وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

جامعة محمد الصديق بن يحي –جيجل–

قسم علوم و تقنيات النشاطات البدنية و الرياضية

المستوى : السنة الأولى ليسانس

محاضرات مقياس : الكيمياء الحيوية

(Biochimie)

الأستاذ : شالوش معتز بالله

السنة الجامعية : 2022–2023

المحاضرة 01 : مفاهيم في الكيمياء الحيوية

تعريف الكيمياء :

هي العلم الذي يدرس المادة و التغيرات التي تطرأ عليها، تحديدا بدراسة خواصها و بنيتها، تركيبها، تفعلاتها.

حيث تدرس الذرات و الروابط التي تحدث بينها لتكوين الجزيئات.

تقسيمات الكيمياء :(Chimie)

يقسم علم الكيمياء إلى 5 أصناف و هي :

- الكيمياء العضوية
- الكيمياء الغير عضوية
- الكيمياء الحيوية
- الكيمياء الفيزيائية
- الكيمياء التحليلية

تعريف الكيمياء الحيوية : (Biochimie)

هي فرع من علم الكيمياء الأم، حيث تقوم بدراسة جميع التفاعلات و العمليات الكيميائية داخل أجسام الكائنات الحية.

المكونات الكيميائية لجسم الإنسان :

يحتوي جسم الإنسان على العديد من العناصر الكيميائية التي تدخل في تركيب أنسجة الجسم و أعضائه المختلفة.

إذ يتكون كيميائيا بشكل رئيسي من الماء، المواد العضوية و مواد غير عضوية.

1- الماء :

يعد الماء المكون الكيميائي الأكثر وفرة في جسم الإنسان فهو يشكل حوالي 60% من وزن الجسم، و يشكل 60-90% من كل خلية في الجسم.

2- الموكونات العضوية :

أ- الليبيدات (Lipides)

يحتوي جسم الإنسان على نسبة عالية من الليبيدات، بما فيها الدهون التي توفر مخزون إحتياطي من الطاقة، و تعمل كمادة عازلة، و تساعد في إمتصاص الصدمات.

ب- البروتينات (protéines)

البروتين مكون أساسي في الجسم فهو يدخل في تركيب أغشية الخلايا و العضلات و الشعر و الأظافر و منه تتكون الإنزيمات التي تحفز التفاعلات الكيميائية.

ت- الكربوهيدرات (carbohydrates)

تزود الكربوهدرات الجسم بالطاقة، و هي إما سكريات بسيطة كالجلوكوز **(Glucose)** $C_6H_{12}O_6$ الذي يدور في الدم أو سكريات مركبة و التي تكون مخزنة غالبا في العضلات و الكبد على شكل جلايكوجين **(Glycogène)** $C_{24}H_{42}O_{21}$

ث- الأحماض النووية :

يحتوي الجسم على نوعين : ADN و ARN

- **ADN (Acide désoxyribonucléique)**

حمض نووي ريبوزي منزوع الأكسجين، و هو المادة الوراثية المسؤولة عن انتقال الصفات الوراثية.

- **ARN (Acide Ribonucléique)**

حمض نووي ريبوزي، و هو الذي يساعد على تنفيذ التعليمات المشفرة التي يحملها ADN

3- المكونات الغير عضوية

- **الأكسجين O_2:** إذ يشكل 61-65% من جسم الإنسان و هو ضروري لعملية التنفس الخلوي.
- **الكربون C:** يشكل 18% من جسم الإنسان، و هو المكون الأساسي لجميع المواد العضوية في الجسم.
- **الهيدروجين H:** و يشكل 10 % من جسم الإنسان، و يدخل في تركيب الماء و هو ضروري في عملية إنتاج الطاقة.
- **النيتروجين N:** يشكل 3% من جسم الإنسان، و يدخل في تركيب البروتينات و الأحماض النووية
- **الكالسيوم Ca:** و يمثل 1.5 %من جسم الإنسان، و يدخل في تكريب الأسنان و العظام و يعطيها الصلابة و القوة و كذلك يدخل في عملية الإنقباض العضلي و تكريب البروتينات.
- **الفسفور P:** و يمثل 1.5% – 1.2 من جسم الإنسان، و يدخل في تركيب الأسنان و العظام و ATP.

المحاضرة 02 : مفاهيم و تقسيمات مركبات الـGPL

الكربوهيدرات Carbohydrates

أنواع الكربوهيدرات :

- **السكريات الأحادية (Monosaccharides)**

هي أبسط شكل في الكربوهدرات، و تحتوي على كربون، هيدروجين و أكسجين بنسبة 1:2:1.

