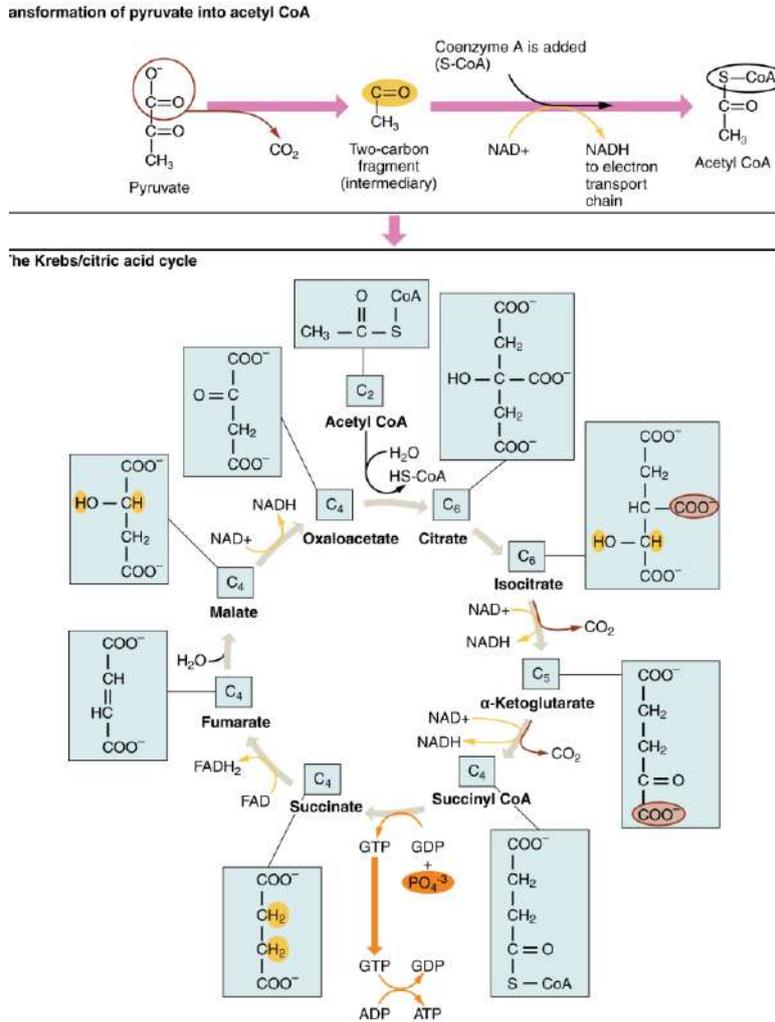
1.3. التحلل السكري

إنتاج الطاقة أثناء الجلوكزة يجري في ظروف هوائية و لاهوائية في نفس الوقت و لا يتغير شيء في مراحل الجلوكزة. وجود الأكسجين لا يحدد إلا مصير حمض البيروفيك أي تحوله إلى الأسيتيل كوانزيم Acetyl-Coenzyme A.

2.3. دورة كريبس

هي دورة حمض السيترك أين يمر حمض البيروفيك بعدة مراحل و تفاعلات كيميائية و يتأكسد كليا لينتج 2 مول من ATP بتدهور الجلوكوز إلى هيدروجين و ثاني أكسيد الكربون CO_2 الذي يحمل في الدم إلى غاية الرئتين.

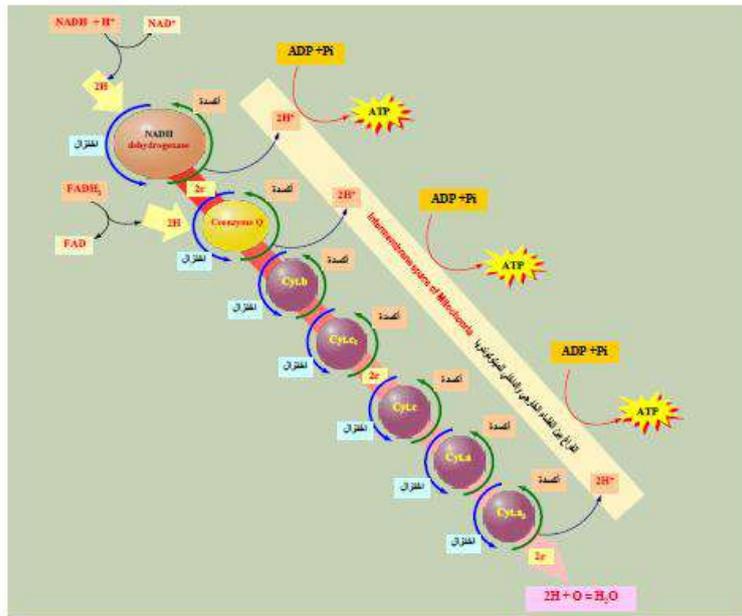
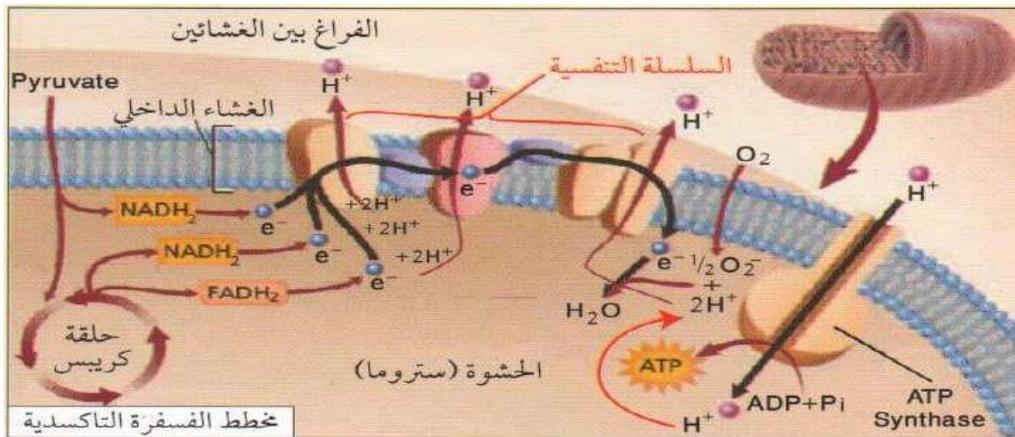
والشكل التالي يبين دورة كريبس:



شكل رقم (18): يبين حلقة كريبس

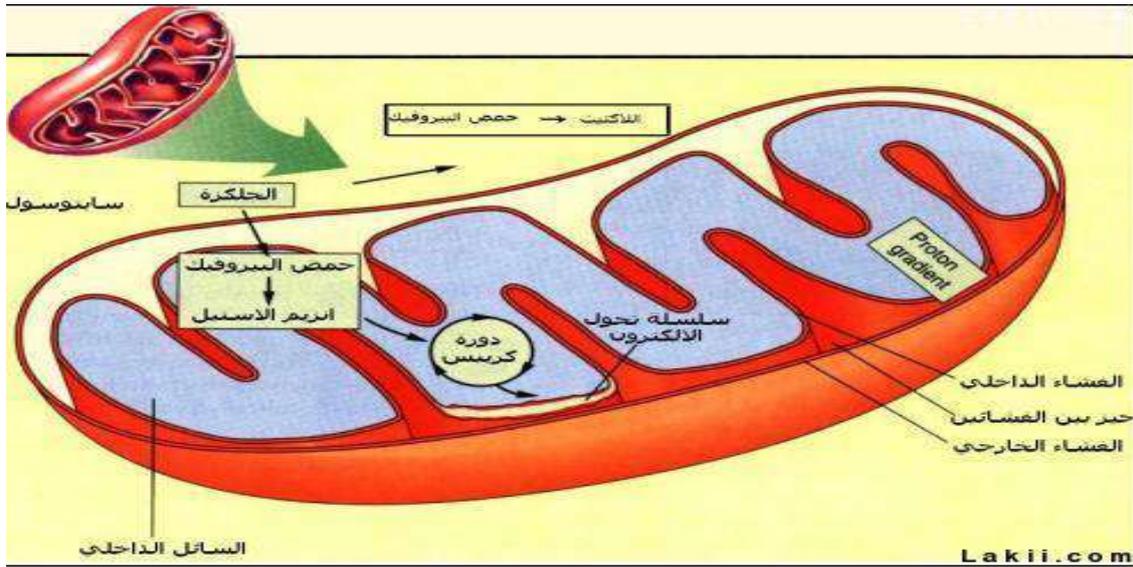
3.3. سلسلة نقل الإلكترونات

تدهور الجلوكوز يؤدي إلى الإفراج عن الهيدروجين H^+ الذي تزيد نسبته مع هيدروجين حلقة كريبس، مما يجعل وسط الخلية حمضي جدا. كميات الهيدروجين الناتجة من هذه الدورات (الجلوكزة و حلقت كريبس) تمتزج في شكل كوانزيمات NAD coenzymes (nicotinamide adénine dinucléotide) و FAD (flavine adénine dinucléotide) ناقلات للهيدروجين في سلسلة نقل الإلكترونات أين تقسم إلى بروتونات و الكترولونات. و في الأخير هذا الهيدروجين يمتزج بالاكسيجين لكي يعطي ثاني أكسيد الكربون لمنع حموضة الوسط الخلوي. ثم تمر الإلكترونات بعدة تفاعلات تسمى "سلسلة نقل الإلكترونات" لتوفير الطاقة اللازمة لفسفرة ADP إلى ATP في وجود الاكسيجين، و تسمى هذه العملية الفسفرة التاكسدية (شكل 1) (Wilmore et al. 2006: 108-109).



شكل رقم (19): الفسفرة التاكسدية

نظام الأكسدة ينتج 39 جزيء من الطاقة ATP للجزيء الواحد من الجليكوجين و 38 للجلوكوز بما أن 1 ATP يستعمل في تحويل هذا الأخير إلى G6P قبل الجلوكزة. عندما لا تستطيع ناقلات الهيدروجين NADH المتكونة في السيتوبلازم الدخول إلى الميتوكوندريا، تعطي الكترولانتها إلى الناقلات (NADH أو FADH) المتواجدة على "سلسلة نقل الالكترولانت". إذا عندما تعطي 2 NADH سيتوبلازمية الالكترولانت إلى الميتوكوندريا، تتكون 6 جزيئات من ATP و 4 إذا كانت الالكترولانت من FADH الميتوكوندريا (شكل 2). و المحصول النهائي يكون 36 جزيء ATP للجلوكوز الواحد و 37 للجليكوجين إذا كان FADH هو ناقل الالكترولانت.



شكل رقم (20): الميتوكوندريا

4. تحلل الجليكوجين واستهلاك الجلوكوز بالعضلات

تستخدم القياسات البيوكيميائية في التعرف على نسبة تركيز الجليكوجين في العضلات الإرادية أثناء التدريبات البدنية المختلفة، ويختلف تحلل الجليكوجين بهذه العضلات تبعاً لشدة ودوام التدريبات وأيضاً تبعاً لنوع الألياف العضلية.

وتشير نتائج دراسات عديدة أن التمرين الهوائي يزيد من استهلاك جلوكوز الدم بغض النظر عن الشدة أو مدة التمرين (Wahren, Felig et al. 1971; Ahlborg, Felig et al. 1974).

في هذا المجال امتصاص الجلوكوز من طرف الألياف العضلية تسهل عند التمرين مع ارتفاع تدفق الدم (hespel, Vegauven et al. 1995). مع العلم بأن تدفق الدم أثناء التمرين الديناميكي يرتفع بشكل خطي linéaire مع ارتفاع القوة المفروضة (Andersen et Salten 1985). مقارنة مع الراحة يكون هذا التدفق 20 مرة أكبر عند التمرين بشدة تتجاوز 80% من أقصى استهلاك الأكسجين (Richter, 1996).

376). أثناء التمرين ذات الشدة التصاعديّة كلما زادت الشدة كلما زاد امتصاص الجلوكوز في كل ليف عضلي (Gollnick, Piehl et al. 1974) مما يؤدي إلى انخفاض مستوى السكر في الدم مع التمرين خلال بضع دقائق. خلال التمرين المستمر ما دامت الشدة لا تتجاوز 70 إلى 80% من أقصى استهلاك الأوكسجين نسبة السكر في الدم تبقى قاعدية خلال الساعة الأولى من التمرين (Wahren, Felig et al. 1971) لكن فوق هذه المدة إذا لم يكن هناك إمداد سكري سوف تنزل هذه النسبة إلى مستوٍ منخفض جدا (Christensen et Hansen 1939; Pruett 1970).

من ناحية أخرى تركيز جلوكوجين العضلات ينخفض عند التدريب البدني العالي الشدة، كما وُجد أنّه عند أداء التمرينات البدنية المتوسطة الشدة ولمدة طويلة وعند معدّل 60 إلى 75% من أقصى استهلاك الأوكسجين O_2 لا يتأثر كثيراً تحلل جليكوجين العضلات، كما تؤثر أنواع الألياف العضلية (البيضاء والحمراء) في نسبة هذا التحلل، هذا مع العلم أن نسبة تركيز ال ATP CP و الجليكوجين في كلى الألياف تبقى متشابهة (Jacques et Poortmans 2009).

ويؤدي التقلص العضلي إلى الزيادة في استهلاك الجلوكوز، وكذلك زيادة إفراز الأنسولين الذي يُساعد على تلك الزيادة، أمّا في حالة الراحة فتستهلك العضلات من 15 إلى 20% من نسبة الجلوكوز بالدم، بينما عند الجهد (آلية التقلص) فتكون بشدّة 55 إلى 60% من الحد الأقصى لاستهلاك ال O_2 و قد تصل إلى ما بين 80 إلى 85% من مجموع الجلوكوز الموجود في الجسم إذا ما تعلّق الأمر ببعض العضلات القوية كعضلات الرجلين.

وتجدر الإشارة إلى أنّ عملية توصيل وانتشار الجلوكوز بالخلايا العضلية تحدّها عدّة عوامل، وتتأثر بكثير من المواقف التي يتعرّض لها الفرد الرياضي والتي تساعد بقدر أو بآخر في قلة أو زيادة استهلاك الجلوكوز أثناء التمرينات البدنية المختلفة الشدّة خاصّةً في المنافسات الرياضيّة الرسميّة.

1.4 استهلاك الجلوكوز بالعضلات

على الرغم من زيادة تحلل الجليكوجين لإنتاج الجلوكوز، وكذا زيادة إنتاج الأنسولين أثناء التمرينات البدنية يُلاحظ أنّ هناك مجموعة من العوامل تتداخل وتتفاعل جميعاً لتحديث الزيادة في استهلاك الجلوكوز بالعضلات، وهي:

1.1.4 نقل الجلوكوز عبر غشاء الخلية العضلية

يعتبر الدم منطقة العبور الإجبارية للجلوكوز قبل استعماله من طرف العضلات، القلب، المخ و النسيج الدهني ثم يتم تخزينه فيما بعد كجليكوجين و نقله كدهون أو استعماله في الحين. بما أن الجلوكوز لا

يذوب في المكونات الدهنية، فان نقله يكون عن طريق ناقلات خاصة ال SGLT و ال GLUT (Scheepers, Joost et al. 2004).

ال SGLT تسمى الناقلات الايجابية Na^+ (sodium-glucose co-transporters ou encore appelé Na^+ -glucose) تسمح عن طريق Na^+ تمرير ايجابي للجلوكوز من الدم إلى الخلايا الخاصة. أما GLUT (I, II, III) و هي الناقلات السلبية أو المسهلة. و هي بعدد 14 ناقلة (Scheepers, Joost et al. 2004). تتواجد ناقلات GLUT I في الخلايا في حواف الأوعية الدموية و تشكل حاجزا بين المخ و الدم و تتواجد بكميات ضئيلة في الخلايا التي تتأثر بالأمسولين و انجذابها للجلوكوز عال جدا. ناقلات GLUT 4 تتواجد في الأنسجة أين يكون نقل الجلوكوز يتأثر بالأنسولين. تلتقط كميات كبيرة من الجلوكوز و تتأثر كثيرا بالأنسولين (Jacques et Poortmans 2009).

تعتبر الناقلات من بين أهم العوامل التي تُساعد على زيادة استهلاك الجلوكوز بالعضلات، حيث أنّ نقل الجلوكوز عبر غشاء الخلية العضلية يتمّ حسب آلية تعمل على دخول وتغلغل يسير للجلوكوز من خلال عملية غير معتمدة على الطاقة، ولكنها تعتمد على آلية وميكانيكية التشبّع من خلال الحامل الغشائي أو العابر الغشائي للخلية.

وقد أثبتت نتائج الدراسات المعملية في هذا المجال أنّ نفاذ الجلوكوز عبر غشاء الخلية يزداد أثناء التمرينات البدنية وتُفيد نتائج دراسات أخرى كذلك أنّ هذه الزيادة في النفاذية تتمّ نتيجة تنشيط وتحريك المخزون داخل الخلية العضلية كما أنّ زيادة نقل الجلوكوز واستهلاكه يكون أكثر من زيادة نفاذيته في غشاء الخلية.

كما أنّ زيادة الكالسيوم في سيتوبلازم الخلية أثناء التقلص العضلي غالباً ما يُؤثر على تنشيط البروتينات الضرورية لعملية استقلاب الطاقة *métabolisme énergétique* (Jacques et Poortmans 2009) و نقل الجلوكوز وال O_2 ، وفي معظم الأحيان تعتبر عملية النقل الغشائي للجلوكوز محدودة بالنسبة لاستهلاك العضلة، وذلك على الرغم من أنّ عملية فسفرة الجلوكوز واستهلاكه تعتبر عملية معقّدة أثناء التدريب المتوسط الشدّة، أمّا عند التدريب العالي الشدّة فإنّ مستوى الجلوكوز الفوسفاتي (Glucos 6 Pho) يزداد ممّا يؤدي إلى الإسراع في عملية تحلل الجليوكوجين، وذلك يؤدي إلى تثبيط فسفرة الجلوكوز واستهلاكه.

وتُفيد نتائج دراسات حديثة أنّ امتصاص الجلوكوز ونقله واستهلاكه أثناء التدريب البدني يرتبط بالسّعة التنفسية لدى الفرد الرياضي، وهو يرتبط مباشرة بمستوى الكرياتين فوسفات CP حيث أنّه عند مستوى

من: 55 . 65 % من أقصى استهلاك للأكسجين يكون امتصاص ونقل الجلوكوز عالياً لدى الرياضيين المدربين بينما ينخفض لدى الرياضيين غير المدربين.

2.1.4. التّنظيم الهرموني *régulation hormonale*

هذا التّظام ذو علاقة وطيدة باستهلاك الجلوكوز، حيث يؤدي هورمون الأنسولين دوراً بالغ الأهمية في تنظيم امتصاص الجلوجوز ، حيث ثبت مؤخراً أنّ الانقباض العضلي يُمكنه أن يزيد من امتصاص العضلات للجلوكوز

(Jacques et Poortmans 2009) حتّى في حالة هورمون الأنسولين. (Wahren, Felig et al. 1971)، كما يُساعد على زيادة عدد ناقلات الجلوكوز في الغشاء البلازمي (Jacques et Poortmans 2009:141-142) .

كما أنّ تأثير المجهود العضلي في نقل الجلوكوز يكون مصاحباً لعمليات الانقباض، كما لاحظت دراسات عديدة أنّ تأثير الأنسولين والانقباض العضلي يكون إضافياً، نظراً لأنّ الأنسولين والتمارين ينشّطان عمليات نقل الجلوكوز عن طريق آلية مختلفة مع الوضع في الاعتبار أنّ كلا من الأنسولين والانقباض العضلي يُنشّطان Glut 4 (Jacques et Poortmans 2009:141-142) .

إنّ التدريب البدني تظهر أهميته في أنّه يُساعد على زيادة حساسية العضلات لمفعول الأنسولين، ومع زيادة مرور الدم بالعضلة نتيجة زيادة نشاط الدورة الدّموية الشريانية أثناء الجهد البدني فإنّه يُمكن التغلّب جزئياً على نقص نسبة الأنسولين في بلازما الدم، وقد اتّضح أنّ نسبة تأثير الأنسولين والتدريب البدني على امتصاص العضلة للجلوكوز هو تأثير متّصل ببعضه البعض، كذلك فإنّ الزيادة في نسبة تدفق الجلوكوز المصاحب للتدريب ممكن أن تزيد من عمليات أكسدة الجلوكوز عند التأثير الأعلى للأنسولين.

3.1.4 توفّر المادّة

و هو العلاقة بين توفّر الجليكوجين داخل العضلة واستهلاك تلك العضلة للجلوكوز أثناء التدريب الرياضي، وأوضحت الدراسات أنّ استهلاك الجلوكوز يعتمد على انخفاض الجليكوجين في العضلة، كما أنّ فقدان الجليكوجين في العضلة الغير المنقبضة أثناء التدريب البدني يُصاحبه زيادة في نقل الجلوكوز.

و تناول الجلوكوز اثناء التمرين ليست له علاقة مع تركيز الجلوكوز 6 فوسفات G6P (Gollnick, Pernow et al. 1981) و كلما زاد مخزون الجليكوجين في الالياف كلما استعمل لتكوين G6P كلما انقص من استعمال الجلوكوز البلازمي (Jacques et Poortmans 2009:145) .

وقد أجريت دراسات (Randle et al. 1978) حول الأحماض الدهنية الحرّة ودورها مع الجلوكوز وقد بيّنت النتائج أنّ زيادة امتصاص وأكسدة FFA (*Free Fatty Acids*) يكون ناتجاً عن ارتفاع نسبته في الدم والذي أدى بدوره إلى تثبيط *inhibition* في نشاط (الفوسفو فراكثو كيناز Phospho Fructo Kinase) والذي يُعرف بـ PFK وقد ينتج عن ذلك زيادة في نسبة جلوكوز 6 فوسفات (G 6 P) أي: فسفرة الجلوكوز وامتصاصه.

كما أنّه من المعتقد أنّ دورة الجلوكوز والأحماض الدهنية تعمل فقط في العضلات الحمراء أثناء الراحة من التدريب، أما في حالة الجهد البدني فإنّ زيادة FFA يكون مصاحباً بنقص في استهلاك الجلوكوز.

وعند بذل جهد بدني متوسط الشدّة ترتفع المواد الدهنية الحرّة بالدم FFA إلا أنّها لا تؤدي إلى زيادة أكسدة الجلوكوز، وأنّ التغيّرات التي تحدث في نسبة تمثيل الجلوكوز والجليكوجين والأحماض الدهنية الحرّة لا زالت حتى الآن بحاجة إلى إجراء مزيد من الدراسات.

2.4 العوامل المؤثرة في تمثيل كربوهيدرات العضلات أثناء التدريب الرياضي

أهمّ العوامل المؤثرة في تمثيل العضلة للجليكوجين، وكذا امتصاص واستهلاك الجلوكوز أثناء التدريب الرياضي.

1.2.4 نوعيّة التمرين:

استهلاك جليكوجين العضلات أثناء الجري لا يكون بنفس النسبة من استهلاكه عند ركوب الدراجة، ولكن قد يؤثر نوع الجري أو مدّة ركوب الدراجة على نسبة هذا الاستهلاك (إيقاع حركة الرجلين = تزداد أو تقلّ نسبة استهلاك جليكوجين وجلوكوز) على الرغم من أنّ العضلات العاملة قد تكون متشابهة (العضلة الرباعية الأمامية، العضلات الخلفية... الخ) حيث التبادل في عمليات الانقباض والارتخاء تكون متشابهة. كما أنّ تمرين الذراع بواسطة مجهّاد الذراعين (Altère) يؤدي إلى زيادة تحلل الجليكوجين وتكوين الحمض اللبني بنسبة أكثر من تمرين الرجلين وبنفس درجة شدّة التمرين، وهذا ما يُسبّب تدفق الدم إلى كلّ منهما وإفراز الهرمونات وإذا ما تمّ العمل العضلي للرجلين والذراعين في نفس الوقت يُلاحظ أنّه قد حدثت زيادة في نسبة تحلل الجليكوجين وامتصاص الجلوكوز.

2.2.4 طريقة التّدريب تؤثر طريقة التّدريب في نسبة تمثيل الكربوهيدرات في الجهاز العضلي، وعلى سبيل المثال: تُعتبر تدريبات التحمل من أحسن طرق التّدريب التي تُساعد على زيادة تحلل الجليكوجين واستهلاك الجلوكوز وزيادة عمليات الأكسدة، كما أنّها تُساعد على زيادة تحلل الدّهون.

3.2.4 الغذاء

إنّ تناول الفرد الرياضي لكميات كبيرة من المواد الكربوهيدرات يكون مصحوباً بأكسدة لتلك المواد أثناء التدريب البدني، وتزداد عمليات أكسدة العضلة للجلوكوز.

أما في حالة افتقار غذاء الرياضي للمواد الكربوهيدراتية فإنّ ذلك يؤدي إلى زيادة في تمثيل المواد الدهنية واستهلاكها، وفي حالة نقص الغذاء يتّضح تأثير فعل هورمون الأنسولين (Insulin) والجلوكاجون (Glucagon) والكاتيكولامين (Catecholamins)، وهذا يؤدي إلى تغيير في كلّ من جليكوجين العضلة (Muscle Glycogen) وجلوكوز الدم والدهون الحرّة في بلازما الدم (Plasma FFA).

