الفصل الثاني

التمثيل الغذائي واستخراج الطاقة

التساؤلات المهمة في الفصل

- **أولاً**: ماذا يحدث للمواد الغذائية بعد تناولها؟
- **ثانياً**: كيف يتم هضم، ونقل، وامتصاص المواد الكربوهيدراتية واستيعابها داخل الجسم؟
- **ثالثاً**: كيف يتم هضم، ونقل، وامتصاص المواد الدهنية واستيعابها داخل الجسم؟
- **رابعاً**: كيف يتم هضم، ونقل، وامتصاص المواد البروتينية واستيعابها داخل الجسم؟
- **خامساً**: كيف يتم امتصاص وانتقال الفيتامينات، والأملاح المعدنية، والماء داخل الجسم؟
- **سادساً**: ما هو التمثيل الغذائي للطاقة؟ ولماذا هو مهم؟
- **سابعاً**: ماهي الطاقة؟
- **ثامناً**: ماهي المصادر الكيميائية للطاقة في جسم الإنسان؟
- **تاسعاً**: كيف يمكن للخلايا إنتاج ثلاثي فوسفات الأدينوزين (ATP)؟
- **عاشراً**: ما هي نظم إنتاج الطاقة الثلاثة؟
- **حادي عشر**: ماهي المسارات المرتبطة بتحليل الكربوهيدرات هوائيًّا؟
- **ثاني عشر**: ماهي المسارات المرتبطة بتحليل الدهون والبروتينات هوائيًّا؟
- **ثالث عشر**: كيف يمكن لنظم إنتاج الطاقة العمل معًا لإمداد الجسم بالـ (ATP) خلال الرياضة؟

obeikandl.com

أنت أخصائي التغذية

زينة لاعبة طموحة وتمارس رياضة ألعاب القوى وتشترك في سباق ٨٠٠ متر عدوًا، وقد قرأت العديد من كتب التغذية المختلفة وتأمل في الحصول على الغذاء المثالي للرياضة المحببة لها ، وتعلمت من قراءاتها أن الدهون تحتوي على كميات من السعرات الحرارية أكبر من الكربوهيدرات. وتعلمت أيضًا أن هناك حاجة إلى البروتينات لمساعدة العضلات على استعادة الاستشفاء من التدريب، ويمكن استخدامها في إنتاج الطاقة. وقالت لمدربها إنها مقتنعة الآن بأن الوجبة الغذائية التي تحتوي على كمية كبيرة من الدهون والبروتينات وكمية منخفضة من الكربوهيدرات تعتبر وجبة مناسبة لها. واختلف معها المدرب في وجهة النظر، وأشار إليها بأن تراجع أخصائي تغذية قبل أن تغير النظام الغذائي الخاص بها كما أوضح لها أن معظم الطاقة تأتي من الكربوهيدرات.

الأسئلة:

- من خلال المعلومات البيوكميائية ، هل تفكير اللاعبة زينة صحيح؟
- ما هو نظام الطاقة الذي يعتمد عليه لاعب سباق ٨٠٠م عدوًا؟
- هل النظام الغذائي المعتمد على الدهون أفضل بالنسبة للاعبة زينة؟
- فسر لها لماذا ينبغي أو لا ينبغي أن تتبع هذا النظام الغذائي الجديد؟

أولًا: ماذا يحدث للمواد الغذائية بعد تناولها؟

إن المواد الغذائية عند تناولها لا تدخل إلى الجسم مباشرةً. فالجهاز الهضمي ما هو إلا قناة تربط بين الفم وفتحة الشرج (انظر الشكل ١, ٢). والمواد الغذائية داخل الجهاز الهضمي تعتبر خارج الجسم حتى تتم عملية الامتصاص من خلال جدران الجهاز الهضمي.

الهضم "digestion"
هو عملية تحطيم الغذاء المتناول إلى عناصره الأساسية بحيث يمكن امتصاصه من خلال خلايا الجهاز الهضمي.