من بين هذه السكريات نذكر:

الجلوكوز (سكر عنب) : و هو من أهم السكريات الأحادية.

الفركتوز(سكر الفواكه) : المسؤول عن الطعم السكري للفواكه.

الغالكتوز (سكر العقل) : نجده في الحليب و الألبان.

- **السكريات الثنائية (Disaccharides)**

ترتبط 2 من السكريات الأحادية لتعطي ثنائية و من أمثلتها :

السكروز (سكر القصب) : جلوكوز + فركتوز

اللاكتوز (سكر الحليب) : جلوكوز + غالكتوز

المالتوز (سكر الشعير) : جلوكوز + جلوكوز

اللاكتولوز : جالكتوز + فركتوز

- **السكريات المتعددة (Polysaccharides)**

عندما تتحد العديد من جزيئات السكر الأحادية تسمى سكريات متعددة و من أمثلتها :

الجلايكوجين (Glycogène)

الإنولين (Inuline)

الدكسترات (Dextrane) تكون في الخمائر

النشا (Amidon)

البروتينات Protéines

أنواع البروتينات :

- **البروتينات الهرمونية :**

الأنسولين (Insuline) خفض نسبة السكر في الدم

الجلوكاجون (Glucagon) رفع نسبة السكر في الدم

الغريلين (Greline) هرمون الجوع

اللبتين (Leptine) هرمون الشبع

- **البروتينات الإنزيمية :**

الأميلاز (amylase)

اللاكتاز (Lactase)

الليباز (Lipase)

- **البروتينات الهيكلية :**

الكولاجين (Collagène) : يكون في الغضاريف، الأوتار، العظام

الإيلاستين (Elastine) : يعطي العضلات المرونة اللازمة

الكيراتين (Kératine) : يكون في الشعر و الأسنان

- **البروتينات الدفاعية :**

و هي الأجسام المضادة (Anticorps)

الغلوبيلين المناعي Immunoglobulines A.M.G

- **بروتينات النقل :**

الهيموغلوبين (Hémoglobine) نقل الأكسجين في الدم

الميوغلوبين (Myoglobine) تخزين الأكسجين في الخلية العضلية

الكالبيندين (Calbindin) امتصاص الكالسيوم في الأمعاء

- **البروتينات الإنقباضية :**

الميوزين (Myosine)

الأكتين (Actine)

الأحماض الأمينية :

هناك 20 حمض أميني، و تنقسم الأحماض الأمينية إلى قسمين :

- **الأحماض الأمينية الأساسية :**

و هي الأحماض الأمينية الضرورية و التي لا يستطيع الجسم إنتاجها أي أنها تأتي من المغذيات (9)

L'histidine, l'isoleucine, la leucine, la lysine, la méthionine, la phénylalanine, la thréonine, le tryptophane et la valine

- **الأحماض الأمينية الغير أساسية :**

و هي عبارة عن الأحماض الأمينية التي يستطيع الجسم إنتاجها من أحماض أخرى (11)

Alanine, l'arginine, l'asparagine, l'acide aspartique, la cystéine, l'acide glutamique, la glutamine, la glycine, la proline, la sérine et la tyrosine

المحاضرة الثالثة : مفاهيم و تقسيمات مركبات الـGPL

الدهون :Lipides

أنواع الليبيدات :

- **ثلاثي الغليسيرول:**

الدهون الثلاثية هي الدهون و الزيوت الموجودة في الطعام. يمكن أن يكون هذا النوع من الدهون مشبعًا أو غير مشبع، وهو إحدى أسباب أنها صلبة أو سائلة في درجة حرارة الغرفة. وتشكل الدهون الثلاثية أكثر من 95% من الدهون في النظام الغذائي وتوجد بالعادة في الأطعمة المقلية والزبدة والحليب والجبن وبعض اللحوم. يوجد ثلاثي الجلسرين الموجود بشكل طبيعي في العديد من الأطعمة، مثل الأفوكادو والزيتون والذرة والمكسرات. عادة ما نطلق على الدهون الثلاثية في طعامنا اسم "الدهون" و "الزيوت.

- **الأحماض الدسمة المشبعة و الغير مشبعة :**
  - **الدهون الغير مشبعة :**

هي الدهون التي تحتوي الأحماض الدسمة فيها على روابط تشاركية ثنائية أو مزدوجة في هذه الحالة فإن الرابطة الثنائية تقلل عدد الذرات التي تستطيع ذرة الكربون الارتباط معها.