4.2.4 درجة حرارة البيئة المحيطة

زيادة درجة حرارة البيئة التي يمارس فيها التدريب تؤثر على تمثيل الكربوهيدرات، حيث تزيد من تكسير وتحلل الجليكوجين بالعضلة، كما تزداد نسبة تركيز الحمض اللبني في الدم والعضلات، ويصاحب ذلك زيادة في نسبة جلوكوز الدم و زيادة في إفراز بعض هورمونات الدم مثل الأدرينالين. ويعتقد علماء بيوكيمياء الجهد أنّ ذلك مرتبطة بنقص في كمية الأكسجين بالعضلات العاملة تحت ظروف العمل اللاهوائي.

وتلعب عمليات التكيف على الجوّ الحارّ دوراً بارزاً في تقليل فعل الحرارة على العمليات السابقة، وكذلك تلعب عمليات التدريب الجيّد دوراً مهمّاً على هذه العوامل حيث تقلّ نسبة التأثير السلبي على الرياضيين المميّزين أو العالميين.

5.2.4 الجنس

تعرضت بعض الدراسات إلى بعض المقارنات بين الذكور والإناث في حالة إخضاعهم لبرامج تدريبية واحدة، وتناولت هذه الدراسات التعرّف على متغيّرات الحدّ الأقصى لاستهلاك الـ O_2 تركيب الجسم، نسبة الدهون هورمونات الدم... وغيرها من المتغيّرات الفسيولوجية. وقد دلّت نتائج هذه الأبحاث أنّ الإناث أقلّ من الذكور في تأثير برامج التدريب الواحدة على كلّ من المتغيّرات الفسيولوجية سابقة الذّكر، مع ملاحظة أنّ الإناث تتفوّقن على الذكور في بعض المتغيّرات المرتبطة بهنّ كإناث مثل دهون الجسم على سبيل المثال. بينما أظهرت دراسات اخرى أُجريت على ذكور وإناث مستخدمة البساط المتحرّك في برامج التدريب المستخدمة، أنّه لا توجد فروق بين الذكور والإناث في درجة تأثير هذه البرامج أو في استجابة بعض المتغيّرات التي تمّ قياسها.

3.4. تمثيل الطاقة الكبديّة أثناء التدريب البدني

عند قيام الفرد الرياضي بمجهود بدني تخرج كمية إضافية من الجلوكوز من خلايا الكبد إلى الدورة الدموية للمحافظة على نسبة جلوكوز الدم حتى لا يحدث هبوط في هذه النسبة عن معدلها الطبيعي في الفرد والتي تتراوح ما بين: 110.80 ملغ % ، وحسب "رويل Rowell" 1997م، هذه الكمية تُعادل ثلاث مرات كمية الجلوكوز التي تخرج في حالة الراحة. و غالبية علماء بيوكيمياء الجهد البدني أجمع على ان هذه الكمية في حالات التدريبات متوسطة الشدة (60 % من Vo₂ Max) تعادل من: 4.3 مرات خروجها في الأحوال العادية، أما في حالات التدريبات عالية الشدة فإنّ كمية الجلوكوز تصل من: 10.7 مرّات عن الحالة العادية (أي خالة الراحة)".

وذلك يعني أنّ هناك طرقاً بيولوجيةً وبيوكيميائيةً يقوم بها الجسم (الكبد، الهرمونات) وهي طرق تعويضية تُحافظ على نسبة الجلوكوز في الدم أثناء قيام الفرد بمجهود بدني.

1.3.4. خروج الجلوكوز من الكبد أثناء التّدرب البدني

عند القيام بجهد بدني ذي شدة متوسطة 60 % من (Vo₂ Max) ولمدة أقل من 30 د تكون كمية الجلوكوز الخارج من الكبد تفي بمتطلبات عمليات التمثيل الجلوكوزي للعضلات العاملة (النّشطة)، وتكون عملية تحلل الجلوكوز من الكبد أثناء الـ 60 دقيقة الأولى من التدريب متوسط الشدة من: 15.5 % قياساً بحالة الراحة.

وفي بعض الحالات قد تزداد عملية إنتاج وتحلل الجلوكوز في الكبد أثناء التدريبات الطويلة، وذلك عن طريق تحويل بعض العناصر الأخرى مثل: الغليسيرول Glycerol والأحماض الأمينية Amino Acids إلى جلوكوز وبالتالي فإنّ الكبد يستطيع أن يُقلّل نسبة فقدان الجليكوجين المخزون في الكبد والعضلات، وأنّ عملية تحلل الجلوكوز تزداد زيادةً طرديةً proportionnelle من النشاط البدني.

ولدى الرياضيين المدربين جيّداً قدرة أكبر على تحليل جليكوجين الكبد لدفع أكبر كمية من الجلوكوز في الدورة الدموية لإتمام عمليات التدريب الرياضي.

2.3.4. تنظيم خروج جلوكوز الكبد بطريقة التّعويض أثناء التّدرب

تمّ التأكّد من أنّ عملية تعويض الجلوكوز تعتمد على نسبة الجلوكوز في الدم وبالتالي تعتمد على نسبة الجلوكوز المطلوب تصنيعه من الكبد. وللدلالة على ذلك، فإنّ إعطاء الجلوكوز عن طريق الحقن في الوريد بطريقة (التنقيط) Injection intraveineuse أثناء الجهد البدني تؤدي إلى تقليل نسبة الجلوكوز

الداخلي(الموجود في بلازما الدمّ بنسبة تتراوح من: 4.5 مليغرام %) والمطلوب خروجه من الكبد أثناء تلك التدريبات.

وقد استخدمت تجربة مهمّة هورمون الجلوكاغون (Glucagon) الذي يُفرزه البنكرياس وكذلك الأنسولين (Insulin)، حيث أنّ الأوّل يُساعد على زيادة إفراز الجلوكوز، والثاني يعمل على المحافظة على نسبته في الدمّ، وقد أُعطى الهورمونين معاً، وأثبتت التجربة أنّ خروج الجلوكوز من الكبد قد وصل بعد عشرة دقائق من التدريب متوسّط الشدّة إلى نسبة انخفاض من: 4.5 مليمول – لتر وبلدّة عشرين دقيقة. حيث تُشير نتائج دراسات متعدّدة إلى أنّ الطريقة التعويضية لا تعتمد فقط على نسبة الجلوكوز في الدمّ، ولكنّها مرتبطة بحالة الكبد نفسه أثناء التدريبات الخفيفة.

3.3.4. علاقة التّغذية المستمرة بتدفّق جلوكوز الكبد أثناء التّدريب

مما تقدّم يتّضح أنّ نسبة جلوكوز الدمّ تزداد أثناء التدريبات البدنية مرتفعة الشدّة، وهذا يعني زيادة في تحلل جليكوجين الكبد وتحوّله إلى جلوكوز.

وتُفيد نتائج دراسات حديثة أُجريت على الرياضيين أنّ تثبيط نشاط العصب L'inhibition de l'activité du nerf الواصل لمجموعة عضلية وذلك عن طريق الحقن بمادة تسمى: تيبوكورانين Tubocurarine ساعدت على خفض الجلوكوز الخارج من الكبد مقارنة ببعض الرياضيين الذين لم يتمّ حقنهم بهذه المادّة. كما أفادت بعض الدراسات بأنّ طريقة التّغذية المستمرة بالكربوهيدرات ليست وحدها المسؤولة عن زيادة نسبة الجلوكوز ولكنّها مرتبطة بالتأثير على أجزاء من المخّ وهي تُساعد الجهاز العصبي المركزي على إصدار أوامره لمراكز عصبية بالمخّ تعمل على تحفيز أو تثبيط نشاط إفراز الجلوكوز. وعلى ذلك يُمكن القول بأنّ كمية الجلوكوز التي تخرج من الكبد تعتمد على شدّة ومدّة التدريبات البدنية وعلى عدد العضلات العاملة (الناشطة) بأجزاء الجسم المختلفة.

المحاضرة الخامسة: الدهون (Les Lipides)

1. تعريف الدهون

الليبيدات (Lipids) هي مركبات عضوية تتكون بشكل رئيسي من عناصر الكربون (C)، الهيدروجين (H)، والأكسجين (O)، وقد تحتوي أيضاً على عناصر أخرى مثل النيتروجين (N)، الفوسفور (P) والكبريت (S) في بعض أنواعها المركبة (Nelson & Cox, 2017).

تنقسم الليبيدات إلى دهون بسيطة (Simple lipids) ودهون مركبة (Complex lipids)، وتشمل هذه الأخيرة الدهون الفوسفورية (Phospholipids)، الستيرويدات (Steroids)، ومشتقات الدهون الناتجة عن تحللها مثل الأحماض الدهنية (Fatty acids) والجليسيرول (Glycerol) (McArdle et al., 2010). تمثل الدهون ما يقارب 40% من الكتلة العضوية في جسم الإنسان ذي البنية المتوسطة، أي ما يعادل تقريباً 15% من وزن الجسم الكلي. وتلعب هذه المركبات دوراً رئيسياً في التخزين الطاقوي وفي البنية الخلوية والوظائف الحيوية الأخرى.

2. الخصائص الكيميائية للدهون

- غير قابلة للإمهاة (hydrophobic).
- تحتوي على سلاسل هيدروكربونية طويلة.
- ذات طاقة عالية (9 kcal/g).
- غير ذائبة في الماء لكنها قابلة للذوبان في المذيبات العضوية (مثل الإيثر، الكلوروفورم، الأسيتون).

3. الخصائص الفيزيائية للدهون

1.3. الذوبانية (Solubility)

1.1.3. في الماء

الدهون لا تذوب في الماء بسبب طبيعتها الجزيئية غير القطبية. لأن كثافتها أقل من كثافة الماء، لذا تطفو فوقه.

2.1.3. في المذيبات العضوية

الدهون تذوب بسهولة في المذيبات العضوية مثل: الإيثر (ether)، الكلوروفورم (chloroform)، البنزين (benzene)، الأسيتون (acetone)

2.3. التفاعل اللوني (Color Reaction)

الدهون تتلون باللون الأحمر عند تفاعلها مع محلول "أحمر السودان" (Sudan Red)، ويُستخدم هذا التفاعل للكشف النوعي عن وجود الدهون.

3.3. الإماهة (Hydrolysis)

تُفكك الدهون في وجود الماء ومُحفّز حمضي مثل حمض الكبريتيك (H_2SO_4) أو بوجود حرارة ($151^\circ C$ تقريبًا).



4.3. التصبن (Saponification)

التفاعل بين الدهون (أو الزيوت) والقواعد القوية مثل هيدروكسيد البوتاسيوم (KOH) أو الصوديوم (NaOH)، يُنتج: صابون (أملاح الأحماض الدهنية) وكحول (عادة الجليسرول)



4. دور الدهون في جسم الإنسان

الليبيدات تلعب أدوارًا متعددة في جسم الإنسان، تشمل الوظائف الطاقوية، البنائية، التنظيمية، والوقائية. فيما يلي تصنيف دقيق لهذه الوظائف:

1.4. الدور الأيضي (الطاقوي)

الدهون تشكل أكبر مخزون للطاقة في الجسم مقارنةً بالكربوهيدرات والبروتينات. حيث أن القيمة الحرارية: 1 غرام من الدهون = 9 كيلوكالوري في حين أن 1 غرام من الكربوهيدرات أو البروتينات = 4

كيلوكالوري، تُخزن الدهون في الجسم بشكل رئيسي على هيئة ثلاثي الغليسريد (Triglycerides) في: الخلايا الدهنية، الكبد، العضلات، العظام، الأنسجة المحيطة بالأعضاء الداخلية، تحت الجلد. مع العلم أن جزيئة حمض دهني مثل $C_{16:0}$ (Palmitate) → تنتج حوالي 129 ATP.

جزيئة جلوكوز ($C_6H_{12}O_6$) → تنتج حوالي 38 ATP.

مع العلم أن 1 مول $ATP = 7.3$ كيلوكالوري.

2.4 الدور البنائي

تدخل الدهون في تركيب الدهون الفوسفاتية (Phospholipids)، وهي المكون الأساسي لجميع أغشية الخلايا وعضياتها، حيث توفر المرونة، النفاذية الانتقائية، العزل عن الوسط المائي، بناء الهرمونات الستيرويدية (Steroid hormones) مثل: الستيروستيرون، الإستروجين، الكورتيزول، الألدوستيرون.

3.4 الدور الوظيفي (الهرموني والتحفيزي)

العديد من الهرمونات في الجسم مشتقة من الدهون، أبرزها: هرمونات الكظرية (Adrenal hormones)، الهرمونات البنائية (Anabolic hormones)، الأحماض الدهنية، خاصة حمض الأراكيدونيك (Arachidonic acid)، كمت تلعب دورًا في إنتاج الإيكوزانويدات (Eicosanoids)، وهي جزيئات تعمل كرسول هرمونية محلية لها تأثير في الالتهابات، تخثر الدم وتنظيم ضغط الدم.

4.4 الدور المناعي والالتهابي

بعض الليبيدات تشارك في الاستجابة المناعية كإيكوزانويدات لها تأثيرات مناعية وتنظيمية أثناء الالتهاب والإصابة. وتدخل في إنتاج الرسائل الكيميائية التي تنظم الاستجابة الالتهابية.

5.4 دور الحماية والتنظيم الحراري

الدهون تؤدي وظائف وقائية هامة كعازل حراري، فالدهون تحت الجلد تحافظ على ثبات حرارة الجسم. كما تعطي حماية ميكانيكية حول الأعضاء الداخلية تمتص الصدمات وتحمي من الاحتكاك. كما انها تعطي حماية خلوية فالأغشية الدهنية تحيط بالعضيات وتحفظ استقرارها.

6.4 دور في الامتصاص

الدهون تسهل امتصاص الفيتامينات الذائبة في الدهون كفيتامينات A، D، E، K وتدخل في تنظيم العمليات الهضمية من خلال تحفيز إفراز الصفراء وتكوين المذيلات (micelles).

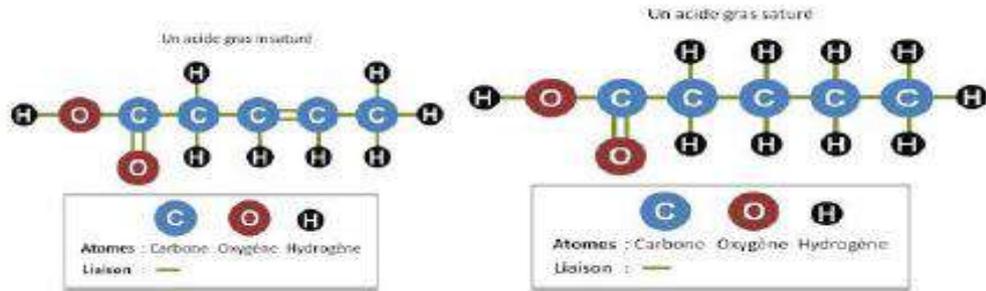
5. الأحماض الدهنية (الدهمة)

الأحماض الدهنية هي أحماض كربوكسيلية أليفاتية أحادية الوظيفة (تحتوي على مجموعة كربوكسيلية COOH-) وسلسلة جانبية (R) مكوّنة غالبًا من ذرات الكربون والهيدروجين. عند الإنسان، يتراوح عدد ذرات الكربون في السلسلة الجانبية بين 12 و24 ذرة كربون.

تصنّف الأحماض الدهنية إلى قسمين رئيسيين:

✚ الأحماض الدهنية المشبعة (Saturated Fatty Acids)، وهي أحماض كربوكسيلية أليفاتية لا تحتوي على أي رابطة مزدوجة (C=C) بين ذرتي كربون، كما جميع ذرات الكربون فيها مشبعة بذرات الهيدروجين. كما تتواجد غالبًا في الدهون الحيوانية والزبدة، وتكون صلبة في درجة الحرارة العادية. كما أن الاستهلاك الزائد منها مرتبط بزيادة الكوليسترول الضار (LDL) في الدم.

✚ الأحماض الدهنية غير المشبعة (Unsaturated Fatty Acids)، التي تحتوي على رابطة ثنائية واحدة أو أكثر (C=C) بين ذرات الكربون. ويمكن تشبيعها عبر إضافة ذرتي هيدروجين (H_2) لكل رابطة مزدوجة لتحويلها إلى حمض مشبع. من أهم الأحماض غير المشبعة الأساسية التي لا يستطيع الجسم تصنيعها: أوميغا-3 (Omega-3): تخفّف ضغط الدم، تقلل الالتهابات، وتخفض خطر الجلطات. أوميغا-6 (Omega-6): ترفع ضغط الدم، تزيد من تجلط الدم، وتزيد الالتهابات عند الإفراط. كما أن الأحماض الدهنية غير المشبعة تعتبر أنفع للجسم من الأحماض المشبعة، وتُسهم في خفض نسبة الكوليسترول الضار (LDL).



شكل رقم (21): يبين التركيب الكيميائي للحمض الدهني المشبع غير المشبع

جدول رقم (12): يبين الفرق بين الأحماض الدهنية المشبعة وغير المشبعة

| العنصر | الأحماض الدهنية المشبعة (Saturated Fatty Acids) | الأحماض الدهنية غير المشبعة (Unsaturated Fatty Acids) |
|-----------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| التركيب الكيميائي | لا تحتوي على روابط ثنائية بين ذرات الكربون فقط (C-C) | تحتوي على رابطة أو أكثر ثنائية (C=C) |
| تشبع ذرات الهيدروجين | مشبعة بالكامل بالهيدروجين | غير مشبعة كلياً بالهيدروجين |
| المصدر | توجد غالباً في المنتجات الحيوانية (الزبدة، الدهن الحيواني...) | توجد في الزيوت النباتية والأسماك الدهنية (كالسلمون) |
| الحالة في درجة حرارة الغرفة | صلبة | سائلة غالباً |
| التأثير على الكوليسترول | ترفع الكوليسترول الضار (LDL) في الدم | تخفض الكوليسترول الضار (LDL) وتزيد الكوليسترول النافع (HDL) |
| الصحة القلبية والوعائية | تزيد من خطر الإصابة بتصلب الشرايين والجلطات | تقلل من خطر الأمراض القلبية والجلطات |
| أهمية الكوليسترول | يدخل في بناء أغشية الخلايا، تصنيع بعض الهرمونات (كالكورتيكوزول، الستيرويدات)، وفيتامين D | --- |
| نواقل الكوليسترول | LDL - (منخفض الكثافة): يضع الكوليسترول على جدران الأوعية، مما يسبب تضيقها وزيادة خطر الجلطات. | HDL - (عالي الكثافة): ينقل الكوليسترول إلى الكبد للتخلص منه أو تخزينه |

6. تصنيف الدهون

تصنف الدهون حسب درجة تعقيدها إلى دهون بسيطة وأخرى معقدة (مركبة) كما يلي

1.6. الدهون البسيطة (C.H.O.)

وهي مركبات عضوية تحتوي على عناصر الكربون (C)، الهيدروجين (H)، والأكسجين (O) فقط.

تنتج من اتحاد الأحماض الدسمة مع كحولات معينة، وتنقسم إلى ثلاث فئات رئيسية:

1.1.6. الغليسيريدات (Glycerides)

تتكوّن من: كحول غليسيرول (Glycerol) + أحماض دسمة (Fatty Acids)

كما أن هناك نوعين من الغليسيريدات هما أنواع الغليسيريدات:

- غليسيريدات متجانسة: إذا كانت جميع الأحماض الدسمة من نفس النوع.

- الصيغة العامة: $C_{2n}H_{2n-2}O_2$.
- مثال: حمض الزيت $C_{18}H_{34}O_2$.

2.1.6. الستيرويدات (Sterides or Steroids)

تنتج من اتحاد أحماض دسمة مع كحول من نوع ستيروول (مثل الكوليستيروول)، تملك بنية حلقيه معقدة

ومن أهم وظائفها:

- تشكل مكونات رئيسية للفيتامينات (مثل: D).
- تدخل في تركيب الهرمونات الجنسية.

3.1.6. السيريدات (Cerides)

تنتج من اتحاد أحماض دسمة مع كحول من نوع سيروول ومن أهم خصائصها:

- مركبات صلبة عديمة اللون
- توجد في الشموع النباتية والحيوانية (مثل شمع النحل والكيوتين)
- تلعب دورًا واقياً على سطح الأوراق والسيقان

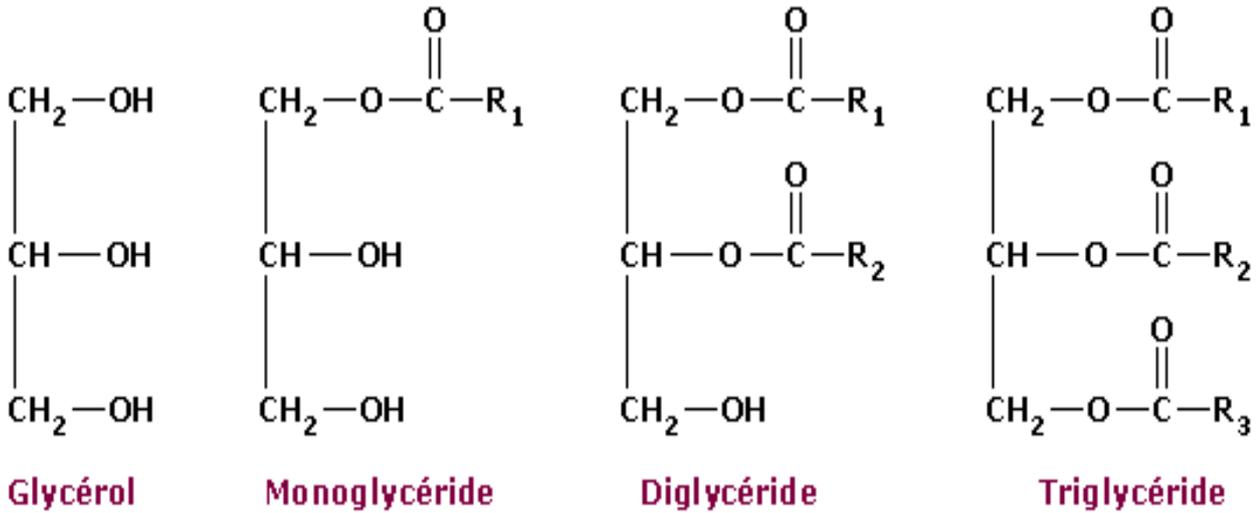
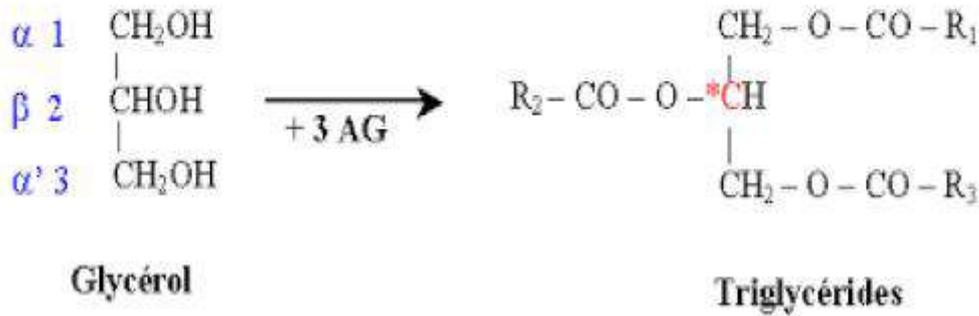
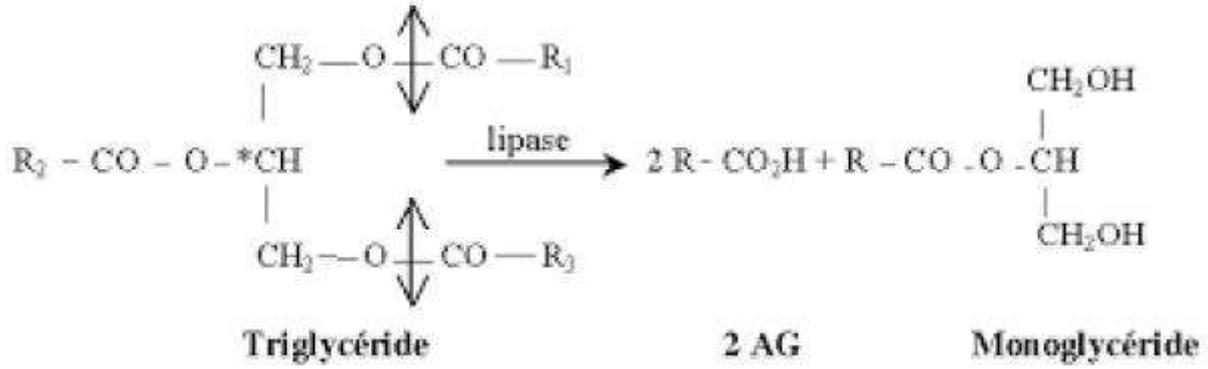


Figure 4 : Glycérines

شكل رقم (22): الصيغة الكيميائية لمركبات ثلاثي وثنائي وأحادي الغليسيريد الناتجة من كحل

الغليسيرول



شكل رقم (23): تشكل دهن الغليسيريد إنطلاقاً من كحول الغليسيرول والأحماض الدسمة

2.6. الدهون المعقدة (Complex Lipids)

وهي أسترات من أحماض دسمة مع كحولات، لكنها ترتبط أيضاً بمركبات إضافية مثل حمض الفوسفور أو قواعد آزوتية أو سكريات.