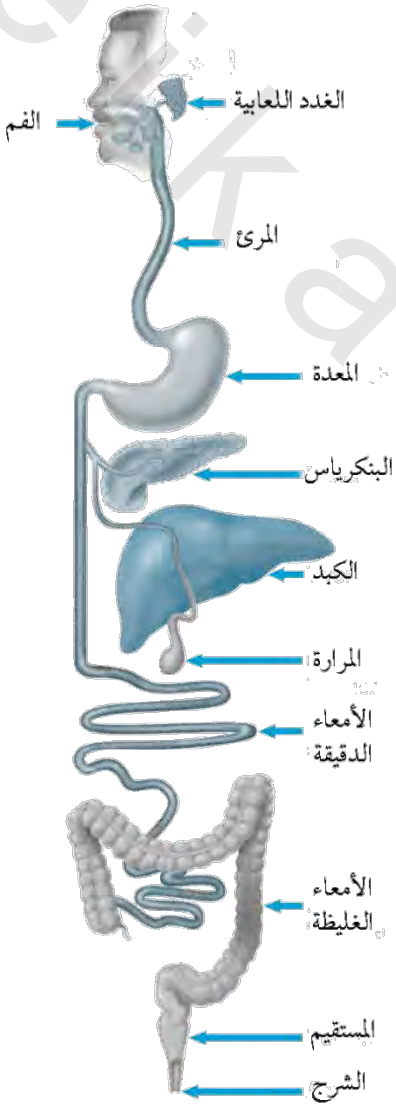
وبمجرد أن تتم عملية الامتصاص تعتبر المواد الغذائية رسميًا داخل الجسم ويمكن أن تنتقل من خلال الدم والجهاز الليمفاوي إلى جميع أنحاء الجسم. ولأن معظم المواد الغذائية كبيرة في الحجم بحيث يصعب امتصاصها؛ فإنها لابد أولًا من تقسيمها إلى أجزاء أصغر عن طريق الهضم. والهضم "Digesting" هو عملية تحطيم الغذاء المتناول عن طريق الأنشطة الميكانيكية والإنزيمية بحيث يمكن امتصاصه بالجسم. وفي هذا الجزء سوف تتم مناقشة أجزاء الجهاز الهضمي ووظيفته في هضم وامتصاص المواد الغذائية.

تجويف الفم "oral cavity"
هو اسم آخر للفم، والذي يشكل أول جزء في الجهاز الهضمي.

الغدد اللعابية "salivary glands"
هي غدد في الفم تفرز إنزيم اللعاب.

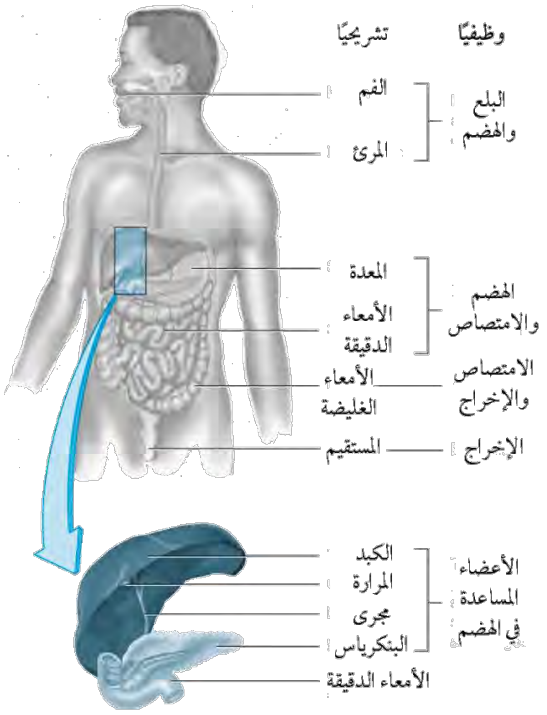
ما هي وظائف أجزاء الجهاز الهضمي المختلفة؟

مجموعة الوظائف التشريحية والوظيفية لأجزاء الجهاز الهضمي موضحة في (الشكل ٢, ٢). فيمتد الجهاز الهضمي من الفم إلى فتحة الشرج بطول ٧, ٦٢ مترًا في معظم الأفراد. وعن طريق تجويف الفم "Oral cavity" تدخل المواد الغذائية المتناولة.