و تكون سائلة في درجة حرارة الغرفة، و مثال على هذه الدهون، الزيوت مثل زيت الزيتون و زيت عباد الشمس (Tournesol) حيث أن الروابط الثنائية ضعيفة التماسك في هذه الأحماض بحيث يمكن كسر أو تغيير هذه الروابط بسهولة، و لهذا السبب استقلاب الدهون غير المشبعة أسهل و أفضل و لا يتم تخزين هذه الدهون، فهي مصادر غنية للطاقة.

- **الدهون المشبعة :**

هي الدهون التي تحتوي على الأحماض الدسمة ذات الروابط الأحادية فقط دون وجود الروابط الثنائية، إذ تكون صلبة في درجة حرارة الغرفة، مثل الدهون الموجودة في لحوم الحيوانات مثل البقر و الزبذة و السمن، و يحتاج الجسم وقت و طاقة أكبر لتفكيكها و استقلابها لأن الروابط الأحادية بين ذرات الكربون متينة، تدخل هذه الدهون في بناء أغشية الخلايا أو يتم تخزينها في النسيج الشحمي للجسم.

- **الستيرويدات**

هي أقل أنواع الدهون شيوعًا، والكوليسترول هو أكثر ستيرويد معروف. يعتبر الكوليسترول مكونًا مهمًا في غشاء الخلية وهو ضروري لتركيب الهرمونات الجنسية وفيتامين د والأملاح الصفراوية. الكوليسترول ضروري للحياة، لكنه ليس ضروري لنظامنا الغذائي لأن الجسم يستطيع إنتاج الكوليسترول.

أنواع الدهون من حيث المصدر :

تنقسم الدهون إلى نوعين من حيث المصدر :

إما حيوانية (زبدة، دهون حيوانية....) حيث يكون استعمالها محدود، و إما نباتية (زيوت، دهون نباتية...)

الأحماض الدهنية الضرورية الوحيدة في التغذية هي حمض اللينولييك أوميغا 6(acide linoléique) حيث أنه يتواجد في الزيوت النباتية (الذرة، بذور العنب، الفول السوداني، البندق....).

و حمض اللينولينيك أوميغا 3(acide linolénique) حيث أنه يتواجد في الزيوت النباتية أيضا (زيت بذر الكتان، بذور اللفت، الصويا...)

ملاحظة :

تتضمّن عملية تصنيع الليبيدات مراحلَ معقّدةً تبدأ بتحويل الكربوهيدرات الزائدة في الحمية الغذائية للشخص إلى شحومٍ ثلاثيةٍ (Triglycérides)

المحاضرة 04 : الخلية الحيوانية و مكوناتها و بعض أنواعها :

تعريف الخلية الحيوانية:

تعدّ الوحدة البنائية لأجسام الحيوانات والإنسان الخلية و هي الوحدة الأساسية للحياة، وهي أيضًا أصغر وأبسط وحدة بيولوجية للكائنات الحيوانية.

مكونات الخلية :

تتكون الخلية من مجموعة من العضيات لكل منها وظيفة معينة و هي :

الغشاء البلازمي : هو البطانة الخارجية للخلية، وهو يفصل الخلية عن بيئتها، ويسمح للمواد بالدخول إليها والخروج منها

السيتوبلازم : وهو عبارة عن سائل يضم جميع محتويات الخلية الحيوانية، تسبح به أجزاء الخلية جميعها، وتسمى العُضيّات ،يحافظ السيتوبلازم على شكل وتماسك الخليّة، ويوفّر حيزا لتخزين المواد الكيميائية التي تحتاجها الخلية

النواة : وتضم بداخلها الكروموسومات والمادة الوراثية والنُويّة، وتعتبر النواة مركز النشاطات والعمليات الحيوية في الخلية، حيث تعمل على تنظيم شؤونها، وتعد أيضًا مصدر المعلومات الوراثية.

الميتوكندريا : عضيات بيضاوية، أو مستطيلة الشّكل توجد في جميع أنواع الخلايا الحيوانيّة باستثناء خلايا الدّم الحمراء، وتحدث داخل الميتوكندريا عمليّة التّنفس الخلوي، وهي العمليّة التي تحوّل الطّعام الذي نتناوله إلى شكلٍ يمكن للخلية الاستفادة منه واستخدامه للعمليات الحيويّة المهمة مثل النّمو، والانقسام. ويعتمد عدد الميتوكندريا في الخليّة على نوع ووظيفة هذه الخليّة، فهي على سبيل المثال توجد بكثرة في العضلات لتزودها بالطّاقة اللازمة لنشاطها.