1.2.6. الفوسفوغليسيريدات (Phosphoglycerides)

تتكوّن من:

أحماض دسمة + غليسيرول + حمض فوسفور + قاعدة آزوتية

أحماض دسمة + غليسيرول + حمض فوسفور + قاعدة آزوتية

أمثلة: ليسيتين، كولين

وتدخل في تركيب الأغشية الخلوية (الميتوكوندريا، أغشية البلاستيدات، الغشاء البلازمي)

2.2.6. السفنغوليبيدات (Sphingolipids)

تتكوّن من:

سفنغوزين + أحماض دسمة + حمض فوسفور + قاعدة آزوتية

سفنغوزين + أحماض دسمة + حمض فوسفور + قاعدة آزوتية

مثال: النخاعين (Myelin)

ويدخل في تركيب المادة البيضاء التي تحيط بالألياف العصبية

7. تصنيف بعض الأغذية المشبعة بالدهون وأثرها على صحة الإنسان

تُصنَّف الأغذية حسب محتواها من الأحماض الدهنية إلى مصادر صحية وأخرى ذات تأثيرات ضارة على الجسم. فبعض الأغذية تُعدّ غنيّة بالأحماض الدهنية غير المشبعة، والتي تُسهم بشكل فعّال في دعم الصحة القلبية والوقاية من الأمراض المزمنة. من بين هذه الأغذية: الأسماك الدهنية، وبذور الكتان (flax seeds)، وزيت الزيتون (olive oil)، والأفوكادو (avocado)، وزيت الكانولا (canola oil) المستخلص من بذور اللفت أو الخردل، إضافة إلى الجوز (walnuts). وتتميّز هذه الأغذية باحتوائها على نسب مرتفعة من الأحماض الدهنية الأحادية والمتعددة غير المشبعة، لا سيما أوميغا-3 وأوميغا-6، التي تؤدي دوراً وقائياً في تنظيم دهنيات الدم، وخفض مستويات الكوليسترول الضار (LDL)، والحد من الالتهابات.

في المقابل، توجد مجموعة من الأغذية التي تحتوي على نسب مرتفعة من الأحماض الدهنية المشبعة، والتي ترتبط بزيادة خطر الإصابة بأمراض القلب وتصلب الشرايين. من أبرز هذه الأغذية: الجبن (cheese)، واللحوم الحمراء (red meat)، وزيت النخيل (palm oil)، وجوز المكاداميا (macadamia nuts)، إضافة إلى بعض الزيوت النباتية المكررة مثل زيت الذرة (corn oil) وزيت دوار الشمس (sunflower oil)، فضلاً عن الزبدة النباتية وعجائن المعجنات. ويؤدي الاستهلاك المفرط لهذه الأغذية إلى ارتفاع مستويات الدهون في الدم، خاصة الكوليسترول الضار، مما يُسهم في ترسبها على جدران الأوعية الدموية ويزيد من خطر الإصابة بالجلطات القلبية والدماغية. والشكل التالي يوضح ذلك:

7 TYPES OF FAT YOU NEED TO KNOW ABOUT

HEALTHIEST

OMEGA-3 FATS

POWERS YOUR BRAIN AND REDUCES RISK OF HEART DISEASE AND ALZHEIMER'S



WILD SALMON



FLAX SEED

MONOUNSATURATED FAT

HELPS YOUR BODY BURN FOOD MORE EFFICIENTLY TO PROTECT AGAINST METABOLIC DISEASE



OLIVE OIL



AVOCADO

POLYUNSATURATED FAT

SMALL AMOUNTS CAN LOWER BAD CHOLESTEROL AND DECREASE RISK OF HEART DISEASE AND TYPE-2 DIABETES



CANOLA OIL



WALNUTS

SATURATED FAT

DOESN'T PROMOTE OR PREVENT HEARTY DISEASE



MEAT



CHEESE

MEDIUM-CHAIN TRIGLYCERIDES

INCREASES RISK OF HEART DISEASE



PALM OIL



MACADAMIA NUTS

OMEGA-6 FATTY ACIDS

TOO MUCH CAN CAUSE INFLAMMATION THAT CONTRIBUTES TO HEART DISEASE



CORN OIL



SUNFLOWER OIL

TRANS FATS

CLOGS ARTERIES AND LIVER TO CAUSE HEART DISEASE



MARGARINE



PIE CRUST

LEAST HEALTHY

شكل رقم (24): تصنيف احواع الأحماض الدسمة من حيث أقرها على صحة الإنسان.

جدول رقم (13): تصنيف قيم الكوليستيرول حسب تصنيف المعهد الأمريكي لصحة القلب

| التصنيف أو التحليل | المستوى الكوليستيرول في الدم | |
|----------------------------|------------------------------|---------|
| | mmol/L | mg/dl |
| مستوى مرغوب (خطورة منخفضة) | 5.2 < | < 200 |
| حدود الخطورة العالية | 6.2-5.2 | 240-200 |
| خطورة عالية | > 6.2 | > 240 |

8. التمثيل الغذائي للدهون (أكسدة الدهون)

مقارنة إلى المخزون الجلايكوجين الذي يمثل 1200 إلى 2000 كيلو سعره حرارية، مخزون الدهون يقارب 70000 إلى 75000 كيلو سعره حرارية. لكن جل الطاقة توفر من الدهون الثلاثية triglycérides المخزنة في الخلايا الدهنية و العضلات بالرغم من أن الدهون الفوسفورية phospholipides و الكوليستيرول cholestérol تصنف كذلك دهون .

استعمال الدهون الثلاثية triglycérides كمصدر للطاقة يتطلب تدهورها إلى جليسيرول glycérol و 3 أحماض دهنية حرة. (acides gras libres) AGL تدهور AGL في العضلة أو داخل الميتوكوندريا يسمى β -oxydation، أين يتكون الاسيتيل CoA الذي يمر في حلقة كريبس ثم تساق ايونات الهيدروجين إلى سلسلة نقل الالكترونات التي تعطي الطاقة اللازمة للفسفرة التأكسدية. أكسدة الأحماض الدهنية و الجلوكوز تعطي نفس المنتجات أي ATP و الماء و ثاني أكسيد الكربون. لكن بما أن الأحماض الدهنية تحتوي على عدد اكبر من الكربون فكمية الاسيتيل CoA تكون اكبر و بالتالي كمية الطاقة تكون اكبر (Wilmore et al. 2006: 109-110).

كما أن أكسدة الدهون يتم عبر سبعة مراحل أساسية، المراحل الثلاثة الاولى تحدث خارج الميتوكوندري في حين أن المراحل الأربعة الاخيرة تحدث داخلها كما يلي:

أكسدة الحمض الدهني أو أكسدة من نوع بيتا (بالإنجليزية: Beta oxidation أو Fatty acid oxidation) هي عملية لتكسير جزيئات الحمض الدهني داخل الميتوكوندريا لإنتاج أسيتيل كو-أ Acetyl-CoA . ويدخل أسيتيل كو-أ الناتج من تحلل الأحماض الدهنية، و من تحلل البروتينات، و تحلل الكربوهيدرات أثناء الأيض (كلها تتحلل إلى أسيتيل كو-أ)، ثم تدخل هذه الجزيئات البسيطة في دورة حمض الستريك . وهذه خطوة أولى نحو إنتاج ثنائي نوكليويتيد الأدينين وأميد النيكوتين NADH وثنائي نوكليويتيد الفلافين والأدينين FADH ، اللذان يمدان الخلية بالطاقة مبدئيا. بعد ذلك يتم في الميتوكوندريا في سلسلة تنفس لإنتاج ثلاثي فوسفات الأدينوسين ATP عن طريق أكسدة NADH و FADH بالأكسجين الآتي من التنفس.

ويتم في سلسلة التنفس في المتقدرات إنتاج جزيئات "ايه تي بي" ATP وهي التي تعتبر (بطارية الطاقة للخلية)

1.8 مرحلة التفعيل

في هذه المرحلة يتم تقسيم الإنزيمات الحمض الدهني إلى جزيئات قصيرة - يحتوي كل منها على ذرتي كربون - وهذه هي حمض الخليك. بعد ذلك يتم تنشيط جزيئات حمض الخليك بربطها بمرافق الأنزيم أ (coA) الذي يحتوي تركيبه على مجموعة SH- حره (حيث يتم الارتباط من خلال هذه المجموعه الحرة) فيصبح حمض الخليك منشطا في هيئة RCOS-CoA. عملية التنشيط هذه تتطلب كل من ATP والآنزيم fatty acyl coA synthase

الهدف من ذلك هو تكوين اعداد كبيرة من "ايه تي بي" لأنها هي التي تعطي الطاقة في الخلية ، فالخلية تحتاج إلى الطاقة (الحرارة) للقيام بوظائفها ، و"ايه تي بي" هي التي تحرك العضلات فيصبح الكائن الحي وكذلك الانسان قادرا على الحركة.

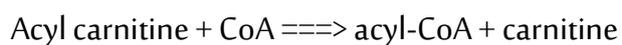
عندما يفقد أدينوسين ثلاثي الفوسفات ATP ذرة فسفور يتحول إلى أدينوسين ثنائي الفوسفات ADP، فعندما تنفك رابطة الفوسفور يكون ذلك مصحوبا بانطلاق طاقة (طاقة الربط) . تلك الطاقة تمتصها الخلايا العضلية فتتحرك (تقبض فتتحرك) . فعملية حركة عضلة معينة مستمرة تحتاج لعدد كبير من جزيئات ؛ يستغل خلالها جزيء تلو الآخر

2.8 مرحلة الانتقال للكارنتين

السلاسل الطويلة من الدهون المشبعة من الأحماض الدهنية لها قابلية ضعيفة جداً ومحدودة لاجتياز الجدار الداخلي للميتوكوندريا عندما تكون على شكل أسيتيل كو-أ ، ولكن هذه القابلية تزداد بتحفيز الكارنتين.

3.8 مرحلة الانتقال للغشاء البيني للميتوكوندريا

الميتوكوندريا هي المتقدرات الموجودة في الخلية إلى جانب نواة الخلية. تتم بنوع آخر من أنزيم Carnitine acyle transferase موجود على السطح الداخلي من الغشاء الداخلي للمتقدرة، حسب التفاعل التالي:



حيث acyl-CoA هو اسيل كو-أ ،

هذه المرحلة تمكن تجمعات مرافق الإنزيم-أ الناتجة من الاحماض الدهنية من انفصالها بين الغشائين الداخلي والخارجي للميتوكوندريا. ومع انتهاء هذه المرحلة فإن كل سلسلة التفاعلات الباقية لإتمام عملية الأكسدة ستتم داخل المتقدرة (الميتوكوندريا).

داخل الميتوكوندريا تحدث عدة خطوات لتكسير الاحماض الدهنية التي لم تتحلل بعد ودخلت في المتقدرة محمولة على جزيء الكارنتين ؛ وبالتالي يتم إزالة ذرتي كربون من سلسلة الحمض الدهني (قد تتكون سلسلة الحمض الدهني مكونة من 16 ذرة كربون كما في حمض البالميتيك) في كل خطوة لتكوين Acyl-coA. وهذا الجزيء المنتج (أسيل مرافق الإنزيم أ)يعمل على إنتاج اجمالي من الطاقة حوالي 100 جزيء من ATP تتشكل حسب عدد ذرات الكربون للسلسلة. وتتضمن 4 خطوات هي:

4.8. إزالة الهيدروجين

إزالة ذرة هيدروجين من سلسلة أسيل كو-أ مما يسمح باضافة رابطة تساهمية ثنائية، مع تحول FAD إلى FADH2 ،

يتعرف الإنزيم Enoyl-CoA-Hydratase على أسيل كو-أ ويتفاعل معه في صورته المتصاوغة trans. وخلال ذلك التفاعل يحدث اختزال FAD إلى FADH2 .

5.8. إضافة ماء

الرابط في الموقع الثاني التي تم إنشاؤها سابقاً سيتم استغلالها وإزالتها باضافة جزيء ماء H2O إلى السلسلة. وهذه الإضافة هي مناوع فراغي "Stereospecificity" ؛ والخطوة التالية أيضا كذلك، ولو ان تركيبة D-form حدثت فإن التفاعل سيتوقف.

6.8. إزالة الهيدروجين الثانية

بإزالة ذرة الهيدروجين في OH وإضافة رابطة ثنائية في ذلك المكان مع ذرة الكربون في L3-KetoacylCoA وبواسطة اختزال NAD+ إلى NADH ينتج 3-كيتو أسيل كو-أ.

7.8. الانشقاق أو الثايولاييس

بالإنجليزية Thiolysis أو Cleavage وهي الخطوة الاخيرة في تحطيم سلسلة الحمض الدهني حمض دهني حيث يتم تجزأتها إلى سلاسل صغيرة وبهذا يكون الحمض الدهني الناتج في كل مرة مكون من ذرتي كربون فقط. ثم تستمر هذه الخطوات الاربعة بالعمل مرة تلو الأخرى حتى يتم تكسير كل سلسلة الاحماض الدهنية. تتكون الأحماض الدهنية من سلاسل طويلة قد تكون السلسلة مكونة من 18 ذرة كربون ، مثل حمض الزيتيك؛ وفي مثالنا هنا أخذنا حمض البالميتيك وتتكون سلسلته من 16 ذرة كربون ؛ وانتهت التفاعلات معه بتكسير السلسلة لإنتاج جزيئات قصيرة كل منها يحتوي على ذرتين فقط من الكربون.

المحاضرة السادسة: البروتينات (Les Protides)

1. تعريف البروتينات

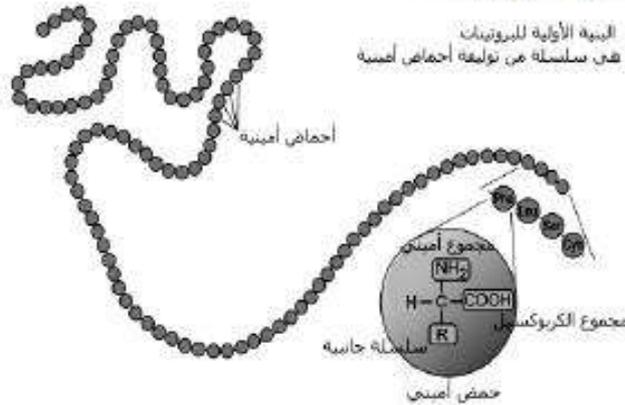
يرجع أصل مصطلح "البروتين" إلى اللغة الإغريقية، حيث تعني كلمة proteios "المرتبة الأولى"، وهو ما يعكس أهمية هذه الجزيئات الحيوية في الكائنات الحية. تُعد البروتينات من أهم المركبات العضوية في جسم الإنسان، إذ تمثل نحو 50% من المادة العضوية، أي ما يقارب 17% من وزن الجسم (Widmaier et al., 2011). فعلى سبيل المثال، يحتوي جسم شخص يزن 70 كغ على نحو 6 كغ من

البروتينات الصافية، تتوزع بشكل رئيسي بين العضلات والكبد.

تتكوّن البروتينات من عناصر أساسية تشمل الكربون (C)، الهيدروجين (H)، النيتروجين (N)، وتحتوي أحيانًا على عناصر أخرى مثل الكبريت (S). وهي جزيئات ضخمة تتكوّن غالبًا من آلاف الذرات، وتتركب من وحدات فرعية تُعرف بالأحماض الأمينية (amino acids)، ترتبط فيما بينها بروابط ببتيدية (peptide bonds) عبر تفاعلات نزع الماء لتشكيل سلاسل متعددة تُعرف بالبوليمرات (polymers).

كما تُعد البروتينات مركبات أساسية وضرورية لقيام الجسم بوظائفه المختلفة، فهي تُشكّل البنية الهيكلية للعضلات، الأنسجة، والأعضاء، وتشارك كذلك في تنظيم العمليات الحيوية من خلال عملها كإنزيمات وهرمونات. وتُبنى البروتينات داخل الجسم بواسطة عملية التخليق الحيوي (biosynthesis) انطلاقًا من الأحماض الأمينية الناتجة عن تحليل البروتينات الغذائية. عندما يكون هناك فائض من البروتينات لا يحتاجه الجسم، يتم تحويله إلى جلوكوز يُستخدم كمصدر للطاقة، مما يُظهر دور البروتينات ليس فقط كمادة بنوية ووظيفية، بل أيضًا كمصدر طاقي عند الحاجة

- البنية الأولية للبروتينات



شكل رقم (25): البنية الأولية للبروتينات

كما تقسم البروتينات إلى ثلاثة مجموعات كبيرة هي:

الأحماض الأمينية

عديد البيبتيد

البروتينات

2. دور ووظائف البروتينات

نستطيع تلخيص دور البروتينات في جسم الانسان إلى سبعة 7 مجموعات وظيفية، و هي النسخ الوراثي، النقل، الهضم و التفكيك و التحويل و توسط التفاعلات الكيميائية، الإتصال و الإارة، الحركة و التقاص العضلي، البناء، المناعة و الدفاعن كما في الجدول التالي:

جدول رقم (14): يبين وظائف ودور البروتينات في الجسم

| 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 المرسل mRNA إلى بروتين. |
| النواقل البروتينية | التوسط في حركة المواد المذابة مثل الأيونات والجزئيات العضوية عبر أغشية البلازما | تسمح القنوات الأيونية في أغشية الخلايا (البلازما) بالحركة عبر غشاء الأيونات مثل Na ⁺ و K ⁺ . |
| الأنزيمات | تسرع معدل التفاعلات الكيميائية المحددة ، مثل تلك المطلوبة لعملية التمثيل الغذائي الخلوي | إن الليباز البنكرياس Pancreatic lipase ، الأميليز amylase ، والبروتياز proteases المفرزة في الأمعاء الدقيقة تحطم الجزئيات الكبيرة إلى جزئيات 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 النواقل 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 ويوصل ويقوي الخلايا و الأنسجة و الأعضاء | يوفر الكولاجين والإيلاستين الدعم للأربطة والأوتار وبعض الأوعية الدموية الكبيرة : ويشكل الأكتين الكثير من الهيكل الخلوي أو الشبكة الداعمة للخلايا. |
| البروتينات الدفاعية | الحماية ضد العدوى والأمراض المسببة من طرف الأجسام الممرضة | تهاجم الخلايا المناعية و الأجسام المضادة الخلايا و البروتينات الخارجية، مثل التي القادمة من طرف البكتيريا و الفيروسات |

3. تقسيم البروتينات

تقسم البروتينات إلى ثلاثة مجموعات كبيرة هي: الأحماض الأمينية، عديد البيبتيد والبروتينات

1.3. الأحماض الأمينية

1.1.3. تعريف الأحماض الأمينية

الأحماض الأمينية هي مركبات عضوية تحتوي على مجموعتين وظيفيتين أساسيتين هما:

• مجموعة أمينية (NH_2)

• مجموعة كربوكسيلية (COOH)

ترتبط هاتان المجموعتان بذرة كربون مركزية (α) والتي ترتبط أيضاً بذرة هيدروجين وسلسلة جانبية R تحدد نوع الحمض الأميني.

فالأحماض الأمينية هي الوحدات البنائية الأساسية للبروتينات، وتلعب أدواراً حيوية في مختلف العمليات البيولوجية مثل النمو، إصلاح الأنسجة، التمثيل الغذائي، ونقل الإشارات العصبية" (Nelson & Cox, 2021).



شكل رقم (26): الصيغة العامة للحمض الأميني

2.1.3. الوظائف البيولوجية للأحماض الأمينية

- بناء البروتينات: جميع البروتينات تتكون من سلاسل بولي ببتيدية من 20 حمضاً أمينياً رئيسياً.
- الإنزيمات والنواقل العصبية: بعض الأحماض الأمينية تعتبر سلائف (precursors) لمركبات حيوية مثل: تريبتوفان → السيروتونين ، فينيل ألانين → الدوبامين والأدرينالين
- تنظيم التمثيل الغذائي والطاقة: يتم استخدام بعض الأحماض الأمينية في دورة كريبس كمصادر طاقة في الحالات الخاصة مثل الصيام.

- نقل النيتروجين وإزالة السموم: الجلوتامين ينقل الأمونيا السامة من الأنسجة إلى الكبد.
- دور في الجهاز المناعي: أرجينين يلعب دوراً في تعزيز المناعة وإنتاج أكسيد النيتريك (NO).
- تنظيم التوازن الحمضي-القاعدي في الجسم.

3.1.3 مصادر الأحماض الأمينية

- مصادر غذائية غنية بالبروتين الكامل: البيض، الحليب، اللحوم، الأسماك، فول الصويا.
- مصادر نباتية جزئية: العدس، الفاصولياء، الحبوب الكاملة (لكنها قد تفتقر لبعض الأحماض الأمينية الأساسية).

4.1.3 التصنيف العام للأحماض الأمينية

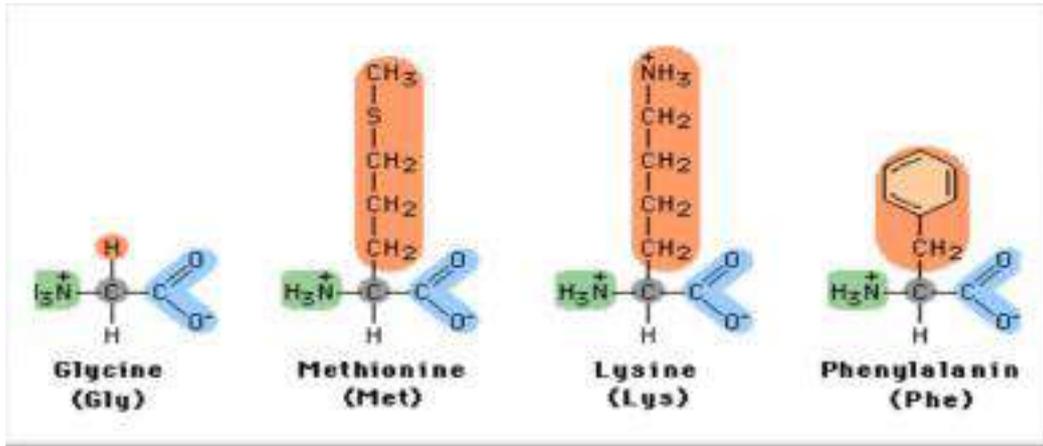
يمكن تصنيف الأحماض الأمينية حسب عدة معايير:

1.4.1.3 حسب القابلية للتخليق في الجسم

- أحماض أمينية أساسية: لا يمكن للجسم تصنيعها ويجب الحصول عليها من الغذاء. مثال: ليسين، فينيل ألانين، تربتوفان، فالين، ميثيونين، إيزوليوسين، ليوسين، ثريونين، والهستيدين (للرضع).
- أحماض أمينية غير أساسية: يمكن أن يصنعها الجسم من مركبات وسيطة. مثال: ألانين، حمض الأسبارتيك، حمض الجلوتاميك، سيرين، أسبراغين، غلوتامين، سيستئين، جلايسين.

2.4.1.3 حسب القطبية والشحنة

- أحماض أمينية غير قطبية (كارهة للماء): مثل ليوسين، ألانين.
- أحماض أمينية قطبية غير مشحونة: مثل سيرين، ثريونين.
- أحماض أمينية مشحونة سلباً (حمضية): مثل حمض الأسبارتيك، حمض الجلوتاميك.
- أحماض أمينية مشحونة إيجاباً (قواعدية): مثل الليسين، الأرجينين، الهستيدين.



شكل رقم (27): الصيغة العامة لأهم الأحماض الأمينية

كما أن الجدول التالي يبين الأحماض الأمينية الأساسية وغير الأساسية

جدول رقم (15): يبين الأحماض الأمينية الأساسية وغير الأساسية

| الأحماض الأمينية غير الأساسية | الأحماض الأمينية الأساسية |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> • الألانين. • الأرجينين. • الأسبراجين. • حمض الأسبراتيك. • السيستيلاين. • حمض الغلوتاميك. • الغلوتامان. • الغليسين. • البرولان. • السيرين. • التيروسين. | <ul style="list-style-type: none"> • الايسوليوساين. • الليوساين • الميثيونان. • الليساين. • الفينيلالانين. • التربتوفان. • الثريونان. • الفالان. • هستيدين (الاطفال). |

5.1.3. الخواص الكيميائية للأحماض الأمينية (خاصية الزويترايون (Zwitterion))

في الوسط الفيزيولوجي ($\text{pH} \approx 7.4$)، تتواجد معظم الأحماض الأمينية في شكل أيون مزدوج

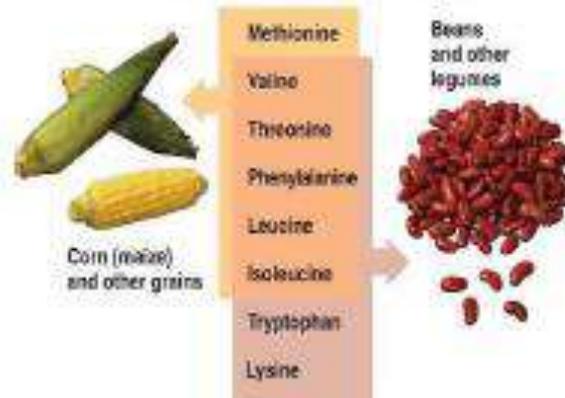
(Zwitterion)، أي أن:

• مجموعة الكربوكسيل تفقد بروتوناً (COO^-)

• مجموعة الأمين تكتسب بروتوناً (NH_3^+)

هذا الشكل يجعل الحمض الأميني مشحوناً بشحنتين متعاكستين ولكنه كهربائياً متعادلاً، مما يؤثر على ذوبانيته في الماء وسلوكه في التحليل الكهربائي. ويمنح الأحماض الأمينية خاصية التميؤ العالي. كما يساهم في

استقرار درجة الحموضة الداخلية. ويُستخدم في تقنيات التحليل الكهربائي للفصل بين الأحماض الأمينية.