الشكل (١, ٢). تشريح الجهاز الهضمي.

obeikandl.com



الشكل(٢ , ٢). مجموعة الوظائف للجهاز الهضمي. يبدأ الهضم في الفم، وأكثره يكون في المعدة والأمعاء الدقيقة، والامتصاص يحدث بشكل أكبر في الأمعاء الدقيقة.

الشكل (٣ , ٢). الغدد اللعابية: ثلاث أزواج من الغدد تفرز اللعاب والذي يرطب وييسر الهضم، كما يحتوي على الإنزيمات اللعابية التي تبدأ في هضم المواد النشوية.

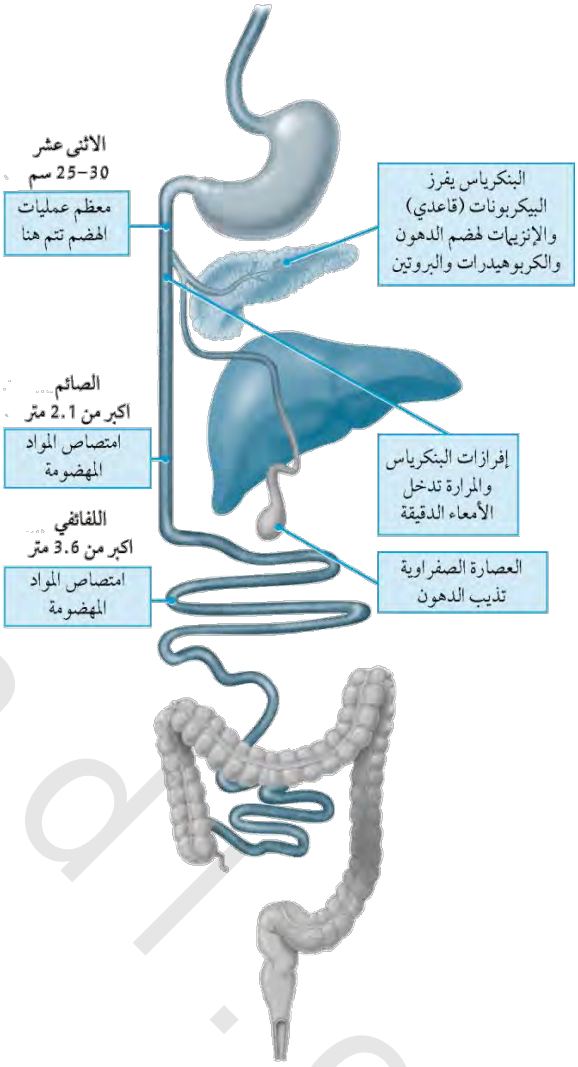
عملية الهضم الرئيسية التي تحدث في الفم تعرف باسم المضغ "Chewing". إن العملية الميكانيكية لمضغ الأطعمة تساعد على تفتيتها إلى قطع وتزيد من المساحة المعرضة لعمل الإنزيمات. وتفرز الغدد اللعابية "Salivary glands" "اللعاب" في تجويف الفم (انظر الشكل ٣ , ٢)، وهذا يساعد على ترطيب الطعام وبداية عملية الهضم الإنزيمي.

وتمر المواد الغذائية بعد البلع من خلال المريء "Esophagus" وهو أنبوبة تمتد من خلف تجويف الفم إلى المعدة. فيمر الطعام بسرعة خلال المريء مما يقلل من عملية الهضم نسبيًّا. وعند دخول الطعام إلى المعدة يتعرض للأحماض والإنزيمات الأخرى التي تزيد من عملية الهضم. وهناك للمعدة جدار عضلي يخلط الغذاء من خلال حركته مع أحماض المعدة والإنزيمات. وهذه العملية تستمر لمدة ساعة تقريبًا قبل خروج الطعام من المعدة. وعلى الرغم من أن جزء من الامتصاص يحدث في المعدة، ولكن الجزء الأكبر من عملية الامتصاص تتم في المرحلة التالية من الجهاز الهضمي "gastrointestinal tract" وهي في الأمعاء الدقيقة.