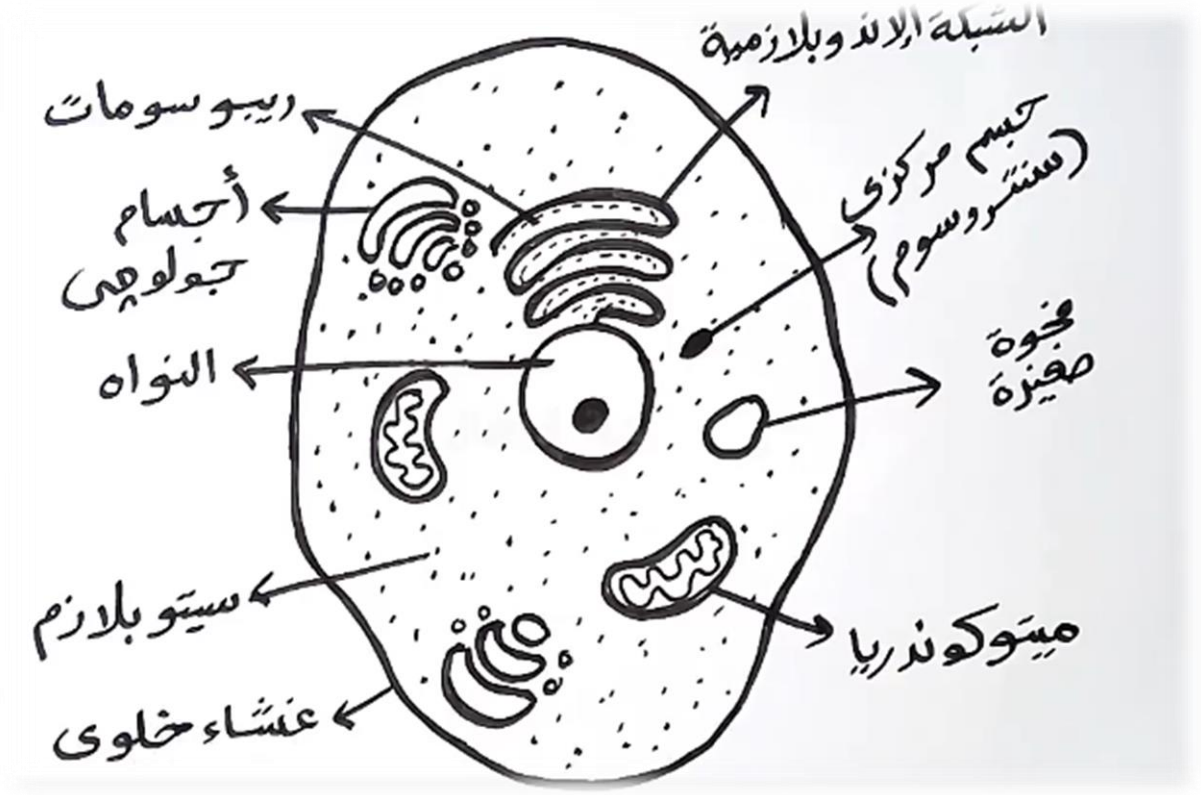
الشبكة الأندروبلازمية : تقوم تلك الشبكة بالعمل على توفير شبكة اتصال بين جميع أجزاء الخلية الحيوانية، وتصل بين الغلاف النووي المحيط بالنواة وبين الغشاء الخلوي.

جهاز غولجي : عضية مسطحة ذات طبقات ناعمة تشبه الكيس وتقع بالقرب من النواة و تشارك في تصنيع وتخزين وتعبئة ونقل الجسيمات في جميع أنحاء الخلية.

جسم مركزي : تراكيب أسطوانيّة الشّكل، لها دور في فصل الكروموسومات أثناء الانقسام الخلوي.

فجوة عصارية : عضية مرتبطة بالغشاء موجودة داخل خلية تشارك في الحفاظ على الشكل وتخزين الماء والغذاء والنفايات

الريبوزومات : العضيات التي تعالج التعليمات الوراثية للخلية لتكوين البروتينات، ويمكن لهذه العضيات أن تطفو بحرية في السيتوبلازم، أو أن تكون متّصلة بالشبكة الإندوبلازمية



أنواع الخلايا الحيوانية :