شكل رقم (28): يبين أهم الأغذية الغنية بالأحماض الأمينية الأساسية

2.3. عديد الببتيد

1.2.3. تعريف

عديد الببتيد هو سلسلة مكوّنة من عدد كبير من الأحماض الأمينية المرتبطة فيما بينها بواسطة روابط ببتيدية، حيث تُشكل هذه السلاسل الأساس في تركيب البروتينات. أي أن "عديد الببتيد هو بوليمر من الأحماض الأمينية، تُرتب فيه الأحماض الأمينية بطريقة خطية وتُربط بروابط ببتيدية، وقد يكون جزءًا من بروتين أو يمثل بروتينًا كاملاً." (Nelson & Cox, 2021)

2.2.3. كيفية تشكل عديد الببتيد

1.2.2.3. الرابطة الببتيدية (Peptide Bond)

هي رابطة تساهمية تتكوّن بين المجموعة الكربوكسيلية (-COOH) لحمض أميني والمجموعة الأمينية (-NH₂) لحمض أميني آخر، حيث ينتج جزيء ماء (H₂O).

2.2.2.3. تكوين السلسلة الببتيدية

- ثنائي الببتيد (Dipeptide): عند اتحاد حمضين أميينين.
- ثلاثي الببتيد (Tripeptide): عند اتحاد ثلاثة أحماض أمينية.
- عديد الببتيد (Polypeptide): عندما يزيد العدد عن 10 (وفي الغالب يصل إلى المئات).

3.2.2.3. التخليق الحيوي للبتيدات

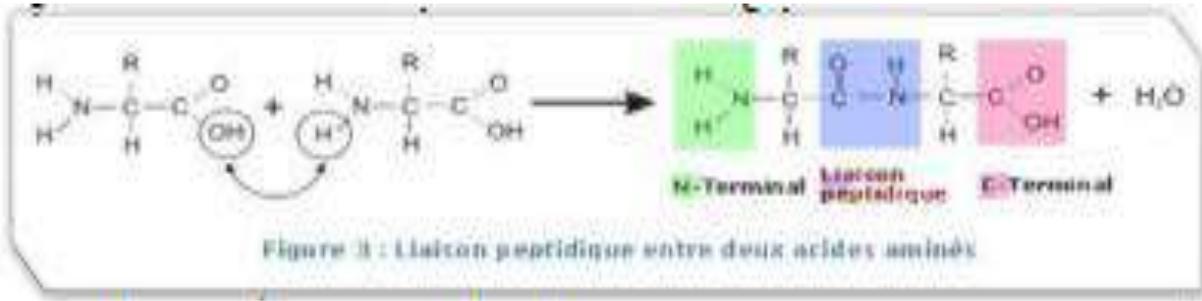
يحدث في الريبوسومات خلال عملية الترجمة (Translation) حيث تُستخدم mRNA لتوجيه ترتيب الأحماض الأمينية بدقة وفق الشيفرة الوراثية.

3.2.3. خصائص عديد الببتيد

- له طرفان مميزان: نهاية N- (أمينو): تحتوي على مجموعة NH_2 ، نهاية C- (كربوكسيل): تحتوي على مجموعة $COOH$.
- يتخذ شكلاً فراغياً خاصاً: الشكل النهائي يحدده تسلسل الأحماض الأمينية ويؤثر في الوظيفة البيولوجية. حيث يتكون من: بنية أولية (Primary structure) وثنائية (Alpha helix / Beta sheet) وثالثية ورباعية (Tertiary / Quaternary) في البروتينات الكبيرة.

4.2.3. أهمية عديد الببتيد

- الأساس البنيوي للبروتينات: جميع البروتينات هي عديدات ببتيد ذات تسلسل خاص.
- له وظائف حيوية متعددة حسب التركيب كالأنزيمات: بروتينات محقّزة تتكون من عديد ببتيدات. والهرمونات الببتيدية: مثل الأنسولين، الغلوجاجون. وكذلك الناقلات العصبية: بعض عديدات الببتيد تعمل كوسائط عصبية.
- الدفاع المناعي: بعض عديدات الببتيد تدخل في تركيب الأجسام المضادة (Antibodies).
- نقل الأوكسجين: الهيموغلوبين (بروتين رباعي البنية) ينقل الأوكسجين في الدم ويتكون من سلاسل ببتيدية.
- بناء العضلات والأنسجة: البروتينات الهيكلية مثل الكيراتين، الكولاجين، الأكتين، والميوزين



شكل رقم (29): كيفية تشكل الرابطة الببتيدية لثنائي الببتيد.

جدول رقم (16): يبين أنواع الببتيدات حسب الطول

| النوع | عدد الأحماض الأمينية | مثال |
|---------------|----------------------|------------|
| أوليغوببتيد | 2-10 | الثيروبتين |
| عديد الببتيد | 10-100 | الإنسولين |
| بروتين (كبير) | <100 | الألبومين |

3.3 البروتينات

1.3.3 تعريف البروتينات

هي جزيئات ضخمة (Macromolecules) تتكوّن من 100 حمض أميني فأكثر، مرتبطة بروابط ببتيدية، وتُعدّ الوحدات الأساسية للبناء والوظيفة في الخلايا الحية. كما أن البروتينات هي بوليمرات من الأحماض الأمينية مرتبة بتسلسل دقيق ومحدد، وهي تؤدي مجموعة واسعة من الوظائف الحيوية، من بناء الأنسجة إلى التنظيم الإنزيمي والنقل الخلوي. (Nelson & Cox, 2021)

كما يتحصل الانسان على البروتينات من مصادر حيوانية (بروتين كامل) كالبيض، اللحوم، الأسماك والحليب ومشتقاته. وكذلك من مصادر نباتية كالبقوليات (العدس، الفاصولياء)، الحبوب والمكسرات وامتصاص البروتينات يبدأ في المعدة بواسطة الببسين، ثم في الأمعاء بواسطة التربسين والكيموتربسين، والأحماض الأمينية الناتجة تُمتص إلى الدم وتُستخدم لبناء البروتينات الجديدة كوقود في حالات الصيام ولتخليق مركبات حيوية (هرمونات، ناقلات عصبية...)

2.3.3 البنية التركيبية للبروتين

تتميز البروتينات بتنظيم بنوي متسلسل:

- البنية الأولية (Primary structure): تسلسل الأحماض الأمينية في السلسلة الببتيدية.

- البنية الثانوية (Secondary): طيّات منتظمة مثل: α -Helix، β -Pleated sheet ناتجة عن روابط هيدروجينية.
- البنية الثالثية (Tertiary): الشكل الفراغي النهائي للسلسلة الببتيدية الواحدة (روابط كبريتيدية، أيونية، هيدروفوبية).
- البنية الرباعية (Quaternary): ارتباط سلاسل ببتيدية متعددة لتكوين بروتين وظيفي (مثل الهيموغلوبين).

3.3.3. تصنيف البروتينات

1.3.3.3. حسب التركيب الكيميائي

- بروتينات بسيطة (Simple) تتكون فقط من أحماض أمينية (مثل الألبومين).
- بروتينات مركبة (Conjugated) تحتوي على جزء غير بروتيني (مثل الهيموغلوبين الذي يحتوي على الهيم).

2.3.3.3. حسب الشكل

- ليفية (Fibrous): غير قابلة للذوبان، ذات وظيفة هيكلية (مثل الكولاجين).
 - كروية (Globular): قابلة للذوبان، ذات وظائف إنزيمية أو تنظيمية (مثل الإنزيمات، الهيموغلوبين).
- 3.3.3.3 حسب الوظيفة: إنزيمات، هرمونات، بروتينات ناقلة، مناعية، هيكلية، تقلصية، تخزينية...

4.3.3. وظائف البروتينات في الجسم

- تشير الدراسات العلمية إلى وجود سبعة وظائف رئيسية للبروتينات داخل الجسم تتمثل في:
- الوظيفة البنائية: مكونات الخلايا والأنسجة (مثل الكيراتين في الجلد، والكولاجين في الأوتار).
 - الإنزيمات: محفزات بيولوجية تسرع التفاعلات (مثل الأميلاز، الليباز).
 - الهرمونات البروتينية: مثل الأنسولين والهرمون الموجه للغدة الدرقية (TSH).
 - النقل والتخزين: الهيموغلوبين ينقل الأوكسجين – الفيريتين يخزن الحديد.
 - الدفاع المناعي: الأجسام المضادة (Immunoglobulins).
 - التقلص العضلي: بروتينات الأكتين والميوزين.

- تنظيم التعبير الجيني ونقل الإشارات داخل الخلايا.

5.3.3. التمثيل الغذائي للبروتينات (أكسدة البروتينات)

البروتينات ليست المصدر الأساسي للطاقة (مثل الكربوهيدرات والدهون)، لكنها قد تُستخدم كمصدر للطاقة في الحالات الطارئة. عند الحاجة، يتم نزع مجموعة الأمين من الأحماض الأمينية، ويُستخدم الهيكل الكربوني في تفاعلات الطاقة. ويتم أكسدة البروتينات وفق ثلاثة مراحل رئيسية هي:

1.5.3.3. نزع مجموعة الأمين (Deamination)

أول خطوة هي نزع مجموعة NH_2 من الحمض الأميني وتحدث في الكبد (وأحيانًا الكلية). كما ينتج عن هذه العملية: أمونيا NH_3 (مادة سامة) وهيكل كربوني (Keto acid) وفق المعادلة العامة:



2.5.3.3. التخلص من الأمونيا (Urea Cycle)

الأمونيا الناتجة عن نزع الأمين يتم تحويلها إلى يوريا (Urea) في الكبد، ثم تُطرح عبر البول وتعرف هذه العملية بدورة اليوريا (Urea Cycle) أو دورة أورنيثين. وتتمثل أهميتها في منع تراكم الأمونيا السامة في الدم.

3.5.3.3. دخول الهيكل الكربوني لمسارات الطاقة

بعد التخلص من مجموعة الأمين، يدخل الهيكل الكربوني الناتج في أحد المسارات التالية:

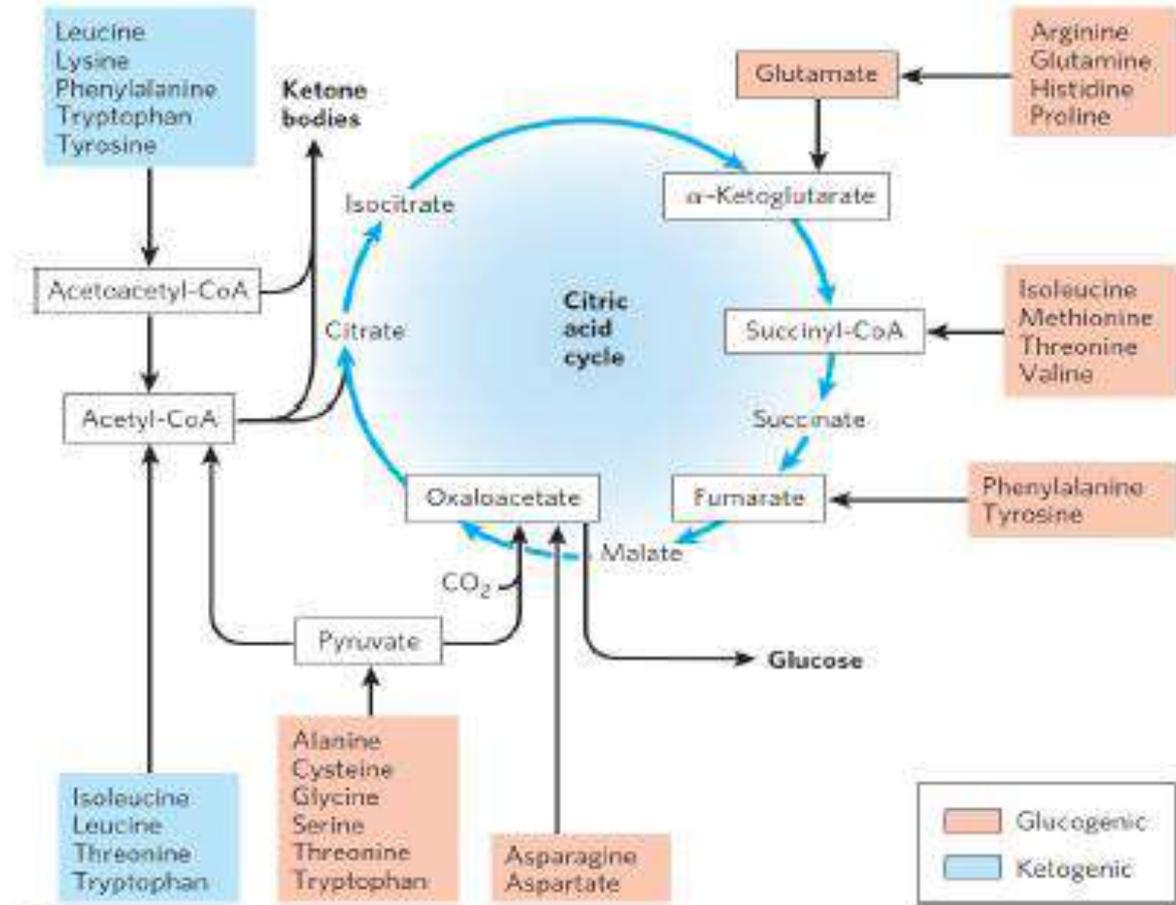
أ. تحول إلى بيروفات أو أسيتيل CoA فبعض الأحماض الأمينية تتحول إلى بيروفات (Pyruvate) أو Acetyl-CoA.

ب. دخول دورة كريبس (TCA cycle) حيث أن الكيتو أحماض الناتجة تدخل إلى دورة كريبس لإنتاج

FADH_2 ، NADH ، ATP ثم تنتقل الإلكترونات إلى سلسلة نقل الإلكترون لإنتاج طاقة. أما المحصلة النهائية للطاقة من كل حمض أميني، يمكن أن تُنتج ما بين 4-5 ATP إلى أكثر من 10 ATP حسب نوع الحمض الأميني والمسار الذي يدخل فيه. فالكفاءة أقل من الدهون والكربوهيدرات لأن البروتينات لا تُخزن للطاقة؛ فاستخدامها كوقود يعني تكسير أنسجة الجسم (العضلات خاصةً).

لذلك يستحب تناول يوميا 0.83 غ من البروتين لكل كيلوغرام من كتلة الجسم. بشكل عام، احتياجات البروتين وكمية الأحماض الأمينية الأساسية يتناقص مع التقدم في السن. وعلاوة على ذلك، فإن احتياجات البروتين يوميا للرضع والأطفال تتراوح من 2-4 غرام لكل كيلوغرام من كتلة الجسم. النساء

الحوامل والأمهات المرضعات يجب زيادة كمية البروتين لديهن من 20 غ و 10 غ على التوالي. كما أن الإجهاد والمرض والإصابة يزيد من احتياجات الإنسان للبروتين.



شكل رقم (30): تفاعلات هدم الأحماض الأمينية.

المحاضرة السابعة: الهرمونات (Les Hormones)

1.مدخل مفاهيمي للهرمونات

الهرمونات هي مواد كيميائية حيوية تُفرز مباشرة في الدم من قبل أعضاء متخصصة تُعرف باسم الغدد الصماء (Endocrine glands)، والتي تُعد غدداً لا تمتلك قنوات خارجية (غدد ذات إفراز داخلي). تُفرز هذه الهرمونات لتصل إلى أنسجة أو أعضاء هدف معينة، حيث تؤثر على وظائفها وتنظم أنشطتها الحيوية.

تُعتبر الهرمونات من أهم وسائل الاتصال الكيميائي داخل الجسم، وتُعد منظمات حيوية (Bioregulators) تشارك بفاعلية في عمليات التنظيم الداخلي (Homeostasis)، سواء في التوازن الأيضي أو الفسيولوجي أو الوظيفي.

تعمل هذه الهرمونات غالباً بالتكامل مع الجهاز العصبي، في ما يُعرف باسم التنظيم العصبي-الهرموني (Neuro-hormonal regulation)، حيث يشكلان معاً نظاماً موحدًا ودقيقًا في التحكم بوظائف الجسم الأساسية.

وقد تم استخدام مصطلح "Hormone" لأول مرة في بداية القرن العشرين على يد Bayliss and Starling، عندما لاحظا تأثير مادة كيميائية تُفرز في مجرى الدم وتُحدث تغييرات وظيفية في أعضاء أخرى بعيدة عن موقع إفرازها، وهو ما يُعد جوهر عمل الهرمونات

و بصورة عامة، يعنى جهاز الغدد الصماء بصورة رئيسية بالتحكم بمختلف الوظائف الاستقلابية للجسم، مثل : معدلات التفاعلات الكيميائية في الخلايا، أو نقل المواد خلال أغشيتها، أو النواحي الأخرى للاستقلابات الخلوية مثل النمو والإفراز. و تتم بعض التأثيرات الهرمونية بعد تخزين وإفراز الهرمونات خلال ثوان، بينما يحتاج بعضها الآخر إلى عدة أيام لمجرد بدئها ولكنها تستمر بعد ذلك لعدة أسابيع أو حتى لأشهر وفقا لاختلاف كيمياء الهرمونات . و يوجد العديد من العلاقات البيئية بين الجهازين الهرموني والعصبي ؛ فمثلا : هناك على الأقل غدتان تفرزان هرموناتها بصورة تامة تقريبا استجابة للمنبهات العصبية المناسبة، وهما لب الغدة الكظرية والغدة النخامية . و تحكم مختلف الهرمونات النخامية بدورها إفرازات معظم الغدد الصماء الأخرى.

3. تصنيف الهرمونات (Hormones Classification)

تُصنّف الهرمونات بناءً على بنيتها الكيميائية الخاصة، كما أشار إلى ذلك كلٌّ من Poortmans & Boisseau (2003, p. 289)، ويُمكن تمييز أربع مجموعات رئيسية:

1.3 الهرمونات متعددة الببتيد (Polypeptide Hormones)

تشمل هذه الفئة الهرمونات التي تتكون من سلاسل من الأحماض الأمينية المرتبطة بروابط ببتيدية، ومن أمثلتها: هرمون النمو (GH)، هرمونات الهضم، هرمونات البنكرياس (مثل الإنسولين والغلوكاغون)، هرمونات الغدة النخامية وهرمونات الغدة تحت المهاد (الوطاء – Hypothalamus)

2.3 الهرمونات المشتقة من الأحماض الأمينية

تنشأ هذه الهرمونات من تعديل بعض الأحماض الأمينية (مثل التيروسين)، وتشمل: النواقل العصبية (Neurotransmitters) مثل الأدرينالين والنورأدرينالين، هرمونات الغدة الدرقية (T3 و T4)

3.3 الهرمونات الستيرويدية (Steroid Hormones)

تُشتق هذه الهرمونات من الكوليسترول، وتتميّز بقدرتها على المرور بسهولة عبر الأغشية الخلوية. وتشمل: الهرمونات الجنسية (مثل التستوستيرون، الإستروجين، البروجستيرون)، هرمونات قشرة الغدة الكظرية (مثل الكورتيزول والألدوستيرون)

4.3 الهرمونات المشتقة من حمض الأراكيدونيك (Arachidonic Acid)

تلعب دورًا في تنظيم الالتهاب ووظائف محلية في الأنسجة، ومن أبرزها: البروستاغلاندينات (Prostaglandins)، اللوكوترايينات (Leukotrienes)

4. أنواع الإفرازات الهرمونية (Types of Hormonal Secretion)

تختلف طرق تأثير الهرمونات بحسب نوع الإفراز ومكان التأثير، ويمكن التمييز بين:

1.4 الإفراز الذاتي (Autocrine Secretion)

يؤثر الهرمون مباشرة على نفس الخلية أو الغدة التي أفرزته.

مثال: تأثير بعض البروستاغلاندينات على بطانة الرحم، أو تأثير الإنسولين على خلايا البنكرياس.

2.4 الإفراز النظير صمّاوي (Paracrine Secretion)

يؤثر الهرمون في خلايا مجاورة ضمن نفس النسيج أو العضو دون المرور بالدورة الدموية.

مثال: الإنسولين يثبط إفراز الغلوكاغون في خلايا ألفا المجاورة في جزر لانغرهانس بالبنكرياس.

3.4 الإفراز العصبي (Neurocrine Secretion)

يتم إفراز الهرمون من خلايا عصبية ويؤثر في خلايا عصبية مجاورة أو في الغدد الصماء.

مثال: تأثير هرمون الغونادوتروبين (GnRH) المفرز من تحت المهاد على الغدة النخامية الأمامية.

5.تنظيم الإفراز الهرموني

إن ضمان توازن الجسم (Homeostasis) والاستجابة الملائمة للتغيرات الداخلية والخارجية، يتم التحكم الدقيق في إنتاج وإفراز الهرمونات. هذا التحكم لا يعتمد على هرمون واحد فقط، بل على تفاعل وتداخل منظم بين عدة هرمونات تنظم بعضها البعض عبر آليات معقدة.

1.5. دور الغدة تحت المهاد (Hypothalamus)

في العديد من أنظمة التنظيم الهرموني، تبدأ السلسلة في الغدة تحت المهاد التي تفرز ما يُعرف بـ: الهرمونات المطلقة (Releasing Hormones) حيق يتم نقل هذه الهرمونات عبر الجهاز الدوري إلى الغدة النخامية.

2.5. الغدة النخامية (Pituitary Gland)

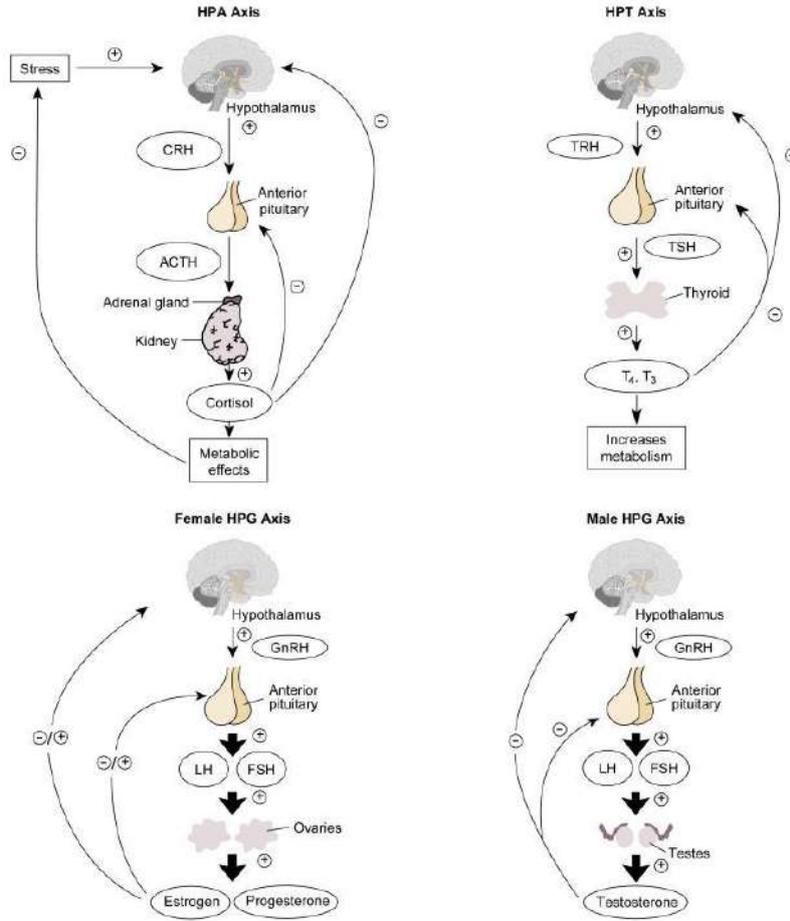
تستجيب الغدة النخامية لتأثير الهرمونات المطلقة، حيث تقوم بإنتاج وإفراز هرمونات محفزة (Tropic Hormones) وتوجه هذه الهرمونات عبر الدم إلى الغدد الصماء الطرفية المستهدفة، مثل: الغدة الكظرية (Adrenal Glands)، الغدد التناسلية (Gonads) والغدة الدرقية (Thyroid Gland)

3.5. تأثير الهرمونات الطرفية (Peripheral Hormones)

تتفاعل الهرمونات التي تفرزها الغدد الطرفية مع الخلايا المستهدفة في أعضاء مختلفة (مثل القلب، الرئتين، أو أنسجة الجسم المتعددة) وتؤدي هذه التفاعلات إلى التأثيرات النهائية المطلوبة حسب حاجة الجسم (مثلاً: تنظيم الأيض، التوازن المائي، الوظائف التناسلية، وغيرها).