وتُشكل الأمعاء الدقيقة الغالبية العظمى من طول القناة المعدية (حوالي ٦ , ١ مترًا) وهي مقسمة إلى ثلاثة

obeikandi.com

أجزاء: الاثني عشر، الصائم، اللفائفي وكما هو موضح في (الشكل ٤ , ٢).



الشكل(٤ , ٢). يوضح الأمعاء الدقيقة. إفرازات من البنكرياس والكبد والمرارة تساعد في عملية الهضم. وعلى طول الجدران المعوية يتم امتصاص المواد الغذائية في الدم واللمف. ويتم تمرير المواد غير المهضومة إلى الأمعاء الغليظة.

وعند خروج الطعام من المعدة (مهضومًا جزيئًا) فإنه يدخل إلى الاثني عشر وهو الجزء الصغير والدقيق من الأمعاء الدقيقة وبالرغم من أن طوله ٣٠ سم، ولكن يصب فيه إنزيمات المرارة والبنكرياس، ويتم فيه اكتمال الكثير من هضم الطعام ويجعله جاهزًا للامتصاص. والأمعاء الدقيقة تعتبر طويلة وعلى جدرانها من الداخل توجد زوائد صغيرة أنبوبية، (انظر الشكل ٥ , ٢) وكل زائدة تحتوي على مصدر دموي وليمفاوي بحيث يسهل امتصاص المواد الغذائية وتدخل مباشرةً إلى الجسم من خلال الدورة الدموية.

إن المزج بين طول الأمعاء الدقيقة والالتفافات والزوائد المبطنة يتيح مساحة أوسع لاستيعاب وامتصاص المواد الغذائية. وفي حقيقة الأمر يحدث الامتصاص بشكل أكبر في كل من الأجزاء المتبقية من الأمعاء الدقيقة وهي الصائم واللفافي.