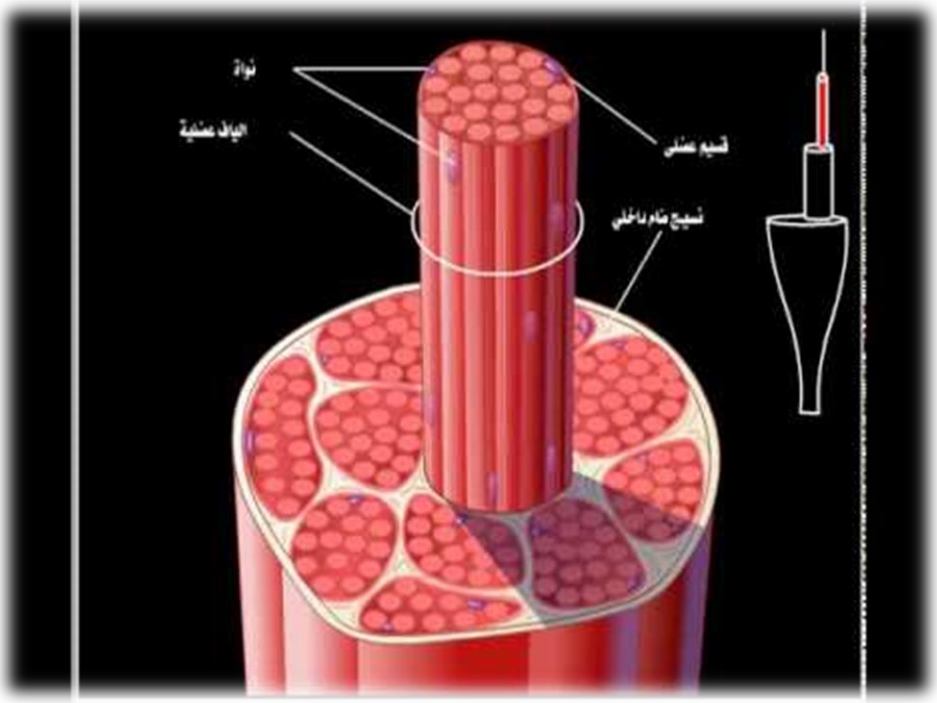
تنقسم الخلايا الحيوانية إلى عدة تقسيمات و هي :

الخلايا العصبية: و هي التي تتكون منها الأعصاب و الجهاز العصبي كخلية شوان ....إلخ.

الخلايا الدموية : الكريات الدموية الحمراء و البيضاء و الصفائح.

الخلايا الجلدية : الخلايا الصباغية والخلايا الكيراتينية

الخلايا العضلية : هي عبارة عن خلية حيوانية متخصصة يمكنها تقصير طولها باستخدام سلسلة من البروتينات الحركية المرتبة بشكل خاص في الخلية. والعديد من البروتينات الأخرى المرتبطة بها.



المحاضرة 05 : عمليات التمثيل الغذائي (Métabolisme)

مفهوم التمثيل الغذائي :

تتمثل عملية التمثيل الغذائي بأنها مجمل التفاعلات الكيميائية التي تحدث داخل الخلية، و على وجه الخصوص التمثيل الطاقوي الذي يتضمن المسارات أو النظم الطاقوية من أجل إنتاج الطاقة اللازمة لوظيفة الخلية، هذا التمثيل الغذائي يحتوي على مرحلتين وهي عمليات البناء (إنتاج) (Anabolisme) و عمليات الهدم (تفكيك)(catabolisme) .

1- عمليات البناء (Anabolisme)

هي مرحلة من التمثيل الغذائي يتم خلالها تصنيع الجزيئات الكبيرة والمعقدة (البروتينات ، الجليكوجين ، الأحماض النووية ، إلخ) من جزئيات بسيطة (الأحماض الأمينية ، الجلوكوز إلخ). حيث تعمل هذه المرحلة على البناء مثلا : كتلة العضلات وتصنيع أنسجة الجسم وتخزين الطاقة في شكل الجليكوجين أو الدهون الثلاثية. تستهلك هذه العملية الطاقة ، المستردة في شكل ATP المتكون أثناء مرحلة الهدم.

2- عمليات الهدم (Catabolisme)

هي مرحلة من التمثيل الغذائي يتم خلالها هدم و تحليل جزيئات ذات حجم كبير إلى جزيئات أصغر وأبسط بفضل عمل إنزيمات معينة ، لكي يستخدمها الجسم، تسمح عملية الهدم بتكوين طاقة على شكل ATP.

أفضل عملية هدم معروفة هي عملية الهضم، حيث لا يمكن امتصاص الجزيئات المعقدة مثل النشا أو البروتينات واستخدامها في هذا الشكل. وبالتالي ، يتم تقسيمها إلى جزيئات بسيطة مثل (الجلوكوز والأحماض الأمينية) ، والتي يمكن بعد ذلك امتصاصها بواسطة الغشاء المخاطي في الأمعاء.