4.5. آلية التغذية الراجعة (Feedback Mechanism)

يُعد نظام التغذية الراجعة (Feedback) أداة حيوية لضمان بقاء الإفرازات الهرمونية ضمن حدودها المثلى في معظم الحالات، يتم تنظيم النظام عبر التغذية الراجعة السلبية (Negative Feedback) حيث تقوم الهرمونات الطرفية (التي أُفرزت من الغدد المستهدفة) بتثبيط إفراز هرمونات الغدة النخامية أو هرمونات الغدة تحت المهاد هذا التثبيط يمنع الإفراط في النشاط الهرموني ويحافظ على الاستقرار الداخلي للجسم.



شكل رقم (31): التغذية الراجعة لتعديل الإفراز الهرموني

6. آلية تأثير الهرمونات على الخلية البشرية (Mechanism of Hormonal Action on Human Cells)

تلعب الهرمونات دورًا محوريًا في تنظيم وظائف الخلية، ويتم ذلك من خلال ارتباطها بمستقبلات نوعية (Specific Receptors)، تتوزع في موقعين رئيسيين داخل الخلية:

- المستقبلات الغشائية (Membrane Receptors):

تقع على سطح غشاء الخلية الخارجي (Cell Membrane). وتتفاعل بشكل أساسي مع الهرمونات الببتيدية (Polypeptide Hormones) مثل: هرمون النمو، الإنسولين والهرمونات النخامية. إن عدد هذه المستقبلات يتراوح بين 200 و1,000,000 مستقبل لكل خلية حيث كلما زاد عدد المستقبلات، زادت شدة الاستجابة الخلوية للهرمون.

- المستقبلات داخل الخلية (Intracellular Receptors)، تتوضع في مواقع مختلفة داخل الخلية، خاصة السيتوبلازم (Cytoplasm)، الميتوكوندريا (Mitochondria)، نواة الخلية (Nucleus) وهذه المستقبلات تختص بالهرمونات الدهنية (Lipid-Soluble Hormones)، مثل الهرمونات الستيرويدية (Steroid Hormones) وهرمونات الغدة الدرقية.

فيتم تحفيز عمليات البناء البروتيني (Protein Synthesis) داخل الخلية، مما يؤدي إلى تغييرات هيكلية أو وظيفية مستمرة في الخلايا المستهدفة.

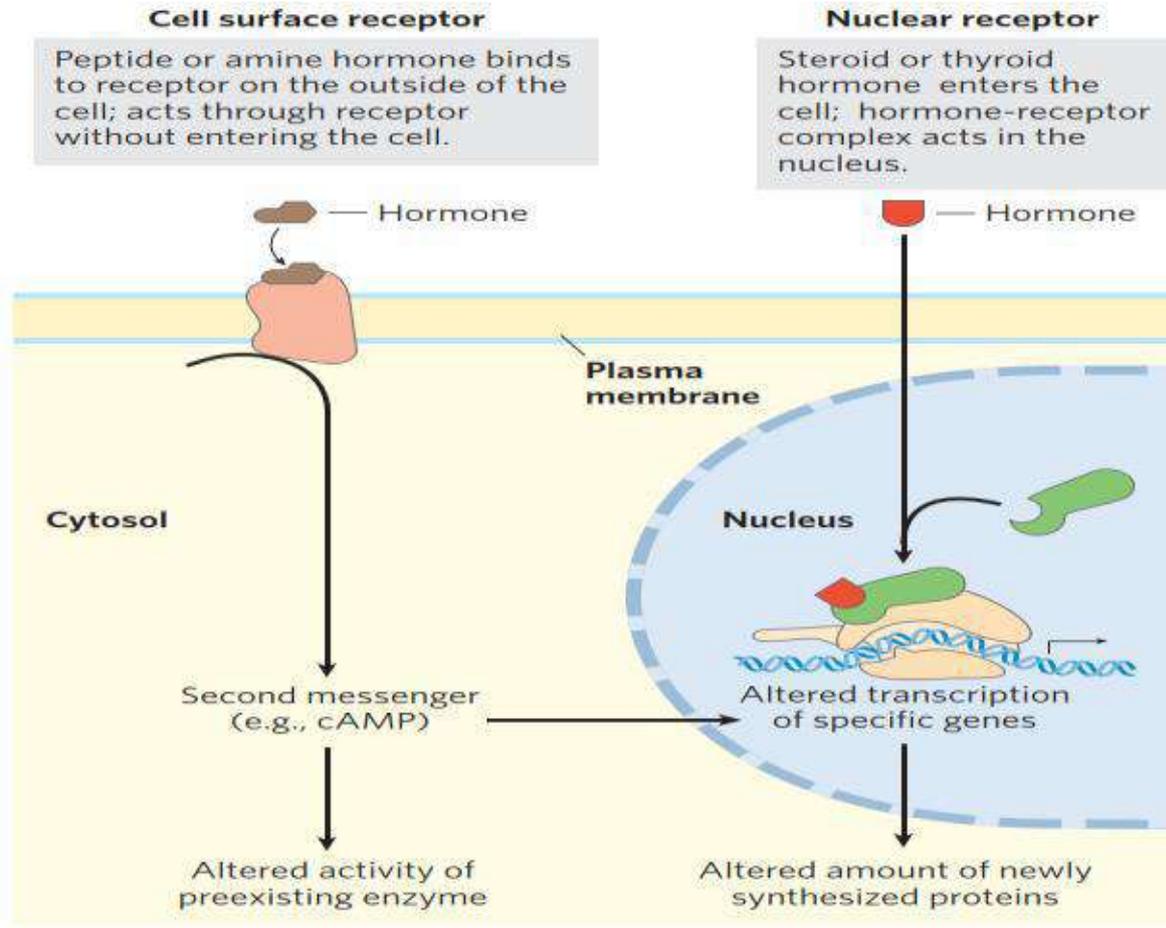


FIGURE 23-3 Two general mechanisms of hormone action. The peptide and amine hormones are faster acting than steroid and thyroid hormones.

شكل رقم (32): أنواع المستقبلات الهرمونية داخل الخلية البشرية

7. تأثير التمرين البدني على مستويات تركيز الهرمونات (The Effect of Physical Exercise on Hormonal Concentrations)

يمثل التمرين البدني عاملاً فسيولوجياً مهماً يؤثر على التوازن الهرموني في الجسم. إذ تستجيب الغدد الصماء للتغيرات الناتجة عن التمارين من حيث الشدة والمدة والنوع، مما يؤدي إلى تغييرات مؤقتة أو مستمرة في إفراز وتركيز العديد من الهرمونات، والتي تسهم في تنظيم الاستقلاب، والأداء العضلي، والاتزان المائي والكهربي، والطاقة.

1.7. الكاتيكولامينات (Catecholamines): الأدرينالين والنورأدرينالين

1.1.7. النورأدرينالين (Noradrenaline):

يُعد أحسن مؤشر للنشاط العصبي الودي (Sympathetic Nervous Activity). ويرتفع تركيزه طرديًا مع شدة التمرين البدني. كما يتأثر بـ: مدة التمرين، وضعية الجسم (واقف/مستلقي)، نوع التقلص العضلي (ثابت، بلومتري) و توفر الأكسجين والجلوكوز (نقص الأكسجين والجلوكوز يزيد من إفرازهما)

2.1.7. الأدرينالين (Adrenaline)

ينشّط بفسفرة الجليكوجين الكبدي (glycogenolysis) وتحفيز مستقبلات β -الأدرينرجية في الأنسجة الدهنية فيزيد تحلل الدهون (Lipolysis). خلال التمرين المعتدل، يقل النشاط الأدريناليني مع التدريب الهوائي المنتظم ينخفض مستوى الكاتيكولامينات بسرعة عند التوقف الفجائي للجهد نتيجة توقف نشاط النظام الودي-الكظري.

2.7. المحور رينين – أنجيوتنسين – ألدوستيرون (RAAS)

يُنشّط أثناء التمرين البدني. ترتفع مستويات الرينين، الأنجيوتنسين II والألدوستيرون مما يؤدي إلى احتباس الصوديوم والماء وتنظيم الضغط الدموي تناسب زيادة هذه الهرمونات طرديًا مع شدة التمرين، مدته ووضعية الجسم.

3.7. الهرمون المضاد للإدرار (ADH)

يرتفع طرديًا مع شدة التمرين و/أو مدته وتزداد إفرازه استجابة للضغط الأسموزي المرتفع ونقص حجم الدم كما يقلل إنتاج البول ويساعد في حفظ الماء داخل الجسم.

4.7. الإريثروبويتين (EPO)

يبقى تركيزه ثابتًا خلال التمارين القصيرة ويتأثر أساسًا بنقص الأكسجين في المرتفعات أكثر من تأثير التمارين بحد ذاتها.

5.7. الإنسولين (Insulin)

ينخفض تركيزه مع ازدياد شدة ومدة التمرين نتيجة نقص سكر الدم وتنشيط مستقبلات β في جزر لانجرهانس وهذا يرفع حساسية المستقبلات الخلوية للإنسولين ويزيد من تحلل الدهون وتعبئة الأحماض الدهنية كما يزيد أيضا تحفيز الجلوكوز الكبدي، كما أنه يرتفع تركيزه سريعًا بعد التمرين بسبب انخفاض تحفيز النظام الودي-الكظري.

6.7. الجلوكاجون (Glucagon)

يرتفع خلال التمرين نتيجة انخفاض السكر في الدم ويؤدي ذلك إلى زيادة تحفيز Gluconeogenesis لإعادة بناء الجلوكوز من غير السكريات.

7.7. هرمون النمو (GH)

يرتفع تركيزه عند شدة التمرين $\leq 40\%$ من VO_2max والتمارين الطويلة (>45 دقيقة) ومن أهم وظائفه تحفيز إفراز IGF-1 من الكبد والعضلات وتعزيز نمو العضلات وتحلل الدهون كما أنه يعود إلى المستوى القاعدي ببطء شديد بعد التمرين.

المحاضرة الثامنة: الفيتامينات (Les Vitamines)

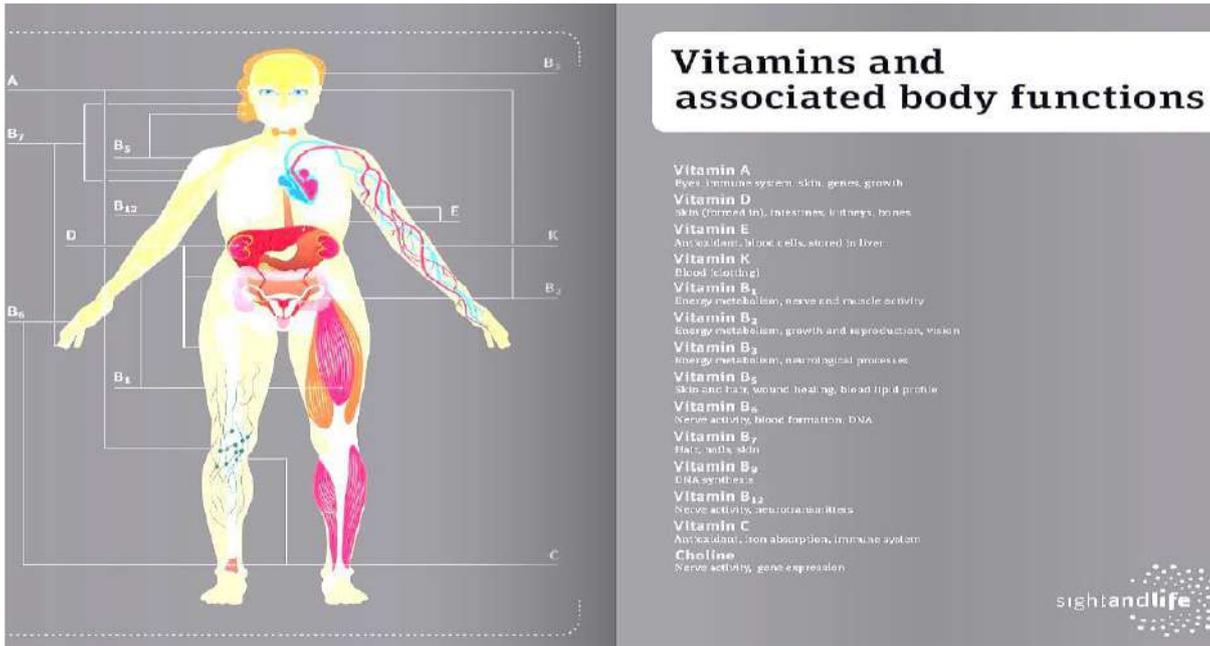
1. تعريف الفيتامينات

الفيتامينات هي عبارة عن مركبات عضوية تتواجد في الأغذية، و لها أهمية بالغة في التفاعلات البيوكيميائية في جسم الإنسان، فلي تدخل في عدة عمليات، بما في ذلك أيض الأملاح المعدنية و العظام، وفي نمو الخلايا و الأنسجة، و هي تعمل على كل عوامل مرافقة لأيض الطاقة، حيث يلعب الفيتامين B vitamins دورا واسعا بالنسبة لأي فيتامين خر (Betts & Dsaix, 2013، ص 1189) و هي عبارة عن مجموعة من 14 من المغذيات الأساسية العضوية، لازمة بكميات ةايلة في الغذاء، و البنية الكيميائية الدقيقة للفيتامينات المكتشفة الأولى لم تعلم، ثم تم إكتشافها حس الحروف الأبجدية، و عرف أن الفيتامين متكون من ثمانية 8 مواد جعلته يعرف بمعقد فيتامين vitamin B complex و نجد أن النباتات و البكتيريا لديها الأنزيمات لتشكل الفيتامين، أما نحن البشر فنحصل على الفيتامينات من خلال أكل النباتات و اللحوم الحيوانية العاشبة (WIDMAIER et al., 2011)

2. دور الفيتامينات في الجسم

تلعب الفيتامينات دورًا هامًا في العمليات التالية:

- تساهم في إنتاج كريات الدم و الهرمونات و الأعصاب .
- تزيد من مناعة الجسم و الوقاية من الأمراض .
- ضرورة جدا لنمو الخلايا و عمل الأعضاء .
- تساعد في تأخير علامات الشيخوخة و الوقاية من أمراض القل و منع ظهور بعض أنواع السرطانات أو التخفيف من حدتها.
- تنظيم عمليات الأيض (الميتابوليزم).
- دعم الجهاز المناعي
- تصنيع الإنزيمات و الهرمونات
- حماية الجسم من الأكسدة (مضادات الأكسدة مثل فيتامين E و C)
- دعم صحة العظام (فيتامين D)
- تعزيز الرؤية (فيتامين A)



شكل رقم (33): ارتباط الفيتامينات بوظائف الجسم

3. تصنيف الفيتامينات

تصنف الفيتامينات إلى مجموعتين رئيسيتين:

1.3 الفيتامينات الذوابة في الدهون

تشمل فيتامينات A, D, E, K وتخزن في الكبد والأنسجة الدهنية.

2.3 الفيتامينات الذوابة في الماء

تشمل فيتامين C ومجموعة فيتامين B مثل: B1, B2, B6, B12، النياسين، البيوتين، حمض الفوليك....)، كما يجب تعويض الفيتامينات الذوابة في الماء باستمرار لعدم تخزينها بكميات كبيرة في الجسم.

4. مصادر الفيتامينات

يحصل الإنسان على الفيتامينات من خلال أكل النباتات و اللحوم الحيوانية:

1.4 مصادر فيتامين A

الجزر، الكبد، السبانخ، البطاطا الحلوة.

2.4 مصادر فيتامين D

أشعة الشمس، زيت كبد الحوت، الأسماك الدهنية، البيض.

3.4 مصادر فيتامين E

الزيوت النباتية، المكسرات، البذور.

4.4. مصادر فيتامين K

الخضروات الورقية، البروكلي، الكرنب.

5.4. مصادر فيتامين C

الحمضيات، الفراولة، الفلفل، الكيوي.

6.4. مصادر فيتامينات B

الحبوب الكاملة، اللحم، البيض، البقوليات.



شكل رقم (34): أهم الفيتامينات الضرورية للجسم ومصادرها الغذائية.

جدول رقم (17): يبين مختلف أنواع الفيتامينات وأماكن نشاطها

| مكان النشاط | الفيتامينات |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| العين، البشرة (الجلد)، الجهاز المناعي. | A |
| تشكيل الطاقة أثناء الممارسة الرياضية، عمل الجهاز العصبي، الذاكرة. | B1 |
| تشكيل الطاقة، العينين، النمو. | B2 |
| السكري، ارتفاع الكوليسترول، هشاشة العظام | B3 |
| الحساسية، الجلد و الشعر، الخصوبة. | B5 |
| تشكيل الطاقة، الربو السكري... | B6 |
| الجلد و الشعر: | B8 |
| الجنين، النمو، الأمعاء و الدم. | B9 |
| الدم، التعب، الألام، الأمراض العقلية. | B12 |
| الوقاية من الأمراض، المناعة، الكوليسترول، الحساسية، الإصلاحات بعد الإصابة، التعب. | C |
| العظام، الجلد و الوقاية من الأمراض. | D |
| الوقاية من الأمراض (التلوث، السرطان، الأمراض المتعلقة بالجهاز الدوراني)، المناعة. | E |
| تجلط الدم، العظام. | K |

5. أهمية الفيتامينات أثناء الجهد البدني

1.5 دعم العمليات الأيضية (الاستقلابية)

تلعب الفيتامينات دورًا أساسيًا كمرافق إنزيمية (Coenzymes) في التفاعلات البيوكيميائية التي تُنتج الطاقة من الكربوهيدرات، والدهون، والبروتينات. على سبيل المثال، فيتامينات مجموعة B (مثل B1، B2، B6، B12، النياسين) ضرورية لإنتاج ATP (الطاقة الخلوية) خلال النشاط البدني.

2.5 الحفاظ على الأداء العضلي والوظائف العصبية

- فيتامين D ضروري للحفاظ على صحة العضلات والعظام وتحسين الانقباض العضلي، مما يقلل من خطر الإصابات.
- فيتامين E يعمل كمضاد أكسدة قوي يحمي أغشية الخلايا العضلية من التلف أثناء التمارين الشديدة.
- فيتامين B12 يدعم تكوين خلايا الدم الحمراء ويمنع التعب العضلي الناتج عن فقر الدم.

3.5 تعزيز المناعة وتقليل الإجهاد التأكسدي

أثناء الجهد البدني المكثف، تزداد نسبة الجذور الحرة، مما يسبب الإجهاد التأكسدي. فيتامينات C و E و A من مضادات الأكسدة القوية التي تحمي الجسم من هذا الضرر وتحافظ على كفاءة الجهاز المناعي.

4.5 تنظيم عمليات التمثيل الغذائي وتحسين الأداء القلبي الوعائي

- فيتامين B1 (الثيامين) يساعد في تحويل الكربوهيدرات إلى طاقة، وهو مهم للرياضيين الذين يعتمدون على التحمل.
- فيتامين B6 يلعب دورًا في استقلاب الأحماض الأمينية الضرورية لبناء العضلات.

5.5 تعزيز التركيز العقلي والتوازن العصبي

نقص بعض الفيتامينات (مثل B6، B9، B12) قد يؤثر سلبيًا على التركيز والوظائف العصبية خلال التمارين أو المنافسات.

6.5 الوقاية من التشنجات والضعف والإرهاق

نقص الفيتامينات، خاصة B1 و B2 و B3 و B6، قد يؤدي إلى تشنجات عضلية، وإرهاق مبكر، وانخفاض الأداء البدني. فالفيتامينات لا تعطي الطاقة بشكل مباشر، لكنها ضرورية لتحويل الغذاء إلى طاقة وللحفاظ على صحة العضلات، الأعصاب، والعظام لذلك، من المهم أن يحرص الرياضيون والأشخاص النشطون بدنيًا على

الحصول على كميات كافية من الفيتامينات من خلال الغذاء المتوازن أو المكملات عند الحاجة، خصوصاً في فترات التدريب المكثف.

6. أهم الدراسات العلمية التي بينت أهمية الفيتامينات في تعزيز الأداء الرياضي

1.6. دراسة حول فريق الرجبي النيوزيلندي (2017)

بعنوان "مكملات فيتامين D3 لا تُحسن أداء العدو لدى لاعبي الرجبي المحترفين"، كان هدف الدراسة هو تقييم تأثير مكملات فيتامين D3 بجرعة 50,000 وحدة دولية كل أسبوعين على السرعة والقوة، وقد شارك في الدراسة 57 لاعب رجبي محترف لديهم مستويات طبيعية من الفيتامين، خلال فترة 11-12 أسبوعاً، ومن أهم نتائج الدراسة تسجيل ارتفاع واضح في مستوى فيتامين D في الدم، لكن لم يُلاحظ أي تحسن في خمسة من أصل ستة اختبارات للأداء، باستثناء زيادة قوة السحب العكسي بحوالي 5.5 كغ، وأوصت الدراسة بأن مكملات فيتامين D قد ترفع مستواه في الجسم لكنها لا تُعطي تأثيراً ملحوظاً على الأداء البدني عند الرياضيين غير المصابين بالنقص.

2.6. باحثون إيرانيون (2018)

بعنوان "فعالية مكملات فيتامين D على الأداء البدني للرياضيين الإيرانيين النخبة"، كان هدف الدراسة هو اختبار ما إذا كانت الجرعة الأسبوعية (50,000 وحدة دولية) من فيتامين D تُحسن القفز والقوة والسرعة والرشاقة، وقد شارك في الدراسة 70 لاعب كرة قدم و فوتسال (أعمار 18-23)، قُسموا إلى مجموعتي مكملات ودواء وهي لمدة 8 أسابيع، ومن أهم نتائج الدراسة أن المجموعة التي تناولت فيتامين D شهدت تحسناً ملحوظاً في قوة الأرجل والسرعة القصوى، دون تغييرات مهمة في القفز أو الرشاقة، وأوصت الدراسة بأن الجرعات العالية من فيتامين D أسبوعياً قد تُعزز السرعة والقوة لدى الرياضيين النخبة.

3.6. دراسة De Oliveira Chou وآخرون (2018)

بعنوان "تأثير تناول مكملات فيتاميني C و E بشكل حاد على تلف العضلات لدى رياضي التايكواندو النخبة، كان هدف الدراسة هو دراسة ما إذا كان الاستخدام قصير المدى لمضادات الأكسدة بجرعات عالية يقلل من مؤشرات تلف العضلات ويُحسن الأداء، وقد شارك في الدراسة 18 لاعب تايكواندو نخبة قُسموا إلى مجموعتين، تناولت إحداهما فيتامين C (2000 ملغ/يوم) + فيتامين E (1400

وحدة دولية/يوم) لمدة 3 أيام قبل المنافسة، وأظهرت أهم نتائج الدراسة أن المجموعة المكملة سجلت انخفاضًا في مؤشرات التلف العضلي (مثل CK والميوجلوبيين)، لكن لم تُسجل أي تحسنات في الأداء، وأوصت الدراسة بأنه يمكن لمكملات فيتاميني C و E قصيرة المدى أن تقلل من تلف العضلات دون أن تُحسن الأداء لدى رياضيي القتال النخبة.

4.6. دراسة Clifford وآخرون (2019)

بعنوان 'تأثيرات فيتاميني C و E على التكيفات الفسيولوجية الناتجة عن التدريب: مراجعة منهجية وتحليل شمولي للتجارب السريرية' ، وكان هدف الدراسة هو تقييم تأثير فيتامين C و/أو E على نتائج التدريب الهوائي وتمارين القوة، وقد تطرقت هذه الدراسة إلى تسع أبحاث شملت رياضيين ممارسين للتدريب الهوائي أو تمارين المقاومة، ومن أبرز نتائج الدراسة أنه لم يُسجل أي فرق في أقصى استهلاك للأوكسجين أو الكتلة العضلية أو القوة بين المجموعات التي تناولت المكملات وتلك التي لم تتناولها، وشد أوصت الدراسة بأن مكملات فيتامين C و E لا تُحسن التكيفات التدريبية وقد تُضعفها، ولا يُنصح باستخدامها من قبل الرياضيين المحترفين.

5.6. دراسة Wyatt وآخرون (2024)

بعنوان "تأثير مكملات فيتامين D على الرياضيين النخبة: مراجعة منهجية"، وكان هدف الدراسة هو تقييم تأثير مكملات فيتامين D على الأداء الهوائي واللاهوائي لدى الرياضيين النخبة، كان هدف الدراسة هو تحليل 14 تجربة سريرية عشوائية شملت رياضيين تقل أعمارهم عن 35 سنة من مختلف الرياضات – النتائج: أظهرت الدراسة تحسنًا ملحوظًا في أقصى استهلاك للأوكسجين VO_{2max} في دراستين، وتحسنًا في القوة والطاقة اللاهوائية في خمس دراسات، في حين كانت الفوائد في السرعة متباينة – التوصية: مكملات فيتامين D قد تُحسن الأداء الهوائي واللاهوائي لدى الرياضيين الذين يعانون من نقص فيه، وتختلف الفوائد حسب نوع الرياضة ومستوى الفيتامين الأساسي.