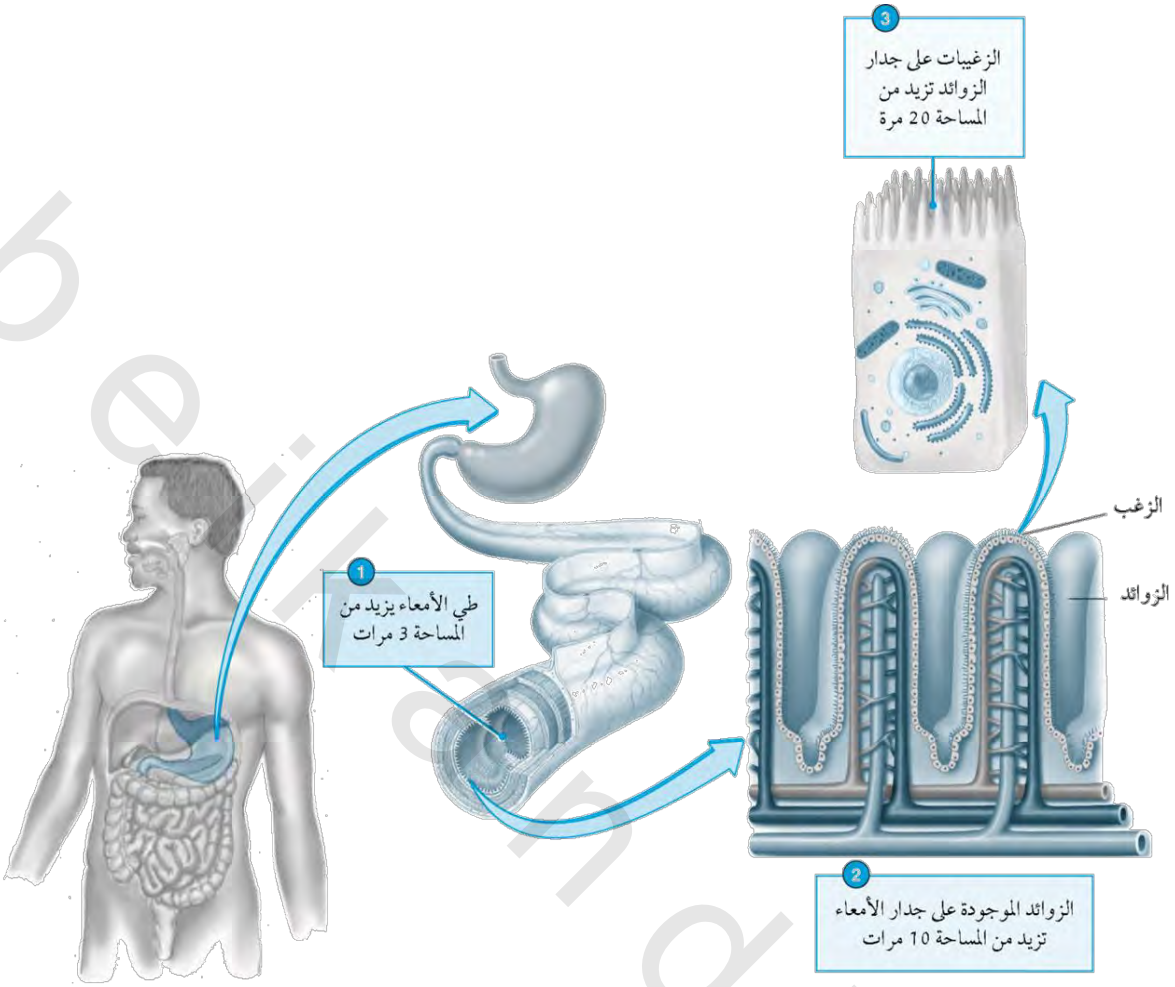
المريء "esophagus"
وهو الجزء الذي يربط تجويف الفم بالمعدة.

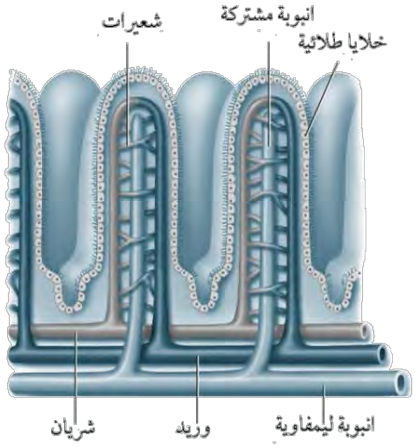
المعدة "stomach"
وهي قابلة للتمدد وتعتبر جزء من الجهاز الهضمي يتلقى الطعام من المريء وبها جدران عضلية تقلب الطعام وتمزجه للمساعدة في عملية الهضم ، ويمر الطعام منها إلى الاثني عشر.

المسالك الهضمية (GI-tract) "Gastrointestinal tract"
تشمل المعدة ، والأمعاء الدقيقة ، والأمعاء الغليظة.

الأمعاء الدقيقة "Small intestine"
هي جزء من الجهاز الهضمي يتم فيه الهضم والامتصاص بشكل كبير. ومقسمة إلى ثلاث أجزاء: الاثني عشر ، والصائم ، واللفائفي.