- **التمثيل الغذائي القاعدي :**

يترجم التمثيل الغذائي القاعدي بكمية الطاقة التي يستخدمها أجسامنا لضمان الوظائف الحيوية للجسم (التنفس ، معدل ضربات القلب ، نشاط المخ ، والحفاظ على درجة حرارة الجسم ، والدورة الدموية ، وما إلى ذلك). يمكن أن يتغير حسب الظروف الخارجية مثل درجات الحرارة القصوى ، وكذلك من النشاط البدني المنتظم، لذلك ، شخص ممارس للرياضة بشكل مستمر له معدل التمثيل الغذائي القاعدي أعلى مقارنة بشخص قليل الحركة.

المحاضرة 07 : الشعب الطاقوية (filières énergétiques)

تحدث التفاعلات الكيميائية في الشعبتين (اللاهوائية اللاحمضية و الحمضية) في السيتوزول (cytosol) و هو سيتوبلازم الخلية العضلية و على مستوى الميتوكوندري بالنسبة للشعبة الهوائية.

1- الشعبة اللاهوائية اللاحمضية (الفسفرة) filière anaérobie Alactique

- **فوسفوريل-كرياتين (الكرياتين-فوسفات) PhosphorylCréatine (PCr)**

بمجرد أن تبدأ العضلات في العمل، (بغض النظر عن مستوى شدتها) ، ينخفض تركيز ATP و لمواجهة هذا النقص ، هناك آلية لإعادة تركيب ATP والتي تستخدم مركبًا غنيًا بالطاقة: فسفوريلكرياتين . إذ أنه يمثل مصدرًا للطاقة للسماح بإعادة إنتاجATP حيث يؤدي تحلل جزيء PCr إلى إطلاق كمية من الطاقة الكافية للسماح بإعادة تركيب جزيء ATP

حيث يقوم إنزيم الكرياتين-فوسفوكيناز (Créatine phosphokinase –CPK) بأخذ جزيئ الفوسفور من مركب الفوسفوريل-كرياتين و وضعه مع مركب ADP من أجل إنتاج الATP

و يكون التفاعل على شكل :

$$ADP + PCr \overset{CPK}{\rightleftharpoons} ATP + Cr \quad [3]$$

- **أدينوزين ثنائي الفوسفات ADP (Adénosine di phosphate)**

يمكن تركيب جزيئ ATP عن طريق دمج جزيئين من ADP فنحصل على جزيئ ATP و جزيئ AMP و ذلك بفضل إنزيم الميوكيناز (Myokinase)

$$ADP + ADP \overset{MK}{\rightleftharpoons} ATP + AMP \quad [4]$$

هذه العملية أو الشعبة تنتج 1 جزيئ ATP واحد بطريقة سريعة.

بما أن مخازن الفوسفوريل كرياتين في العضلة صغيرة و تفرغ بسرعة، فإن الشعبة اللاهوائية اللاحمضية لا تدوم لفترة طويلة.

المحاضرة 08 : تابع (الشعب الطاقوية)

2- الشعبة اللاهوائية الحمضية (الجلكزة اللاهوائية) filière anaérobie lactique

بمجرد نفاد مخازن الفوسفوريل كرياتين، تتولى الشعبة الثانية و هي الشعبة اللاهوائية الحمضية وظيفة إعادة تركيب ATP و ذلك عن طريق جلكزة الجلوكوز أو الجلايكوجين حيث تنتج هذه العملية 2ATP بالنسبة لجلكزة الجلوكوز و 3ATP بالنسبة لجلكزة الجلايكوجين، ينتج عن هذه العملية جزيئ البيروفات (Pyruvate) و الذي يتحول إلى لاكتات (lactate) عند إتحاده مع أيون الهيدروجين (H^+) و الذي يستعمل بدوره في إنتاج الطاقة.