المحاضرة التاسعة: مدخل إلى بيوكيمياء الجهد البدني

(Biochimie de l'Effort Physique)

تمهيد

يُعدّ علم "بيوكيمياء الجهد في التدريب الرياضي". أحد الفروع البيولوجية الذي يُعنى بدراسة كيمياء مختلف العمليات الحيوية والتركيب الكيميائي لمختلف المواد الغذائية بهدف الوصول إلى تدريب ديناميكي جيّد، ومستوى أداء عالي يؤثّر إيجاباً على تحقيق أعلى النتائج في المنافسات الرياضية.

يحدث التدريب الرياضي تغيّرات فسيولوجية داخل الخلية العضلية لتحرير الطاقة اللازمة والكافية للأداء الرياضي الفعّال وذلك نتيجة زيادة نشاط الهرمونات والأنزيمات ومواد الطاقة المختلفة من كربوهيدرات ومواد دسمة وبروتينات التي تشترك في عمليات التمثيل الغذائي.

كما يُعدّ إنتاج الطاقة من أهمّ الموضوعات التي يُعنى بدراستها علم بيوكيمياء الجهد في التدريب الرياضي، لأن مختلف الأنشطة البدنية والرياضية في مجال التدريب الرياضي تحتاج إلى نسب مختلفة من الطاقة (ATP) حسب شدّة وحمل وحجم التدريب.

من هنا اهتمّ أخصائين علم الرياضة في الآونة الأخيرة بالتعرّف على استجابات وردود الفعل والتكيفات الفسيولوجية والكيميائية للجسم أثناء التدريبات البدنية المختلفة أو في حالة الراحة، بغرض الاستفادة منها عند تخطيط برامج التدريب الرياضي.

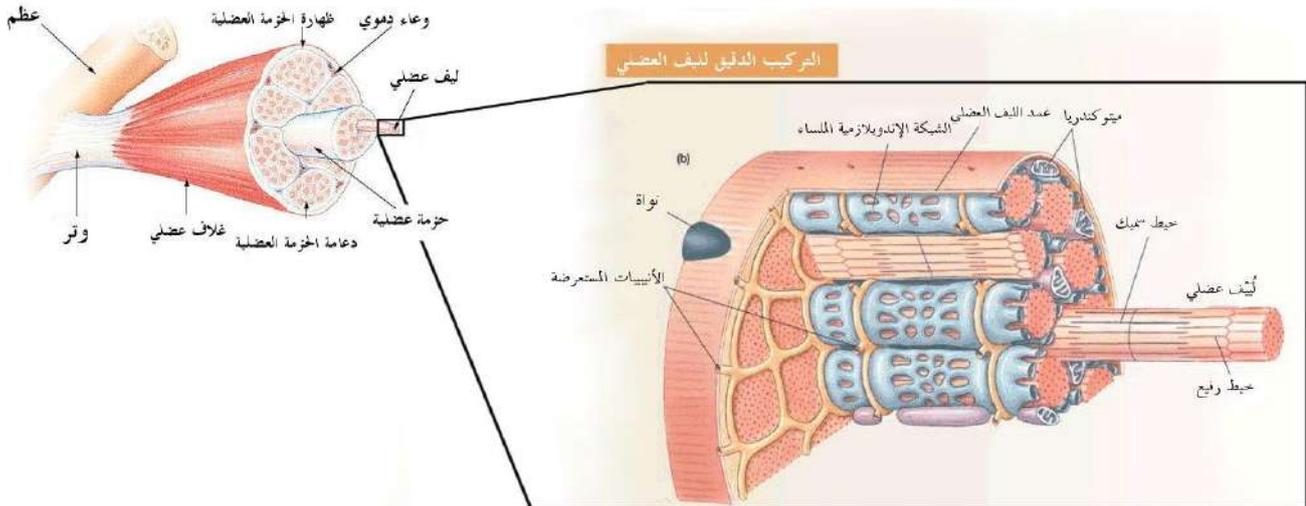
إن أهداف استخدام التقنيات البيولوجية في دراسة بيوكيمياء الجهد البدني أثناء عمليات تخطيط برامج التدريب الرياضي هي :

- دراسة الأثر السليبي الذي تُحدثه بعض التدريبات ذات الشدّة العالية وغير المنتظمة لفترات طويلة (تكوين الشوارد الحرة *radicaux libres*)
- التعرّف على الخلل في بعض الجينات (الكروموزومات أو المورثات) التي تؤثّر على أطوال و أوزان الرياضيين.
- إنتاج الهرمونات بالتقنيات البيولوجية الحديثة المخبرية *in vitro* (زيادة الأطوال و الأوزان).
- الكشف العلمي عن استخدام بعض الرياضيين للمنشطات وخاصّةً الهرمونات البنائية بهدف تكوين الهرمونات النوعية.

- تحسين ورفع نشاط الجهاز المناعي للرياضيين مثلا لتفادي الربو الناتج من الجهد AIE.
- دراسة التأثيرات المختلفة التي تُحدثها التدريبات البدنية تحت ظروف غير طبيعية مثل: التدريب عند درجات الحرارة المرتفعة أو أثناء البرودة الشديدة، أو في المرتفعات.... وغير ذلك، حيث تؤثر تلك التدريبات جميعها على الخلية.

1. العضلة الهيكلية le muscle squelettique

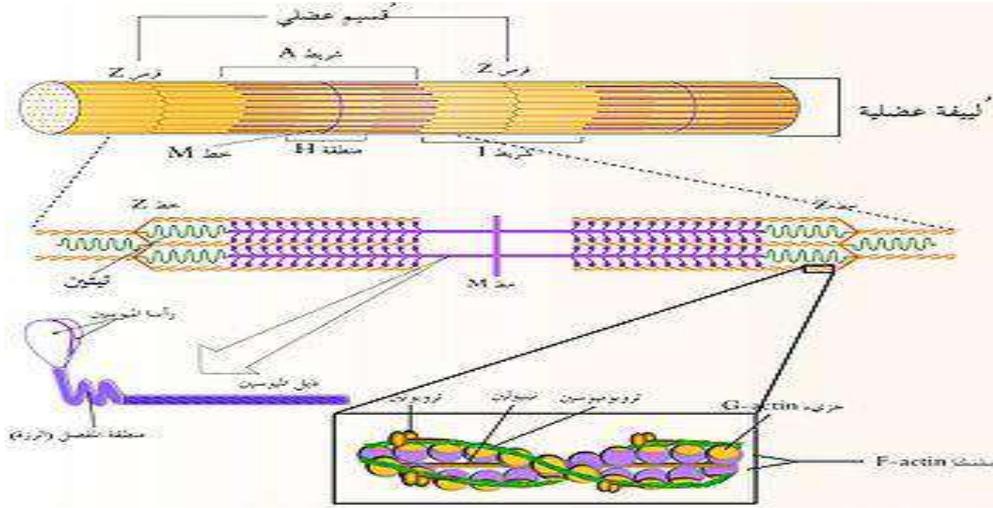
تشمل العضلة الهيكلية 40% من كتلة الإنسان أي ما يقارب 28 إلى 30 كلغم من وزن ذكر يزن 70 كلغم (53: 2009 Jacques et al.)، ووظيفتها هي تحريك عظام الهيكل العظمي والتحكم في موضع كل منها. تتكون العضلات من مجموعة من الخلايا أو "الألياف العضلية"، و يحيط الليف العضلي غلاف يسمى sacrolème و يحتوي على حزم من اللييفات و هي عبارة عن بروتينات معلقة في دعامة الحزم العضلية أو sarcoplasme و تقوم هذه اللييفات بعملية الانقباض العضلي (شكل 1). تحاط اللييفات بانبيبات عمودية تسمى الشبكة الساركوبلازمية réticulum sarcoplasmique التي تحتوي على خزانات الكالسيوم. و تشكل كذلك الشبكة الساركوبلازمية نضام من الأنبيبات المستعرضة والتي تدعى أنبيبات T ، و يتكون اللييف من بروتينات حركية (Rawn 1990).



شكل رقم (35): يبين بنية العضلة الهيكلية

تتكون الوحدة القاعدية للييف العضلي أو القسم العضلي sarcomère من نوعان من الشرائط، القاتمة A و الفاتحة I (شكل 2). في وسط الشريط A نجد شريط أفتح و هو H و بدوره يقطع بخط قاتم و ضيق جدا يسمى M. يقوم خط Z بتقسيم كل شريط I إلى قطعتان متساويتان. و يفصل خط Z كل

قسيم عضلي sacromère. تحتوي كل من الشرائط A و I على خيوط رقيقة و خيوط ثخينة، الاكتين (A) و الميوزين (M myosine) (Squire 1981)



شكل رقم (36): يبين بنية اللييفات العضلية

عرف منذ 1969 (Bendall) أن العضلة تتكون من بروتينتان حركيتان ألا و هما الاكتين و الميوزين، لكن في الأونة الأخيرة اثبت العلماء أن العضلة تتكون على الأقل من 30 بروتين، لها عدة ادوار، كالتقلص العضلي، دعم هيكله اللييفات و نقل الجزيئات. و من الأنواع التي تهمنا كثيرا نذكر أربع رئيسية و هي :

- البروتينات الساركوبلازمية (26% من البروتينات الاجمالية) و تحتوي على الميوجلوبين، الميوجين (انزيمات التمثيل الغذائي للكربوهيدرات) و البارفالبيومين parvalbumine (بروتين لها دور في تثبيت الكالسيوم في الالياف صنف II).

- البروتينات المسؤولة على توليف البروتينات و الانزيمات الميتوكوندرية (3 إلى 4% من البروتينات الاجمالية).

- بروتينات stroma ثل 13% من البروتينات الاجمالية و تتمثل في بروتينات الشبكة الساركوبلازمية. و تحتوي هذه الشبكة على بروتينات داخلية للغشاء بدورها تحتوي على الاتيباز ATPase المثبتة للكالسيوم و أخرى خارجية تحتوي على نوعان من الجزيئات moléculs ذات دور كبير في تثبيت الكالسيوم (Jacques et al. 2009: 55).

البروتينات الأخرى كالتيتين titine، النوبيلين nébuline، الخط Z، الخط M، لها دور في تثبيت البروتينات الحركية و تشكل الهيكل الخلوي (Small, Fûrst et al. 1992; Furst, Obermann et al. 1999; Gautel, Mueset al. 1999, Horawits 1999).

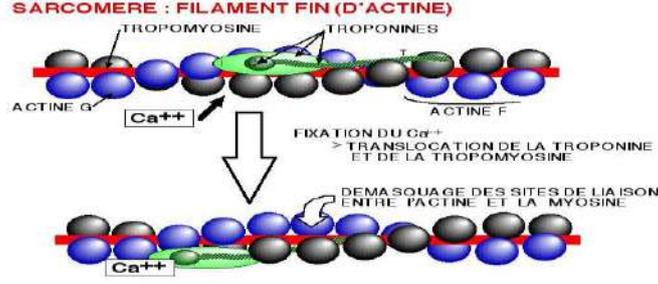
■ بروتينات الخيوط الثخينة

هي مجموعة 500 جزيء من الميوزين تشكل 60% من البروتينات اللييفية و 5 بروتينات مساعدة وتسمى بالميوزين، تتكون الميوزين على الأقل من 20 نوع من البروتينات التي لها القدرة على الارتباط مع الاكتين لتكوين محرك جزيئي (Sellers 2000). الميوزين صنف II محددة لعضلات الهيكل العظمي المخططة والعضلات الملساء (O'Connell et al. 2007; Piazzesi et al. 2007). تتكون كل ميوزين من سلسلة من الأحماض الامينية تسمى الميروميوزين الخفيفة LMM و التي تنتهي في هيكل مزدوج على شكل رؤسين، الأول حلزوني S2 و الثاني كروي S1، و يسمى هذا الهيكل الميروميوزين الثقيلة (Jacques et HMM 2009: 56). يحتوي رأس S1 على موقعان، الأول هو رابط ال ATP الذي يتحلل في وجود إنزيمات خاصة إلى $ADP + Pi$ عند الانقباض العضلي، و الثاني يرتبط مع الاكتين، بمعنى آخر موقع الارتباط مع الاكتين و موقع الحركة الاتيبارية ATPasique (Rawn 1990).

نجد كذلك بروتينات ذات الصلة مع الميوزين ألا و هي : بروتين C، بروتين X، و بروتين H، التي تتموقع على شريط A (Small et al. 1992).

■ بروتينات الخيوط الرقيقة

20% من البروتينات التي تتكون منها الخيوط الرقيقة هي بروتينات الاكتين و 5% التروبوميوزين و 4% التروبونين وتدعى بالأكتين يتكون جزيء الأكتين من بروتين كروي هو G الأكتين (G-actin) الذي يرتبط بجزيء ال ATP (Dos Remedios et al. 2003). تحت تأثير تفاعل كيميائي (polymérisation) تتحد مع تحليل ال ATP إلى $ADP + Pi$ لتكوين سلسلة طويلة من خيوط والتي تلتف كل اثنتين منها حول بعضها لتكون الخيط الرفيع التي يسمى F-Actine (شكل. 3).



شكل رقم (37): بين البروتين الكروي G-actin وسلسلة خيوط F-Actine التروبوميوزين

tropomyosine

يتواجد هذا البروتين على شكلان، α و β اللذان يكونان خيط واحد فوق الاكتين. الدور الاساسي لهذين البروتينتان هو تعزيز و استقرار و كذلك منع ارتباط الميوزين مع خيط الاكتين.

○ التروبونين troponine

وهو تجمع 3 بروتينات، التروبونين C، التروبونين I، و التروبونين T يرتبط بشكل منتظم مع خيط الاكتين. و يقوم التروبونين C بتثبيت أيون الكالسيوم كما يقوم التروبونين I بتثبيط حركة الاتيياز و التروبونين T يؤمن الاتصال بين التروبوميوزين و التروبونين I.

○ الخيوط المتوسطة intermédiaires

خيوط اللييفات المتوسطة تحيط اللييفات في خط Z و عددها حوالي 60 (Robson et al. 2004) و تقوم بالتكامل الميكانيكي للفضاء الموجود بين الخلايا. تعرف هذه البروتينات بالديستروفين dystrophine و الاوتروفين utrophine و كذلك الكوستامير costamère التي تعتبر وتر العرقوب بالنسبة للهيكلة العضلي (Ervasti 2003).

1.1. تقلص العضلات

تقلص العضلة يحدث عند ظهور إثارة عصبية في المناطق السفلية من الجهاز العصبي المركزي، و تنتقل هذه الإثارة عن طريق اللوحة المحركة plaque motrice أو منطقة نهاية المحور العصبي axone الذي له فروع نهاية تتلاحم مع الليف العضلي في منطقة الاتصال الوظيفية (synaps) بين الخلايا العصبية والخلايا العضلية أين يفرج عن الاسيتيل كولين Acétyle Choline. وجود كميات هائلة من هذه الأخيرة تجعل من المستقبلات الما بعد المشبكية récepteurs post-synaptiques قابلة للاختراق من قبل ايونات الصوديوم Na^+ و البوتاسيوم K^+ الذي يسبب الاستقطاب التدريجي للوحة المحركة. هذا الاستقطاب يتواصل طول الغشاء الذي يحيط الليف العضلي sacrolemme إلى غاية الخزانات النهائية

من الشبكة الساركوبلازمية reticulum sarcoplasmique، أين يفرج عن الكالسيوم. ينشط الكالسيوم الميوسين، أين تزداد خصائص التخمر و هذا الايون يحلل مادة غنية بالاتيبي ATP و أخيرا العضلة تتقلص.

تنظيم التقلص العضلي يرتكز على التوزيع الجيد للكالسيوم الموجود داخل الخلية (Gorden et al. 2000; Rossi et al. 2006) و حركة الميوزين اتيباز ATPase (Morel et al. 2000) مع العلم أن 50% فقط من الكالسيوم البلازمي يساهم في عملية التقلص. و يساهم المغنيزيم Mg^{2+} بشكل كبير في نقل الكالسيوم داخل الخلية، بارتباطه مع البروتينات القابلة للكالسيوم (Jacques et al 2009: 60-61).

كما يرتكز التقلص العضلي على تفاعل الاكتين و الميوزين بوجود الأدينوسين ثلاثي فوسفات أو ATP و الطاقة الناتجة من التحليل المائي hydrolyse لهذا الأخير إلى $ADP+Pi$ تحول إلى طاقة ميكانيكية. هذا التفاعل يتمثل في تعلق رأس الميوزين S1 على خيط الاكتين. في حالة الراحة يتعلق جزيئ ال ATP على رأس الميوزين S1. ثم إطلاق صراح الكالسيوم و تثبيته على التروبونين C يتسبب في تفرغ مكان تثبيت الميوزين (رأس الميوزين S1) و الاكتين، مما يتسبب في انزلاق سلسلة الاكتين على سلسلة الميوزين في العضلات المخططة و عضلة القلب.

2.1. الاسترخاء العضلي

الاسترخاء العضلي هو عودة العضلة إلى طولها أو حالتها الأصلية. و يحدث هذا الأمر عند توقف الإثارة العصبية و إعادة ضخ الكالسيوم في الخزانات الطرفية، مما يؤدي إلى إعادة التشكل الأصلي للتروبونين C (troponine C) و التروبوميوزين. و إطلاق صراح الكالسيوم المثبت على C troponine يؤدي بهذه الأخيرة إلى أخذ شكلها الأصلي و عودة التروبونين I troponine إلى مكان تثبيتها على الاكتين، مما يؤدي إلى تثبيط الحركة الانزيمية للميوسين ATPase التي تفصل عن الاكتين. ثم يساق الكالسيوم من الساركوبلازم إلى الخزانات الطرفية، بوجود البارفالبيومين parvalbumine (Hou, Johnson et al. 1993) غالبا في الالياف السريعة (fibre II) (Berchtold et al. 2000).

خلال التقلص العضلي يثبت الكالسيوم في بروتين C troponine و تساق البارفالبيومين parvalbumine إلى الماغنيسيوم Mg^{2+} . و عند توقف التقلص العضلي يزداد تركيز الكالسيوم في الشبكة الساركوبلازمية و تزداد معه نسبة Ca^{2+}/Mg^{2+} مما يؤدي إلى ارتباط الكالسيوم مع البارفالبيومين parvalbumine حيث يساقون إلى الخزانات الطرفية. تطور هذه النسبة عامل حساس في عملية

الاسترخاء العضلي (Berquin et al. 1993). استرجاع الشبكة الساركوبلازمية للكالسيوم يتطلب تحلل ATP hydrolyse إلى ADP+Pi تحت تأثير أنزيم ATPase-Ca²⁺ و يعتبر استهلاك طاقة زائدة خلال الاسترجاع لا يزال غير معروف إلى يومنا هذا (Jacques et al.2009).

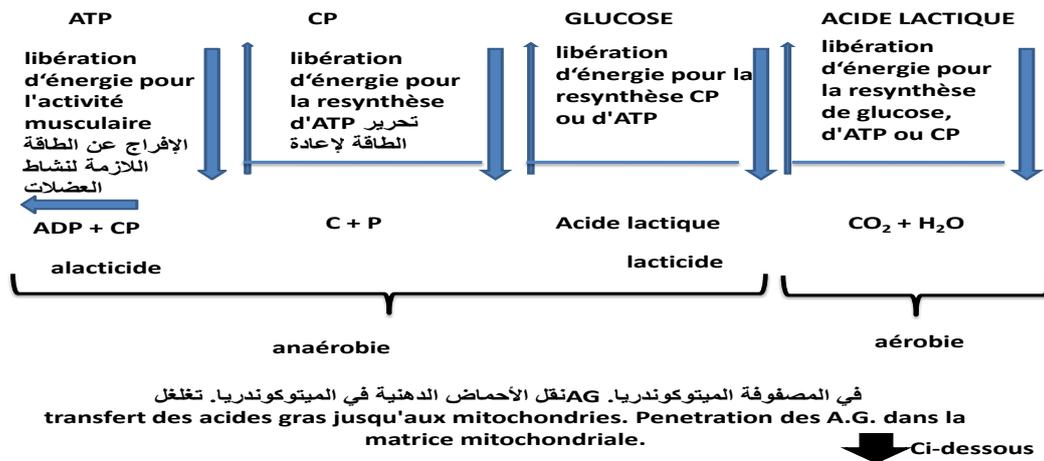
2. الأنظمة الطاقوية لإنتاج ATP أثناء الجهد Filières énergétiques

الادينوزين 3 فوسفات (ATP) هو جزيء غني جدا بالطاقة و يتكون عندما ينقطع الرابط الموجود بين الفوسفاتين الأخيرين لهذا الجزيء. و تأتي هذه الطاقة من الجلوكوز و الدهون و البروتينات التي نستهلكها في أكلاتنا اليومية. تحلل الجلوكوز و البروتينات يعطي 4 كيلو سعرات حرارية من الطاقة للغرام الواحد من الجلوكوز و البروتينات اما الدهون فتعطي 9 كيلو سعرات حرارية، لكن الطاقة الناتجة من الجلوكوز متوفرة بسهولة بالنسبة للبروتينات و الدهون.

بواسطة الفسفرة التأكسدية يعاد تصنيع الأدينوزين 3 فوسفات ATP، أي يضاف فوسفات إلى الادينوزين 2 فوسفات (ADP) الذي يحول إلى ATP لاهوائيا عند غياب الأكسجين و هوائيا مع الأكسجين.

ثلاث مسارات يمكن أن تنتج من خلالها الادينوزين 3 فوسفات ATP :

- نظام ATP-PCr
- التحلل السكري
- نظام الأكسدة



شكل رقم (38): يبين العمليات البيوكيميائية للخلايا العضلات

1.2. نظام ATP-PCr

تحتوي الخلية على جزيء آخر يملك رابط غني جدا بالطاقة يسمى الفوسفوكرياتين PCr و تستعمل هذه الطاقة فقط لتجديد مخزون الاديونوزين 3 فوسفات ATP تحت تأثير أنزيم الكرياتين كيناز créatine kinase . هذه الأخيرة تعمل على فصل الفوسفات Pi عن الفوسفوكرياتين PCr و الطاقة الناتجة تؤدي إلى تخليق الاديونوزين 3 فوسفات ATP بتهيبة الفوسفات Pi على الاديونوزين 2 فوسفات ADP. و لا تستغرق هذه العملية إلا بعض الثواني فقط أي من 3 إلى 15 ثانية.

ويضيف Wilmore (2006) بأنه يوجد في الخلية جزيء molécule يحتوي على رابط فوسفات عالي الطاقة يسمى الفوسفوكرياتين PCr و تؤدي الطاقة الناتجة من فصل الرابط الفوسفاتي إلى تجديد ATP و ليس للعمل الخلوي و هذا ما يجنب نفاذ ال ATP ، هذا التفاعل الكيميائي يحفز catalysée من قبل أنزيم الكرياتين فسفوكيناز CPK أو الفسفوريل كرياتين (CPK). هذا الأنزيم متواجد في عضلات الهيكل العظمي (ايزومير MM) في القلب (ايزومير MB) و في المخ (ايزومير BB). يحتوي الدم هذه الثلاثة ايزوميرات بحيث أن تحليل الدم يسمح بالتعرف على أصل تلف الأنسجة (Jacques et Poortmans 2009). نلاحظ أن عضلات الهيكل العظمي تحتوي فقط على ايزو أنزيم MM، في حين أن عضلة القلب 15٪ من MB و 85٪ من MM. يجب كذلك أن نعلم بأن هناك أنزيم CPK₁ السيتوبلازمي الذي يجدد ATP، و CPK₂ الذي يجدد PCr.

2.2. التحلل السكري

التحلل السكري و تسمى كذلك مسار Embden - Meherhof - Parnas هي عملية تدهور الجلوكوز مع إنتاج ATP وعناصره الوسيطة التي يمكن استخدامها في تسلسلات أيضية أخرى. التحلل السكري يلعب دورا هام في نفس الوقت في إنتاج ال ATP هوائيا أو لاهوائيا. بحيث تكون مطابقة في كلتا الحالتين أي أكان هناك أكسجين أو لم يكون. وجود الأكسجين هنا يحدد فقط مصير المنتج النهائي ألا و هو حمض البيروفيك، بحيث يتم تحويل هذا الحمض إلى مركب يسمى أسيتيل التميم A (Acetyl-Coenzyme A). (Wilmore et al. 2006: 107).

الجلكزة اللاهوائية هو المسار السائد في التمرينات ذوي الشدة القصوى و ما فوق القصوى intensité max et submax (ركض 100-400-800 متر)، خصوصا عندما تتجاوز متطلبات الأكسجين حدود قدرة الحد الأقصى من استهلاك الأوكسجين VO₂max.

ومع كونها لا تعطي طاقة كافية، الجلوكزة اللاهوائية تمثل عائق و ينجر معها تشكيل نفايات، مثل الحمض اللبني الذي يشكل تراكمه اختلال البيئة الداخلية للجسم عن طريق حموضة الدم (انخفاض PH) ، لأن الطاقة الناتجة من تحلل ال ATP تعتمد على درجة الحموضة pH وتركيز أيونات المغنيسيوم Mg^{2+} .