obeikandi.com

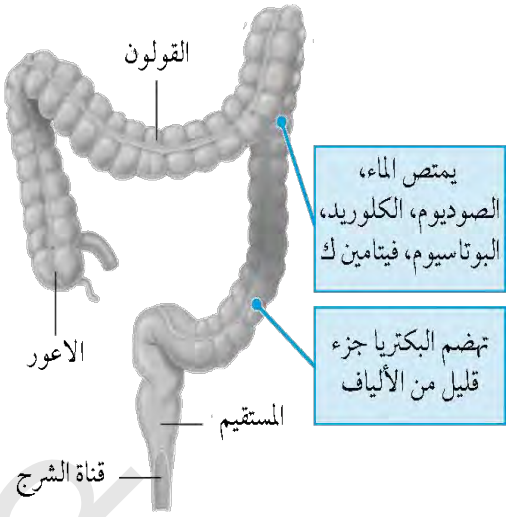




الشكل (٥ , ٢). يوضح سطح الامتصاص في الأمعاء الدقيقة. ولزيادة مساحة الامتصاص فيها تم طي الأمعـاء وامتلائهـا بالزوائـد، وهذا يمثل مساحة ملعب تنس معباً داخل الأمعاء.

obeikandl.com

أما ما تبقى من المحتويات غير المهضومة أو المهضومة جزئيًا وغير المتصة فتتجه من الأمعاء الدقيقة إلى الأمعاء الغليظة. والأمعاء الغليظة تشمل: القولون (الصاعد، والمستعرض، والهابط)، والمستقيم، والقناة الشرجية التي تنتهي بفتحة الشرج (انظر الشكل ٦, ٢).



الشكل (٦, ٢). الأمعاء الغليظة. تهضم البكتريا جزءًا من الألياف الغذائية وغيرها من الكربوهيدرات التي لم تهضم تحدث الغازات والأحماض. وبامتصاص الماء والمعادن تتكون أشكال من الإخراج.

ويكون مرور المحتويات داخل الجهاز الهضمي بطيئًا في منطقة الأمعاء الغليظة بحيث تستغرق عادة من ١٨ وحتى ٢٤ ساعة للمرور. وتخضع محتويات الأمعاء إلى البكتيريا التي تساعد في استمرار هضم بعض المواد الغذائية غير المهضومة أو المتصة، وأيضًا إنتاج الغازات المعوية وبعض الفيتامينات والتي تمتص مع المياه الزائدة عبر القولون. ويساعد امتصاص الماء في القولون على تحويل الفضلات المتبقية إلى مادة صلبة، بحيث يصل إلى المستقيم وهو مادة صلبة بنسبة ٦٠٪ وماء بنسبة ٤٠٪. المستقيم هو مكان تخزين الفضلات حتي يتم الإخراج. وفيما يلي شرح تفصيليٌّ لكيف وأين يتم هضم وامتصاص كل مادة غذائية.

ثانيًا: كيف يتم هضم، ونقل، وامتصاص المواد الكربوهيدراتية واستيعابها داخل الجسم؟

هناك العديد من الأنواع المختلفة من الكربوهيدرات في الأغذية، والقاسم المشترك فيما بينها أن بنيتها مكونة من السكريات البسيطة والتي تعرف بالسكريات الأحادية "Monosaccharide". وتصنف الكربوهيدرات بعدد السكريات البسيطة التي تدخل في تركيبها. وعلى سبيل المثال السكريات الثنائية "disaccharides" تتكون من ذرتين من السكريات الأحادية المرتبطة.

السكريات المتعددة "Oligosaccharides" تتركب من ٣ إلى ١٠ ذرات سكريات أحادية. والسكريات المعقدة "Polysaccharides" وتعرف بالكربوهيدرات تعتبر أكثر تعقيدًا فهي تتكون من ١١ ذرة أو أكثر من السكريات الأحادية.

obeikandl.com

السكريات الأحادية "Monosaccharide"
هي البنية الأساسية للكربوهيدرات.

السكريات الثنائية "Disaccharide"
بسيطة وتتركب من ذرتين من السكريات الأحادية.

السكريات المتعددة "Oligosaccharide"
أكثر تعقيداً وتتركب من ٣ إلى ١٠ ذرات من السكريات الأحادية.

السكريات المعقدة "Polysaccharide"
أكثر تعقيداً وتتركب من ١١ أو أكثر من السكريات الأحادية مثل الجليكوجين.