المحاضرة 09 : تابع (الشعب الطاقوية)

3- الشعبة الهوائية (الأكسدة أو الجلكزة الهوائية) filière aérobie

عند زيادة مدة التمرين تتولى الشعبة الثالثة و هي الشعبة الهوائية وظيفة تركيب ATP و ذلك عن إستعمال السكريات، الدهون و البروتينات هذه العملية تنتج 31 أو 29 جزيئ ATP

و تنتج كذلك فضلات على شكل CO2 و H2O

التفاعل الكيميائي الخاص بالجلوكوز في الشعبة الهوائية هو :

$$C_6H_{12}O_6 + ADP + P_i + O_2 => H_2O + 6CO_2 + ATP$$

بطريقة عملية، يدخل جزيئ البيروفات (Pyruvate) في الميتوكوندريا حيث يفقد جزيئ CO2 و يصبح جزيئ أستيل أنزيم أ (Acetyl-CoA) و هو الجزيئ الوحيد الذي يبدأ حلقة كربس (cycle Krebs)، و خلال حلقة كربس سيتم إنتاج الطاقة في صورة ATP

و كذلك على صورة FADH و NADH الغنية بالطاقة و لكن لا تستطيع إطلاق طاقتها إلا بعد دخولها في السلسلة التنفسية.(Chaine respiratoire)

ملخص للشعب الطاقوية الثلاث :

تسمح الشعب الطاقوية بإعادة تركيب ال ATP من ADP و Pcr ومصادر مختلفة للطاقة (بشكل أساسي الكربوهيدرات والدهون) من أجل استمرار تقلص العضلات بمرور الوقت.

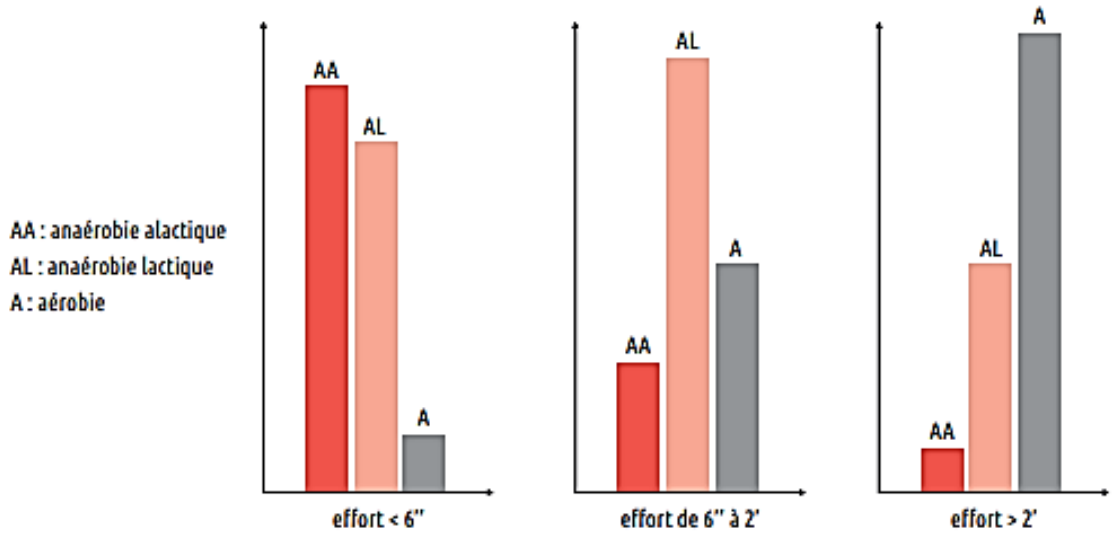
يقوم الجهد البدني بتنشيط الشعب اللاهوائية التي ستمول بدايات الجهد أو الجهود المكثفة في الوقت الذي يصل فيه الأكسجين بكميات كافية في الميتوكوندريا.

تستخدم **الشعبة اللاهوائية اللاحمضية** احتياطيات الفوسفوريلكرياتين داخل الخلايا من أجل تركيب ال atp تراجع هذه الاحتياطيات يوقف عمل هذا القطاع.

تستخدم **الشعبة اللاهوائية الحمضية** الجلايكوجين داخل الخلايا أو الجلوكوز الذي يدور في الدم بدون أكسجين وينتج اللاكتات عندما لا تستطيع الميتوكوندريا بعد الآن امتصاص أيونات H+ (الهيدروجين) التي يطلقها الجلوكوز.

تستخدم **الشعبة الهوائية** الكربوهيدرات أو الأحماض الدهنية الحرة والأكسجين. هذا يعطي الماء وثاني أكسيد الكربون. إنها الشعبة التي تسمح بتركيب أكبر كمية من الـATP .

تعمل القطاعات الثلاثة في نفس الوقت بشكل دائم ولكن كل منها يصبح مهيمنًا في وقته اعتمادًا على مدة الجهد و شدته.