3.2. نظام الأكسدة

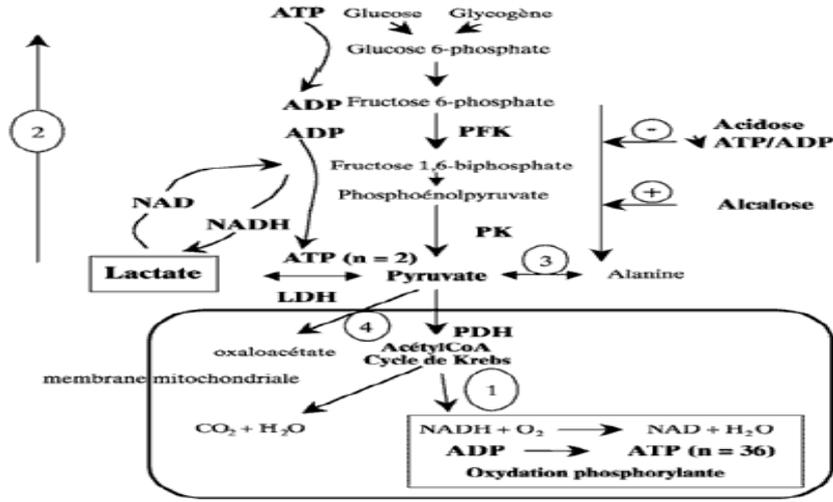
1.3.2. دورة كريبس le cycle de Krebs

Acetyl-CoA المكون من تحويل حمض البيروفيك يدخل في دورة كريبس (دورة حمض الستريك) و تؤدي مجموعة من التفاعلات الكيميائية إلى أكسدته. عند نهاية الدورة تتكون 02 من جزيئات ال ATP و تتدهور ركيزة glucide إلى هيدروجين و ثاني أكسيد الكربون CO2. هذا الأخير ينشر خارج الخلية، أين يحمل من طرف الدم إلى الرئتين ليرمى به إلى الخارج (Wilmore et al. 2006: 107)

2.3.2. سلسلة نقل الإلكترون

أثناء الجلوكزة يتم تحرير الهيدروجين في نفس الوقت الذي يتم فيه إستقلاب métabolisé الجلوكوز إلى حمض البيروفيك، أين تبقى كميات الهيدروجين عالية، لكن إذا تراكمت يصبح الوسط الخلوي حمضي جدا، مما يتلزم التخلص منه.

وتتقرن دورة كريبس إلى سلسلة من التفاعلات الكيميائية المعروفة باسم سلسلة نقل الإلكترون. يعني أيونات الهيدروجين الناتجة من الجلوكزة و دورة كريبس، تندمج مع 02 كوانزيم : NAD و FAD التي تنقل الهيدروجين إلى سلسلة نقل الإلكترون أين تنقسم إلى بروتونات و إلكترونات. عند نهاية السلسلة تدمج الهيدروجين إلى الأكسجين لتكوين الماء H2O للوقاية من الحموضة. أما الإلكترونات المحررة من الهيدروجين فتتمر من سلسلة نقل الإلكترونات، و تزود الطاقة اللازمة لفسفرة ال ADP إلى ATP ، و كل هذه العملية تتطلب الأكسجين (Wilmore et al. 2006: 109).



شكل رقم (39): يبين الفسفرة التأكسدية

3. الخصائص البيوكيميائية لبعض الصفات البدنية

يجب التعرف على مختلف التغيرات البيوكيميائية خلال ممارسة الرياضة والأنشطة البدنية التي تحدث في جسم الرياضي لتنظيم جرعات حمولات التدريب وضبط بشكل صحيح طرق وأساليب التدريب و تقييم اثر هذا الأخير على الجسم.

من المعلوم أن العمل البدني يختلف من رياضة إلى أخرى (كرة القدم - العدو - الملاكمة - المصارعة) حتى ولو كانت التمارين البدنية متشابهة من حيث الطابع (العدو السريع و الماراتون), و يتم التمييز بينها من حيث الخصائص والتغيرات الفسيولوجية والبيوكيميائية التي تحدث في الجسم. لهذا سلت الضوء على الخصائص البيوكيميائية لمختلف الصفات البدنية للرياضيين، كالقوة المميزة بالسرعة E-V والقدرة على المداومة E.

1.3. الخصائص البيوكيميائية لصفة القوة المميزة بالسرعة

تطوير الحد الأقصى للقدرة puissance maximale يرتبط ارتباطا وثيقا بسرعة توظيف mobilisation (تعبئة أو حشد) ال ATP & CP في العضلة. يتم التعبير عن قدرة هذه الآلية بالكمية الإجمالي للطاقة المحررة لكل وحدة زمنية (ثانية) بدون الاعتماد لا على سرعة التفاعلات الكيميائية الخلية و لا على نقل الأكسيجين إلى العضلات. عموما عند أداء الجهد البدني على المدى القصير العملية اللاهوائية هي السائدة (alactic (dégradation du glycogène musculaire en acide lactique)) ، ذات الطابع الانفجاري التي تتطلب صفة القوة المميزة بالسرعة FV. هناك العديد من التخصصات الرياضية التي تتميز بهذا النوع من الجهد : الركض على مسافات قصيرة - بداية السباق - جهد نهاية السباق - الرمي - اللكم - مضمار

الألعاب – الزوارق – الشراعية – رفع الأثقال.

للقيام بجهد يعتمد على الآليات اللاهوائية، يجب على الجسم توليف مجمعات composées macroénergétiques من الطرق اللاهوائية. يتحقق توليف ATP و CP بفضل أنزيمات الفسفوفروكتوكيناز PFK و زوجين (البروتين كيناز - البروتين الفوسفاتاز)؛ هذان الأخيران ينظمان تشكيل ATP أين يكون تحلله من أجل تحرير الطاقة، و ينضم كل هذا، هرمون الأدرينالين، والجلوكاجون و AMPc.

في تمارينات القوة المميزة بالسرعة FV (الركض على مسافة 100م – الملاكمة – السباحة على مسافات 50م.....)، يكون الجهد على شكل لا هوائي، لأن مجمل ال ATP تولف resynthétisée من CP، الأمر الذي يؤدي إلى تراكم تدريجي لل ADP، AMP والأمونيياك. هذه المواد تنشطان أنزيم الجلوكوجين فسفوريلاز مما يؤدي إلى خلق الجلوكوز-P-1 ثم الجلوكوز-P-6 من جهة و من ناحية أخرى ينشط العديد من الأنزيمات الرئيسية لمراحل تدهور السكر glycolytiques: الهيكزوكيناز و PFK الإنزيم المسئول عن تمرير الفركتوز 6 فوسفات إلى الفركتوز 1.6-ثنائي فسفات في وجود ATP و ايون المغنيسيوم Mg^{++} .

في غياب الأكسجين، الجلوكزة التي تنتهي بالبيروفيك تؤدي إلى تكوين الحمض اللبني (اللاهوائي الحمضي أو اللكتيسيد)، تحفزها LDH في وجود أنزيم بيرودينيك $NADH^+$ ، ويكون التفاعل معاكس و يتم من خلال نفس الإنزيم أو إيزو أنزيم (LDH5) المحددة لعضلات الهيكل العظمي.

تراكم الحمض اللبني يسبب وجع العضلات، ومروره من خلال الدم يجعل هذا الأخير حمضي (انخفاض pH). في هذا الصدد، تجدر الإشارة إلى أن نسبة الحموضة lactatémie (Las) عادة ما تصل إلى الذروة pic بعد بضع دقائق من نهاية التمرين ثم تتناقص تدريجيا إلى نصف عمر في حوالي 15 دقيقة. و نلاحظ كذلك أن ال CP المستهلكة في بداية التمرين تستعاد بسرعة بعد توقف الممارسة أثناء مرحلة الراحة.

الحمض اللبني الإجمالي [Lat] = الحمض اللبني البلازمي [La] + الحمض اللبني الموجود في الكريات الحمراء للدم [La] érythrocytaire

قدرة هذا النظام (اللاهوائي) يعتمد على عدة عوامل:

- مخزون الطاقة الموجود في مصادر الطاقة اللاهوائية.

- كفاءة النظام الإنزيمي.
- كفاءة النظام التعويضي.

ويلاحظ أيضا أن هذه المرحلة تتميز بتغيرات ملحوظة في بروتينات أنسجة العضلات. خلال تدريب القوة المميزة بالسرعة FV، العمل الذي يجري في ظروف لاهوائية يسبب انخفاضا في إعادة تخليق الـ ATP وتركيزه وكذلك انخفاض الـ $NAD^+/NADH, H^+$. هذه الظاهرة تجعل من إعادة التخليق البروتينات أصعب بكثير، مما يزيد في تدهورها و يتسبب في خفض كمية البروتينات في أنسجة العضلات. أثناء فترة الراحة تحدث عكس هذه الظاهرة، يعني، البناء anabolisme، يتسبب هذا الأخير في زيادة النشاط الأتيبازيكي ATPasique وزيادة في بروتين العضلات (تضخم العضلات hypertrophie musculaire).

هذه الملاحظات قد تفسر زيادة كتلة العضلات التي تصاحب بعض أشكال التدريبات. ويرتبط الانخفاض الملحوظ في الأنسولين أثناء ممارسة التمرينات الرياضية الشاقة intenses مع زيادة في كمية الحمض اللبني الإجمالية في الدم (Lat) lactate plasmique. هذه الزيادة (Las) أو (Lat) أو حتى في العضلة حسب بعض الباحثين الناجمة عن الممارسة البدنية اللاهوائية تمر عبر سبيلين، و تسمى مصير الحمض اللبني :

- جزء من الحمض اللبني يمر عبر الأكسدة؛ voie oxydative.
- جزء آخر يولف resynthetisée كجليكوجين في الكبد.

الطاقة المنطلقة من أكسدة الحمض اللبني يمكن استخدامها من قبل الجسم في مكان الركائز الأخرى (الجلوكوز والدهون). في حين أن الطاقة اللازمة لإعادة توليف resynthèse الجليكوجين من الحمض اللبني تعتبر عبئاً أيضي charge métabolique زائد.

وترتبط القدرة الجليكوليكية capacité glycolitique ارتباطا وثيقا باحتياطي الكاربوهيدرات، و بكمية وسرعة تكوين الحامض اللبني. كلما ارتفعت نسبة الحمض اللبني، كلما كانت قدرة العمل اللاهوائي أكبر. ويتم القضاء على الحمض اللبني المتراكم بعد توقف الجهد؛ حسب مستوى أداء الفرد. نسبة الحمض اللبني في جسم الرياضي ذا مستوى عال يكون اضعف بكثير من فرد غير رياضي، حتى ولو كان الاثنان يركضان بنفس المدة الزمنية في مضمار 100م. مع العلم أن في حالة الراحة عند الفرد الذي يزن 70 كغ و الذي تناول 300 غ من السكريات، يصل الحمض اللبني لديه إلى 75 غ، ثم يعاد تحويله إلى

جلوكوز باستحداث السكر عن طريق مصادر أخرى غير سكرية مثل مخزون الكربوهيدرات (جليكوجين) و الدهون (الدهون الثلاثية) néoglucogénèse (Jacques et Poortmans 2009: 160).

في الحقيقة الجليكوجين و الدهون الثلاثية triglycérides توفر معظم الطاقة المستعملة من العضلة "في بداية الجهد البدني"، سواء كان هذا لصفة القوة المميزة بالسرعة FV أو المداومة E. الأوكسدة l'oxydation اللاهوائية السكرية glycolitique تؤدي إلى تشكيل 2 ATP مقارنة بالأوكسدة الكاملة التي تقدم 38 ATP. إجمالي احتياطات الجليكوجين في جسم الإنسان تبلغ حوالي 1100-1200 سعرة حرارية (Kj4800-4400) Kcal.

2.3. الخصائص البيوكيميائية لصفة المداومة ENDURANCE

تمديد الجهد في الجسم يسبب تغيرات بيوكيميائية التي تتميز نوعية هذه الخاصية التي هي المداومة endurance . أثناء هذا النوع من الجهد، هناك استهلاك شبه كامل للأوكسجين O_2 . تتجلى الأسس البيوكيميائية في إمكانات الجسم في توليف ال ATP هوائيا وبزيادة احتياطات الطاقة (جليكوجين الكبد والعضلات).

لمواصلة الجهد أطول ما يمكن، تستخدم العضلات ركائز substrats حيوية أخرى مثل الجليكوجين، الدهون الثلاثية أو تدهور بعض البروتينات (هيكلية). وبالتالي الاحتياطات العضلية لا تسمح بالحفاظ على النشاط البدني على المدى الطويل، إذن يستخدم الجسم ركائز substrats متاحة في مختلف مواضع خلوية compartments cellulaires. يجب أن نتذكر أن استخدام الركائز substrats، تتبع التطور الذي يعتمد على كثافة ومدة النشاط البدني. بالتالي أكسدة بقايا السكر تزداد تدريجيا وهذا مع العشرة (10) دقائق الأولى؛ التي في خلالها تقوم الخلايا الدهنية adipocytes بالإفراج عن الأحماض الدهنية acides gras و أكسدتها توفر جزيئات ATP اللازمة. و في وقت لاحق فقط يقوم الجسم باستخدام أكسدة الأحماض الأمينية بطريقة محدودة، وتقتصر على توفير الطاقة بطريقة جزئية. لأن مع استمرار التمرين لمدة طويلة، ينقص استهلاك و أكسدة الجلوكوز البلازمي مع قلة تراكمه في الشرايين (Jacques et Poortmans 2009: 144).

تتم أكسدة الجلوكوز أثناء التمرين الرياضة عن طريق سكر الدم يلعب الذي يلعب دورا ثانويا في عملية التمثيل الغذائي métabolisme في العضلات عند الإنسان في حالة الراحة، و معدله يبقى مستقر، بحيث يلعب هذا الاستقرار دور هام بالنسبة للأنسجة التي تستهلك الجلوكوز مثل كريات الدم الحمراء،

كريات الدم البيضاء، خلايا الغشاء المخاطي في الأمعاء، بعض خلايا نخاع الكظرية médullaire surrenale ، والجلد أو شبكية العين، و إذا كان الجلوكوز لا يشكل الوقود المفضل للعضلات، فإنه حيويًا للنشاط الدماغي (Jacques et Poortmans 2009: 140-141).

تغلغل الجلوكوز داخل العضلات يعتمد على تركيز الأنسولين. هذا التحويل الأيضي transformation métabolique يتم عن طريق أنزيم غلوكوكيناز (هيكسوكيناز)، الذي يحول الجلوكوز 6 فوسفات (G-6-P). يعتبر تفاعل لا رجعة فيه réaction irréversible. بالإضافة يتميز ب Km^1 للإنزيم منخفضة بالنسبة للجلوكوز، من جهة، وظاهرة ردود فعل تثبيط لمنتج G-6-P عندما يزداد تركيز هذا الأخير. ثابت التفكك لمجمع " انزيم - الركيزة " يسمى ثابت ميخائيل (Km^1). إذا كانت الثابتة عالية، التقارب للأنزيم E للركيزة S أضعف و تفكك مجمع ES أقوى.

إن الأثر التراكمي لهذين الآليتين التنظيميتين يفسر انخفاض تركيز الجلوكوز الساركوبلازمي (سيتوبلازم الألياف) و بالتالي الحد من دخولها داخل العضلات التي تكون في حالة الراحة.

في الوقت الحالي نعلم بان جلوكوز الدم يلعب دورا دورا لا يستهان به كركيزة طاقوية substrat énergétique للعضلة الناشطة muscle en activité. الاحتفاظ على مستوى السكر في الدم يلاحظ اثناء التمرينات العالية الشدة intense و القصيرة المدى كما هو الحال اثناء تمارين المدى الطويل و المتوسطة الشدة.

نظريا أثناء التمرينات البدنية النقاط الجلوكوز من طرف العضلة يعتبر محفز لكن هذه النظريات ليست مرضية من الناحية الرسمية.

الفسفرة المؤكسدة هي عملية تتميز بألية بطيئة، لكن الأكثر فعالية في انتاج الطاقة. مثلا كمية الطاقة التي تم الحصول عليها عن طريق الفسفرة الهوائية للجلوكوز هي اكثر بكثير من الفسفرة اللاهوائية (الجلكزة).

جسم الانسان يحتفظ على مخزون من السكريات و احماض دهنية ، وكذلك كمية من البروتينات في عدة أنسجة وبنسب مختلفة.

اثناء الحملات البدنية المعتدلة المتميزة بفترات طويلة استحداث السكر من الكبد

néoglucogénèse hépatique تزداد بشكل تدريجي. السيطرة الايضية لاستحداث السكر في الكبد néoglucogénèse hépatique أثناء تمرين طويل المدى يتم نحو الخطوات الرئيسية لتخليق synthèse الجلوكوز، وهي: أنشطة البيروفيك كيناز pyruvate kinase و ال PFK التي يتم تخفيضهما ، في حين الفركتوز 6،1 فوسفاتاز و الجلوكوز 6 الفوسفاتيز تزداد أنشطتها.

بالنسبة لمخزونهم الإجمالي ، السكريات تعطي 1200kcal بينما أكسدة الدهون تعطي 50000kcal. مخزون الدهون يسمح بمواصلة التمرين عدة ساعات و حتى عدة ايام ، بينما في بعض الحالات المخزون العضلي للجلوكوجين يمكن أن يستنفذ تماما (احتياطيات الجلوكوجين توفير العمل 2-3 ساعات).

مع ان القيمة الطاقوية للدهون مرتفعة لكن استخدامها في عمل عضلي محدودة. ذلك يعتمد على شدة التمرين، على أهمية كتلة العضلات المشاركة في العمل ونوع الألياف العضلية التي تشكل العضلات. درجة أكسدة الألياف العضلية تعتمد على تكوينها الميتوكوندري ، من انزيمات حلقة كريبس cycle de Krebs والفسفرة التأكسدية.

إذا استمر العمل، فمن المنطقي أن تنخفض كثافة الجسم intensité وتصل إلى حالة مستقرة ، اين تكون إعادة تخليق ال ATP بإبواصلة الفسفرة المؤكسدة. مستوى الجمض اللبني ينخفض تدريجيا الى ان يصل في نهاية التمرين الى مستواه الاول ما قبل التمرين.

4. الخصائص البيوكيميائية لبعض الرياضات

العمليات البيوكيميائية التي تعمل في الجسم أثناء وظيفة محددة في مختلف الرياضات ليست ممتشابهة. يفسر هذا التغيرات الفسيولوجية المتعلقة بنشاط آليات الطاقة التي تزود العمل البدني. لهذا سنتطرق إلى وصف الخصائص الفيزيو- بيوكيميائية الرئيسية للجسم على أساس كثافة intensité ومدة العمل في مجال الرياضة الحلقية و اللاحلقية cyclique et acyclique.

هناك ثلاثة أنظمة رئيسية لإمدادات الطاقة (المدرسة سابقا)، على الرغم من أن هذه الأنظمة متكاملة الواحدة للأخرى، فان لها خصائص مختلفة ، فالجميع تعمل معا، بداية عمل الواحدة منها متعلقة بمدة وشدة القوة، من جهة ، ومن جهة أخرى ، بعدة عوامل أخرى :

- تشريح العضلات المشاركة.
- نظام النشاط العضلي (الثابت، المتحرك أو الاثنين معا).
- عدد العضلات المشاركة في الحركة.

أولاً: تشريح العضلات المشاركة.

العضلات الطويلة fusiformes تؤدي عموماً الحركات العالية السعة amplitude، في حين أن العضلات المسطحة penniformes تقوم بحركات الشدة puissance، مثلاً في حالة جهد عالي الشدة intense، العضلات الصغيرة لا تتحمل إلا وقت زمني قصير لكن عضلات الظهر، الصدر أو الفخذ قادرة على تحمل جهد عالي الشدة و لمدة زمنية طويلة، تعمل كل عضلة لوحدها كما تشتغل كل المجموعة معاً.

ثانياً: نظام النشاط العضلي (ثابت، ديناميكي أو الاثنين معاً)

أثناء التمرينات الثابتة تقوم العضلات المعاكسة للحركة antagonistes بتقلص ثابت isométrique، في هذا الحال تكون الدورة الدموية، أكسجين العضلات النشطة و التخلص من النفايات الأيضية métaboliques عملية صعبة، و بالتالي هذا النوع من التمرينات الثابتة يؤدي إلى ارتفاع نبضات القلب و ضغط الدم (Fox et Mathews, 1984: 107) ($x = 140 \text{ mmhg}$).

في حين أن التمرين الديناميكي يؤدي إلى تحسين الدورة الدموية للعضلات النشطة، إمدادهم الجيد بالطاقة الركيزة approvisionnement en substrats énergétiques و بالأكسجين مما يسهل في التخلص من النفايات الأيضية déchets métaboliques.

ثالثاً: عدد العضلات المشاركة في الحركة. Le nombre de muscles mis en jeu.

مشاركة عدد كبير من العضلات في نفس الجهد (أو العمل) تؤدي إلى غالبية e واحدة من العمليات الحيوية على الأخرى، بالتالي فإن تفعيل mise en activité عدد أقل من العضلات يزيد من العملية اللاهوائية، و بالتالي بفضل الاختبارات استهلاك الأوكسجين وفقاً للزمن، وجد بان الكفاءة الهوائية للأعضاء السفلية مرتفعة على كفاءة الأعضاء العلوية.

من هنا بجدد القول بأنه كلما زادت شدة العمل كلما تقلصت مدة أداءه، لأن احتياجات الطاقة محدودة جداً بالنسبة لل ATP-PC، متوسطة بالنسبة للجلايكوجين و متوفرة بالنسبة للأحماض الدهنية الثلاثية. مقابل ذلك التدفق الأيضي المتعلق بالانزيمات المختصة بهذه الانظمة يعمل على الاتجاه المعاكس أي الحركية المتعلقة بال ATP-PC مرتفعة و المعلقة بالجلوكزة متوسطة و ضعيفة في ما يخص الأحماض الدهنية الثلاثية (Mc Gilvery 1975) (Jacques P. Poortmans 2009: 22).

جدول رقم (18): يبين الخصائص البيوكيميائية لبعض الرياضات

| نوع الجهد type d'effort | معدل الوقت durée moyenne | الرياضة sport |
|--------------------------------|--------------------------|------------------|
| انفجاري explosif | 10 ثواني | 100 م ألعاب قوى |
| كثافة عالية grande intensité | 29 دقيقة | 10000 م ركض طويل |
| كثافة متوسطة intensité moyenne | 30 دقيقة إلى 2 ساعات | ماراتون |

تقاس كثافة ومدة التمرين البدني، بفضل استهلاك الطاقة لكل وحدة زمنية، وبمساهمة مختلف آليات إنتاج الطاقة، وإعادة تخليق الـ ATP لاهوائيا هي تلك التي تسود في عمل ذا كثافة قصوى d'intensité maximale أو ما تحت القصوى submaximale. ATP ذات الأصل الهوائي تسود خلال التمارين الطويلة المدى وذات الشدة المتوسطة. وبالتالي يمكن تقسيم استهلاك الطاقة حسب المسافات التالية، من 100 م إلى 200 م، و من 200 م إلى 1500 م و أخيرا من 1500 م إلى الماراتون (Jacques P.) (Poortmans 2009: 19).

جدول رقم (19): يبين تصنيف الرياضات الحلقية

| التصنيف | الرياضات الحلقية |
|---------------------------------------------------------|-------------------------------|
| Courses de 100m, 200m et 50m nage libre etc. | أقصى كثافة Intensité maximale |
| Courses de 400m, 400haies, 800m; natation (200m, 400m). | ما تحت الكثافة Submaximal |
| Courses de 1000m, 1500m, 3000m, 3000m steeple. | كثافة كبيرة Grande intensité |
| Marathon, super-marathon (10km), ski de fond. | كثافة متوسط Intensité moyenne |

كما أن الجدول التالي يعطي تصنيفا للرياضات غير الحلقية

جدول رقم (20): تصنيف الرياضات غير الحلقية

| التصنيف | الرياضات غير الحلقية |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|
| Lancé de poids , boxe, lutte | أقصى كثافة maximale |
| Football, Handball, Volleyball, Hockey sur glace, Gymnastique, Gymnastique artistique etc. | كثافة متغير variable |

1.4. الرياضات الحلقية (Sports cycliques)

أقصى كثافة أي إلى غاية 30 ثانية (ألعاب القوى من 10م إلى 200م) فالجهد يكون على شكل صفة القوة و النظام هو ATP-CP و يتم توليف ال ATP من قبل الفوسفوكرياتين PC في سباقات 100م، و فيما يتعلق بالجهود ما تحت القصوى أي 200 م الجلكرة اللاهوائي اللبنيك تلعب دورا هاما إلى جانب PC (Jacques P. Poortmans 2009: 21). في العضلات نلاحظ من جهة انخفاض في الجليكوجين والفوسفات الكرياتين CP و من جهة أخرى ارتفاع الكرياتين، الفوسفات الغير العضوي، الحمض اللبني و كذلك نشاط أنزيمات التمثيل الغذائي اللاهوائي. نشر الحمض اللبني في الدم يحدث ببطء شديد أثناء العمل، بحيث ترتفع الحموضة في الدم بعد 5-10 دقائق من توقف العمل.