والجلوكوز هو أحد أهم السكريات الأحادية لجسم الإنسان. وللحصول على الجلوكوز من المواد الكربوهيدراتية المتناولة يجب أن تمر بعملية لهضمها والتي تكسر المواد الكربوهيدراتية إلى السكريات المكونة لها بحيث يمكن امتصاصها واستخدامها في خلايا الجسم.

ماذا يحدث للكربوهيدرات بمجرد دخولها إلى الفم؟

تبدأ عملية الهضم بالحركات الميكانيكية الخاصة بالمضغ وإنزيم اللعاب الذي يفرز من الغدد اللعابية. ويحتوي اللعاب على إنزيم الأميليز الذي يبدأ في تكسير المواد النشوية إلى سكريات أحادية. النشا هو النوع الوحيد من الكربوهيدرات، بالإضافة إلى الدهون من المواد الغذائية التي يبدأ تكسيره في الفم عن طريق اللعاب. وعلى الرغم من بداية الهضم في الفم ، فجزء قليل جدًّا من النشا يتم تكسيره كليًّا إلى جلوكوز قبل مرحلة البلع والدخول إلى المريء. وخلال الفترة القصيرة التي يمر فيها النشا داخل المريء يُتابع الأميليز تكسير النشا.

وبمجرد دخول الطعام إلى المعدة، تتعرض المواد الغذائية لحامض الهيدروكلوريك، ويتوقف عمل إنزيم الأميليز وهضم المواد النشوية، وتبدأ حركة المعدة الميكانيكية في هضم الطعام من خلال التقلصات والتموجات للعضلات الملساء على جدار المعدة. وهذه الحركة تمزج المواد الغذائية مع حامض الهيدروكلوريك، وعادة تستمر من ١ – ٤ ساعات وحتى يمر الغذاء إلى الأمعاء الدقيقة.

ولا يتم امتصاص المواد الكربوهيدراتية أو المواد الأخرى في المعدة باستثناء الكحول (الشكل ٢,٧).

يحدث الجزء الأكبر من عملية هضم وامتصاص المواد الكربوهيدراتية والمواد الغذائية الأخرى داخل الأمعاء الدقيقة. وفي الاثني عشر يتعرض الغذاء إلى الإنزيمات الهاضمة من المرارة والبنكرياس وخلايا الأمعاء الدقيقة (انظر الشكل ٢,٤).

ويفرز البنكرياس إنزيم أميليز البنكرياس والذي يساعد في عملية هضم النشا وتحويله إلى سكريات ثنائية (المالتوز). وتحتوي الخلايا المخاطية والزوائد في الأمعاء الدقيقة على إنزيمات خاصة بها "Brush border" تعمل على تكسير الطعام بمجرد دخوله إلى الأمعاء الدقيقة وتحويل السكريات الثنائية إلى سكريات أحادية بحيث تكون جاهزة للامتصاص. وهناك مجموعة