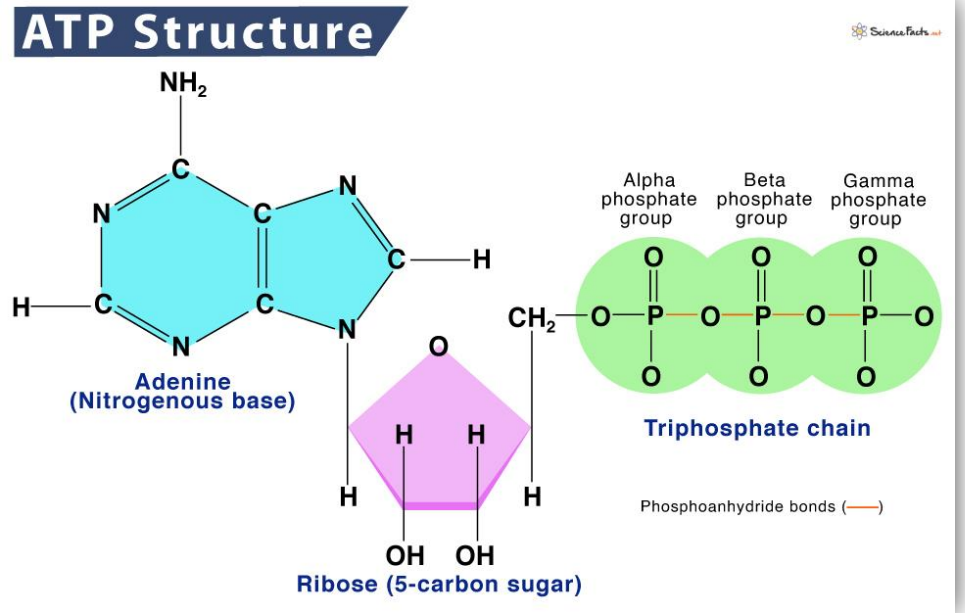


المحاضرة 10 : أدينوزين ثلاثي الفوسفات (ATP)، و دوره في الإنقباض العضلي

تعريف الـ ATP

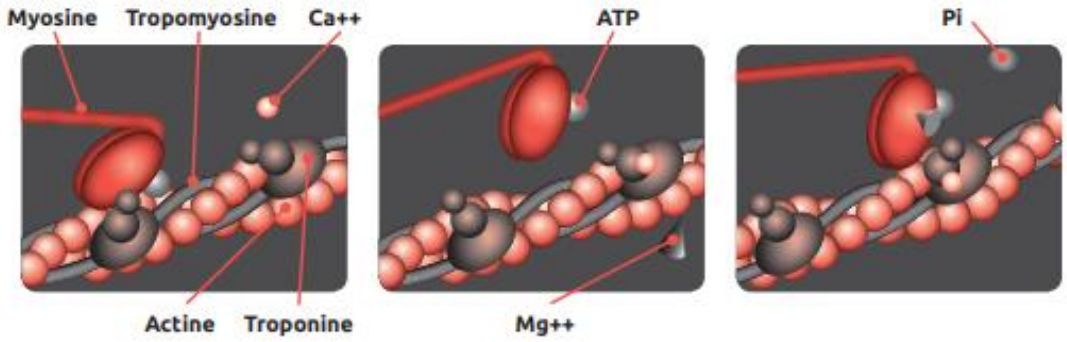
هو نيوكليوتيد (nucléotide) يتكون من الأدينين (قاعدة نيتروجينية) ، ريبوز (سكر مع خمس ذرات كربون) وثلاث مجموعات فوسفات مرتبطة ببعضها البعض بواسطة رابطتين عاليتي الطاقة من البيروفوسفات.

صيغته الجزيئية هي : $C_{10}H_{16}N_5O_{13}P_3$



التقلص العضلي :

تتكون كل عضلة من آلاف الخلايا المطولة التي تسمى ألياف عضلية. تتكون كل ليفة عضلية في حد من خيوط بروتينية معينة (الأكتين والميوسين): تنزلق هذه الخيوط بينها فتنتج الإنقباض العضلي.



دور الـ ATP في التقلص العضلي :

يرتبط ال ATP على رأس الميوزين

المرحلة 01 : يرتبط الكالسيوم بالأكتين ويطلق الموقع حيث تتشبث رؤوس الميوزين.

المرحلة 02 : بمجرد اتصاله بالموقع ، يتفاعل الATP مع الإنزيمات الموجودة في الموقع من أجل تبديل رؤوس الميوسين من أجل سحب الأكتين

المرحلة 03 : التفاعل يكسر جزيء الATP ، و ينتج عنه حركة ميكانيكية ، يجب أن يرتبط جزيء جديد برأس الميوسين حتى يمكن فصله.