بعد 200م ركض، هناك زيادة التهوية الرئوية، ودرجة الحرارة (40 درجة مئوية لعمل très intense) ومعدل ضربات القلب دون أن تصل إلى الحد الأقصى أثناء العمل، الدين الأكسجيني حوالي 90 إلى 95٪ / إلى 30 لتر / دقيقة، الجزء اللاهوائي يقترب من الحد الأقصى. الانتعاش وعودة المعلمات paramètres الفيزيوكيمياء physio-biochimiques إلى وضعها الطبيعي بعد هذا النوع من الحمل هو سريع نسبيا، 35-40 mn بعد إنجاز العمل. و كما سبق أن قلنا فان احتياطات ال ATP و PC تنفذ إلى حد أقصى في 30 ثانية (Jacques P. Poortmans 2009: 21).

هذا النوع من العمل يحفز:

- التراكم السريع للفوسفات الكرياتين والجليكوجين في العضلات.

- نشاط الانزيمات حال السكر، PFK، أتياز. L'activité des enzymes glycolytiques, de la PFK de l'ATPase.

- الزيادة في كمية البروتينات المقلصة contractiles.

1.1.4. مسافات 400م، 400م حواجز و800م Intensity submaximale (الحد ما تحت الأقصى)
في هذه المسافات النظام السائد هو حال السكري glycolytiques و الجلايكوجيني أي من 30 ثانية إلى غاية نهاية الدقيقة الثانية (résistance) و نسبة ال ATP الناتجة من النظام اللاهوائي هي -50% بالنسبة ل 800م (1د و 43 ث) (Newsholme, leech et al. 1998). (Jacques P. Poortmans 2009: 21). تراكم الحمض اللبني في الدم في هذا المسار يؤدي إلى تغيير في نفاذية قنوات الكلى للبروتين، والذي يتسبب من ظهورها في البول، و على مستوى العضلات هناك ارتفاع في تراكم حمض البيروفيك وحمض الفوسفوريك والكرياتين، و انخفاض في درجة الحموضة pH في الدم (حمض)، مع العلم أن ال pH بالنسبة لرياضي النخبة ينخفض إلى 6,9. استهلاك الأوكسجين بلغت ذروتها تقريبا أثناء العمل و معدل نبضات القلب يمكن أن يتجاوز 200 ن / دقيقة.

2.1.4. Grande intensité موانع. Course du 10000 m, 1500 m, 3000 m 3000 m steeple (كثافة عالية)

بالإضافة إلى العملية اللاهوائية، الآلية الرئيسية لإعادة توليف ال ATP في هذا النوع من الجهد يتم عن طريق الفسفرة التأكسدية، و نسبة ال ATP الناتجة من النظام الهوائي تصل إلى 87% عند أبطال العالم في 5000م و يلجئ الجسم لتوليف الطاقة الى منتجات الجلوكوز و الدهون ثم تدريجيا إلى الأحماض الامينية (Jacques P. Poortmans 2009: 20-21)..

مع هذا فان مصدر الطاقة الرئيسي هو الجليكوجين في الكبد، الذي يقل في هذا النوع من الجهد البدني و ارتفاع السكر في الدم بنسبة 250 ملغم% هو الشاهد لكثافة انخفاض الجليكوجين في الكبد أثناء العمل البدني. يلاحظ كذلك ان بعد هذا النوع من الجهد اي مثلا ركض 400 م الى 800 م، ديون الأوكسجين تكون ما بين 50-80%.

3.1.4. Intensity moyenne Marathon (الكثافة المتوسطة)

- مدة الجهد البدني تفوق 2 ساعات، نسبة ال ATP الناتجة من النظام الهوائي تصل إلى 100% عند أبطال العالم.

- استهلاك الطاقة لكل وحدة زمنية يمكن أن يتجاوز 2000 سعر حرارية.

- الآلية الحيوية الرئيسية Le principal mécanisme énergétique : هوائية، إلا أن اللاهوائية موجودة في بداية ونهاية السباق.

- دین dette الأوكسجين يتراوح بين 5% إلى 10%.

- يتم العمل في ظروف مستقرة، أي الأوكسجين المستخدمة في الأكسدة الهوائية يلي الطاقة المطلوبة للعمل في ظروف متوسطة الشدة.

- مصادر الطاقة هي الكربوهيدرات والدهون التي يتم استنفادها مع نهاية العمل البدني.

- يزيد تركيز السكر في الدم في بداية الجهد ثم يتناقص مع استنفاد احتياطي الكربوهيدرات في الكبد (40-50 دقيقة)، ولهذا السبب خلال الماراثون، توجد نقاط إمدادات المياه وركائز substrats الطاقة.

- لدى رياضيين المسافات الطويلة أو المداومة، قدرة أكسدة عالية للألياف العضلية (أنشطة هامة لانزيم سكسينات succinate déshydrogénase SDH والسيتوكروم أوكسيداز cytochrome oxydase).

- مع استخدام الدهون كمصدر للطاقة، هناك زيادة في منتجات الأيض مثل: الأحماض الدهنية الحرة AGL، الأحماض الكيتونية cétoacides، الكيتونات cétoacides و الأحماض ال β هيدروكسي - β acides hydroxyacyl.

- يرافق هذا النوع من العمل ضياع كبير للمياه والأملاح المعدنية، هذه الأخيرة تعتبر واحدة من العوامل الرئيسية في آلية التعب.

- خلال الماراثون (25 كم - 42 كم - 100 كم)، ينصح الرياضيين بزيادة استهلاك الصوديوم Na^+ ، البوتاسيوم K^+ ، وحامض الفوسفوريك وغيرها ...

لدى رياضيين المسافات الطويلة هناك انخفاض: البروتينات الهيكلية de structure، والإنزيمات، chromoproteins الميوجلوبين، الهيموجلوبين)، مكونات سلسلة الميتوكوندريا التي تنقل الإلكترون (السيتوكروم وبروتين فلافيني cytochrome et flavoprotéine) والفيتامينات والمعادن ولا سيما: الحديد والصوديوم والبوتاسيوم والنحاس وتثبيط تخليق الهرمونات inhibition de la synthèse hormonale.

مدة الانتعاش بعد الماراثون يمكن أن تتجاوز 30 يوما.

الخصائص الكيميائية الحيوية biochimiques للرياضيات الحلقية الأخرى لا تختلف عن تلك السباقات الرياضية، ومع ذلك فإن خصوصية الأنشطة الرياضية يمكن ان تلعب دور وتترك بصمتها على هذه التغيرات البيوكيميائية.

4.1.4. السباحة La natation

خصوصية هذا الاختصاص يكمن في الوضعية الأفقية للجسمة و كذلك البيئة المائية التي تمارس فيها هذه الرياضة. ترتبط خصوصيات التغيرات البيوكيميائية أثناء السباحة بالبيئة المائية.

المسافات الرئيسية في هذه الرياضة تنتمي إلى نوع من الجهود التالية : ما فوق الأقصى submaximal، كبير ومتوسط الشدة، أي نفس التغيرات البيوكيميائية التي تحدث لعذائين العاب القوى. لدى السباحين أن انخفاض السرعة مع زيادة المسافة ضعيف فهو بنسبة 17% فقط بعد 15 دقيقة، مقابل 37% لنفس الوقت عند العداء.

بالإضافة الى الطاقة المستهلكة لأداء الجهد البدني هناك فقدان للحرارة، وذلك بسبب الموصلية conductibilité الحرارية العالية في الماء. الواقع أن هذه الأخيرة هي أعلى 4 مرات من تلك التي تحدث في الهواء الطلق. كل هذا يحدد الاستهلاك dépense في الركائز الحيوية لدى السباحين. استهلاك الطاقة يختلف اختلافا كبيرا مع درجة التمكن من التقنية، نوع السباحة، حجم أطراف الجسم و السرعة.

يتم تغطية نفقات الطاقة من خلال آلية مشتركة. نسبة الأيض métabolisme الهوائي يزيد مع مدة التمرين. بعض السباحين ينفقون 10,000 كيلو كالوري في تدريب واحد، و يكون معظمها من الدهون.

بين السباحين و عذائين النخبة لوحظ مساهمة فئات مختلفة من الألياف، و كذلك زيادة في الشعيرات capillaires الدموية في بعض العضلات وزيادة PFK، SDH و السيتوكروم أوكسيديز cytochrome .Oxydase

مزايا أخرى للسباحين : الحد الأقصى لاستهلاك الأكسجين VO₂max ومعدل ضربات القلب والتهوية هم أقل لدى السباحين مقارنة بالعذائين.

البيئة المائية تمنع التعرق، و كذلك métabolites و المنتجات الأيضية produits métaboliques terminaux و الأملاح المعدنية. ولذلك، فإن النفايات الأيضية عند السباحين هي دائما أعلى من تلك مقارنة مع العذائين.

في الدم هناك تراكم الحمض اللبني، بيروفيك، نتاج استقلاب البروتين du métabolisme protéique وتركيزات كبيرة من المنتجات الأخرى الأيضية في البول (الكرياتين créatine والكرياتينين créatinine ، والأمونيا ammoniacque ، وظائف الثيول (SH) thiols، وحمض اليوريك acide urique ..).

2.4. الرياضات غير الحلقية Sports acycliques

1.2.4 Lutte-Boxe-Judo-Escrime-Haltérophilie (شدة قصوى)

يصعب التحدث على الخصائص البيوكيماوية في هذه الرياضات، لان التغيرات البيوكيماوية في جسم الرياضي متعلقة بصنف المنافسة أو القتال الفرد. عندما يتم تنفيذ النشاط (الحركة) خلال المرحلة الديناميكية القصوى، هناك توقف التنفس الذي يؤثر على تدفق الدم بما أن هناك عمل في ديون الأكسجين en dette d'oxygène مما يؤدي إلى ارتفاع في مستوى حمض اللبنيك في الدم (150 ملغ% أو أكثر). ومع ذلك فترات الراحة بين القفز، استئناف القتال الخ...، تساهم في انخفاض ديون الأوكسجين. بما أن جسم الرياضي في هذه الأوقات، يستهلك كمية اكبر من الأوكسجين مما هو ضروري، وبالتالي يحقق الأكسدة الهوائية مع انخفاض في اللاكتات في الدم.

عند الرباعين، آلية إمدادات الطاقة الرئيسية هي اللاهوائية alactic. كما هو الحال في الرياضات التي تتطلب القوة. التمرينات التي يقوم بها الرباعين و المصارعين تسبب زيادة في منتجات استقلاب البروتين produits du métabolisme protéiques.

في هذه الرياضات، مستوى السكر في الدم يختلف اختلافا كبيرا مع الحالة العاطفية émotionnel للرياضيين.

2.2.4 Volley-ball, Basket-ball, Foot-ball, Hand-ball, Base-ball, Hockey sur glace, Hokey

sur gazon, Water-polo, Rugby, Lawn-tennis, Badminton etc. (كثافة متغيرة)

تتميز الألعاب الجماعية بالكثافة المتغير نتيجة للتغيرات في شدة الحركات. على العموم اللجوء الى واحدة من اليات انتاج ATP الطاقة تتعلق بصنف الرياضة. و على ذلك، فان هناك اختلاف طفيف لدى لاعبي الكرة الطائرة و الهوكي على الجليد .

بالنسبة للاعب الكرة الطائرة، الآلية الأكثر أهمية هي اللاهوائية alactic خاصة لليقفز و الآلية الهوائية تستخدم لإعادة تكوين المخزون المستنفذ للفوسفاجين Phosphagens والحفاظ على مستوى معين من الأنشطة الوظيفية بشكل عام خلال الوظيفة أو الجهد.

بالنسبة للاعبين الهوكي، اللعبة تتميز بفترات لعب قصيرة و عالية الشدة مفصولة باوقات قصيرة 3-5 دقيقة راحة. هناتسود processus الآلية أو العمليات اللاهوائية (alactique - lactique).

تتم ازالة الحمض اللبني lactate أثناء الراحة بعد توقف اللعبة، و إذا صاحب هذا النشاط حالة عاطفية émotionnel قوية، سوف تتسبب هذه الأخيرة في إفراز كبير للأدرينالين، هذا الأخير يزيد من تدهور الجليكوجين في الكبد مما يؤدي إلى تركيزات عالية للجلوكوز في الدم.

3.2.4. الجمباز والجمباز الفني Gymnastique et gymnastique artistique

التغيرات البيوكيماوية في هذا الصنف من الرياضات لا تختلف على الرياضية الحلقية، الآلية الأساسية في إعادة تخليق ATP هي اللاهوائي الحمضي أو اللاكتيكي (anaérobie lactique). القفز، والشقلبات والحركات الانفجارية الأخرى تتطلب إمداد لاهوائي حمضي عن طريق الآلية اللاهوائية الحمضية anaérobie alactique. في بعض الحالات (على سبيل المثال، الحفاظ على موقف الصليب على الحلقات croix sur les anneaux)، تتحرر الطاقة بطريقة حال السكر اللاهوائي voix anaérobie glycolytique. هناك تشابه في الرياضات ذات طابع القوة و هذا فيما يخص الزيادة في منتجات استقلاب métabolisme البروتين في الدم.

بشكل عام، تتميز الرياضية الدورية أو الحلقية ذات الكثافة المتفاوتة intensité variable بخسارة كبيرة للدهون و وزن الجسم.

- American College of Sports Medecine: Position statement on prevention of heat injuries during distance running. *Med. Sci. Sport Exerc.*, 16: ix, 1984.
- Andersen, P., Adams, R.P, et al.: Dynamic knee extension as model for study of isolated exercising muscle in humans. *J. Appl. Physiol.* 59: 1647-1653, 1985.
- Armstrong, L.E., et al.: symptomatic hyponatremia during prolonged exercise in heat. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 25: 543, 1993.
- Benmanssour, M. Traduction Cours de Biochimie de l'effort. ENS STS. Dely Ibrahim. Alger. 2009.
- Berg, J. M., Tymoczko, J. L., Gatto, G. J., & Stryer, L. (2019). *Biochemistry* (9th ed.). W. H. Freeman and Company.
- Christensen, E.H. and Hansen, O. "Arbeitsfähigkeit und Ernährung". *Skand. Arch. Physiol.* 81: 160-171. 1939.
- Davee, A.M., et al.: Exercise patterns and trabecular bone density in college women. *J. Bone Mineral Res.*, 5: 245, 1990.
- De Souza, M. J., et al: Menstrual status and plasma vasopressin, renin activity, and aldosterone exercise responses. *J. Apply. Physiol.*, 67: 736, 1989.
- Dos Remedios, C.G., Chhabra D., et al.: "Actin bindings proteins: Regulation of cytosqueletal microfilaments." *Physiol. Rev.* 83: 433-473, 2003.
- Drinkwater, B.L., C.H. McCloy Research Lecture: Dose physical activity play a role in preventing osteoporosis ? *Res. Q. Exerc. Sport.*, 65: 197, 1994.
- Durstein, J.L., and Haskell, W.L.: Effects of exercise training on plasma lipids and lipoproteins. *Exerc. Sport Sci. Rev.*, 22: 477, 1994.
- Ervasti, J.M.: "Costamers: The Achille's heel of herculean muscle." *J. Biol. Chem.* 278: 13591-13594, 2003.
- Faulkner, R.A., et al.: Comparison of bone mineral content and bone mineral density between dominant and nondominant limbs in children 8+16 years of age. *Am. J. Hum. Biol.*, 5: 491, 1993.
- Felig, R. and Wahren, J.: Fuel homeostasis in exercise. *N. Engl. J. Med.*, 293: 1078, 1975.
- Felig, R., et al.: Hypoglycemia during prolonged exercise in normal men. *N. Engl. J. Med.*, 306: 895, 1982.
- Ferraris, R. P. (2001). Dietary and developmental regulation of intestinal sugar transport. *Biochemical Journal*, 360(2), 265–276. <https://doi.org/10.1042/0264-6021:3600265>
- Fox & Mathews. *Bases physiologiques de l'activité physique*. 1983.
- Gollnick, P. D., Piehl, K, et al.: Selective glycogen depletion pattern in human muscle fibers after exercise of varying intensity and at varying pedalling rates. *J. Physiol. (London)* 241: 45-37, 1974.
- Gollnick, P.D., Pernow, B., et al.: "Availability of glycogen and plasma FFA for substrate utilization in leg muscle of man during exercise". *Clin. Physiol.* 1: 27-42, 1981.
- Grimston, S.K., et al: Mechanical loading regimen and its relation to bone mineral density. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 25: 1203, 1993.
- Gropper, S. S., & Smith, J. L. (2020). *Advanced Nutrition and Human Metabolism* (7th ed.). Cengage Learning.

Halioua, L., and Andersen, J.J.B.: Lifetime calcium intake and physical activity habits: Independent and combined effect on the radial bone of healthy premenopausal Caucasian women. *Am. J. Clin. Nutr.*, 49: 534, 1989.

Hamdy, B.C., et al.: Regional differences in bone density of young men involved in different exercises. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 26: 884, 1994.

Hessel, P., Vergauwen, L, et al.: Important role of insulin and flow in stimulating glucose uptake in contracting skeletal muscle. *Diabetes*. 44: 28-80, 1995.

Hetland, M.L., et al: Running induces menstrual disturbances but bone mass is unaffected, except in amenorrhoeic women. *Am. J. Med.*, 95: 53, 1993.

Hodis, H.N., et al.: Serial coronary angiographic evidence that antioxidant vitamin intake reduces progression of coronary artery disease. *JAMA*, 273: 1849, 1995.

Hunter, J.e., and Applewhite, T.H.: Reassessment of trans fatty acid availability in the U.S. *Am. J. Clin. Nutr.*, 54: 363, 1991.

Irvin, R.A., et al.: Evaluation of renal function and fluid homeostasis during recovery from exercise induced hyponatremia. *J. Appl. Physiol.* 70: 342, 1991.

Jacques, R. Poortmans. 2009. *Biochimie des activités physiques et sportives*. © De Boeck & Lacier s. a.. pp 103.

Jandrain, B.J., et al.: Fructose utilisation during exercise in me: rapide conversion to ingested fructose to circulation glucose. *J. Pppl. Pysiol.*, 74: 2146, 1993.

Johnson, H.L., et al: Effect of electrolyte and nutrient solutions on performance and metabolic balance. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 20: 26, 1988.

Krebs, H. A., & Johnson, W. A. (1937). The role of citric acid in intermediate metabolism in animal tissues. *Enzymologia*, 4, 148–156.

Krebs, J.M., et al: Zinc and cooper balances in healthy adult males during and after 17 wk of bed rest. *Am. J. Clin. Nutr.*, 58: 897, 1993.

Lee, E.J., et al.: Variation in bone status of contralateral and ragional sites in young athletic women. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 27: 1354, 1995.

Mc Gilvey, R.W. The use of fuels for muscular work. *Metabolic Adaptation to Prolonged Physical Exercise* Howald, H. & Poortmans, J.R. Basel, Birkhäuser Verlag: 12-30, 1975.

McArdle, W. D., Katch, F. I., & Katch, V. L. (2009). *Exercise physiology: Nutrition, energy, and human performance* (7th ed.). Lippincott Williams & Wilkins.

McArdle, W. Katch, F. Katch V. *Physiologie de l'Activité Physique. Energie, Nutrition et Performance*. 4ème Editions Maloine. Paris. 2001.

McArdle, W., et al.: *Physiologie de l'activité physique. Energie nutrition et performance*. 4e Edition Maloine. 2001.

Moussard, C.: *La biochimie. Tome 1. Biochimie structurale et métabolique*. Bruxelles, De Boeck-Université., 1999.

Mullis, K., & Faloona, F. (1987). Specific synthesis of DNA in vitro via a polymerase chain reaction. *Methods in Enzymology*, 155, 335–350. [https://doi.org/10.1016/0076-6879\(87\)55023-6](https://doi.org/10.1016/0076-6879(87)55023-6)

Nelson, D. L., & Cox, M. M. (2017). *Lehninger Principles of Biochemistry* (7th ed.). W.H. Freeman.

Newsholm, E.A. & Leech, A.R. *Biochemistry for the Medical Sciences*. Chichester, John Wiley & Sons. 1983.

Nichols, D.L., et al.: Relationship of regional body composition to bone mineral density in college females. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 27: 178, 1995.

Nichols, D.L., et al.: The effect of gymnastics training on bone mineral density. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 26: 1220, 1994.

NIH Consensus Conference. Triglyceride, high-density lipoprotein, and coronary heart disease. *JAMA*, 269: 505, 1993.

Nuffield Department Clinical Biochemistry, University of Oxford, Radcliffe Infirmary, Oxford OX2 6HE, UK. 1978.

O'Brien, M.J., et al.: Carbohydrate dependence during marathon running. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 25: 1009, 1993.

O'Connell, C.B., Tyska, M.J et al.: "Myosin at work: Motor adaptations for a variety of cellular functions." *Bioch. Biophys. Acta* 1773: 615-630, 2007.

Collins, F. S., Morgan, M., & Patrinos, A. (2003). The Human Genome Project: Lessons from large-scale biology. *Science*, 300(5617), 286–290. <https://doi.org/10.1126/science.1084564>

Owens, R.A. et al: The national cost of acute care of hip fractures associated with osteoporosis. *Clin. Orthop.*, 150: 172, 1980.

Piazzesi, G., Reconditi, M. et al.: "Skeletal muscle performance determined by modulation of number of myosin motors rather than motor force or stroke size." *Cell*. 131: 784-795, 2007.

Poortmans, J.R. *Biochimie des activités physiques et sportives*. Edition De Boeck & Lacier s.a. Bruxelles. 2009.

Pruett, E. "Glucose and insulin during prolonged work stress in men living on different diet". *J. Appl. Physiol.* 28: 2, 1970.

Randl, P.J., Priestman, D.A. Shorter term and longer term regulation of pyruvate dehydrogenase kinases.

Rawn, J.D. *Traité de biochimie*. Bruxelles, De Boeck Université. 1990.

Regelson, W., and Sines, F.: *Intervention in the Aging Process*. New York, Alan R. Liss, 1983.

Richter, E.A. Glucose utilisation. *Hand-book of physiology*. Selection 12. Exercise; Regulation and Integration of Multiple System. Rowell, L. B. and Shepherd, J. T. Oxford, Oxford University Press: 912-951, 1996.

Robson, R.M., Huiatt, T.W. et al.: "Muscle intermediate filament proteins." *Methods Cell Biol.* 78: 519-553, 2004.

Romijn, J.A., et al.: Regulation of endogenous fat and carbohydrate metabolism in relation to exercise intensity and duration. *Am. J. Physiol.*, 265: E 380, 1993.

Scheepers, A., Joost, H.G. et al.: "The glucose transporter families SGLT and GLUT; Molecular basis of normal and aberrant function". *J. Parent. Ent. Nutr.* 28: 364-372, 2004.

Selemenda, C.W., et al.: Role of physical activity in the development of skeletal mass in children. *J. Bone Miner. Res.*, 6: 1227, 1991.

Sellers, J.R.: "Myosin: a diverse superfamily". *Bioch. Biophys. Acta* 1496: 3-22, 2000.

Sharon, N.: Carbohydrates. *Sci. Am.*, 243: 90, 1980.

Small, J.V., Fürst, D.O. et al.: "The cytoskeletal lattice of muscle cells." *Eur. J. Biochem.* 208: 559-572, 1992.

Squire, J. *The structural Basis of Muscular Contraction*. New York, Plenum Press. 1981.

Tappy, L., & Lê, K. A. (2010). Metabolic effects of fructose and the worldwide increase in obesity. *Physiological Reviews*, 90(1), 23–46. <https://doi.org/10.1152/physrev.00019.2009>

Telford, R., et al.: The effect to 7 to 8 months of vitamin/mineral supplementation on athletic performance. *Int. J. Sport Nutr.*, 2: 135, 1992.

Thaffle, D.R., et al.: Differential effects of swim versus weight bearing activity on bone mineral status of eumenorrhic athletes. *J. Bone Mineral Res.*, 10: 586, 1995.

Traduction du livre: McArdle, W., et al.: *Physiologie de l'Activité Physique. Energie, Nutrition et Performance*. 4ème Editions Maloine. Paris. 2001.

Troisi, R., et al.: Trans-fatty acid intake in relation to serum lipid concentration in adult men. *Can. J. Sport Sci.*, 56: 1019, 1992.

Voet, D., Voet, J. G., & Pratt, C. W. (2016). *Fundamentals of Biochemistry: Life at the Molecular Level* (5th ed.). Wiley.

Wahren, J., Felig, P. et al.: Glucose metabolism during exercise in man. *J. Clin. Invest.* 50: 2715-2725, 1971.

Watson, J. D., & Crick, F. H. C. (1953). Molecular structure of nucleic acids: A structure for deoxyribose nucleic acid. *Nature*, 171(4356), 737–738. <https://doi.org/10.1038/171737a0>

Williams, J.A., et al.: The effect of long-distances running upon appendicular bone mineral content. *Med. Sci. Sport Exerc.*, 16: 223, 1984.

Wilmore, J.H. & Costill, D.L. (2006). *Physiologie du sport et de l'exercice*, 3e édition, De Boeck.

Wöhler, F. (1828). Ueber künstliche Bildung des Harnstoffs. *Annalen der Physik und Chemie*, 88(2), 253–256.