obeikandl.com

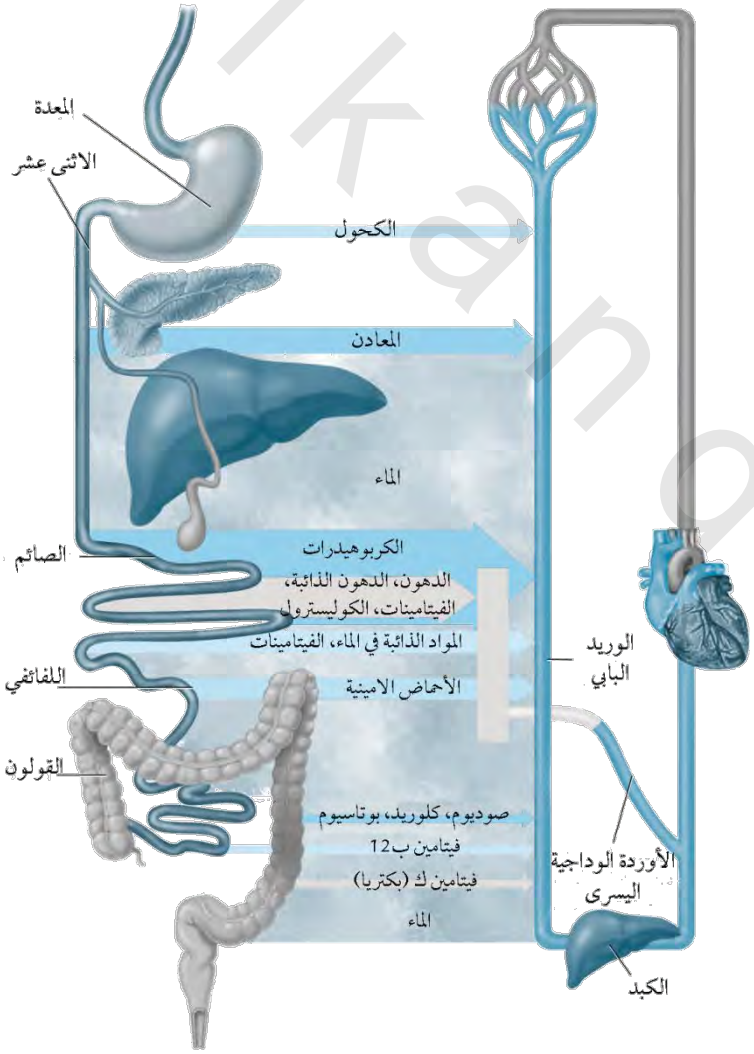
إنزيم المالتيز "Maltase"
من الإنزيمات الهاضمة يكسر سكر المالتوز إلى ذرتين من الجلوكوز.

إنزيم سكراز "Sucrose"
يكسر السكروز إلى جلوكوز وفركتوز.

إنزيم اللاكتاز "Lactase"
يكسر اللاكتوز إلى سكريات أحادية، جلوكوز وجلاكتوز.

متنوعة من الإنزيمات تعمل على هضم الكربوهيدرات مثل إنزيم المالتيز "Maltase" الذي يكسر سكر المالتوز إلى ذرتين من الجلوكوز، وإنزيم سكراز "Sucrose" الذي يكسر السكروز إلى جلوكوز وفركتوز. وإنزيم اللاكتاز "Lactase" الذي يكسر اللاكتوز إلى جلوكوز وجلاكتوز. وبعد هضم الإنزيمات للمواد الكربوهيدراتية يتم امتصاص السكريات البسيطة الناتجة من خلال جدار الأمعاء في الصائم واللفائفي العلوي (انظر الشكل ٢,٧) ثم تدخل إلى مجرى الدم.

وعندما يفتقد الأفراد لإمدادات كافية من إنزيم اللاكتاز في الأمعاء فتقل لديهم القدرة على تكسير اللاكتوز (سكر الحليب). ونتيجة لذلك يذهب اللاكتوز إلى الأمعاء الغليظة بدون هضم حيث يتعرض للبكتريا. وتخمر البكتريا اللاكتوز في القولون مما يحدث انتفاخات وغازات. فتناول منتجات الألبان التي يضاف إليها اللاكتاز يمكن أن يقلل أو يقضي على هذه الأعراض. أما السكريات المعقدة غير الممتصة وغير المهضومة، مثل الألياف، والتي تخرج من الأمعاء الدقيقة وتدخل الأمعاء الغليظة فتقوم البكتريا بهضمها مع إحداث



الشكل (٢,٧). امتصاص المواد الغذائية.

obeikandl.com

بعض الغازات. ومع ذلك لن يحدث امتصاص للكربوهيدرات في الأمعاء الغليظة، وبالتالي فإن أي كربوهيدرات متبقية تمر عبر النظام يتم خروجها على شكل براز. الشكل (٢,٧) يوضح ملخصًا بالرسم لكيفية امتصاص العناصر الغذائية، وأن معظم الكربوهيدرات تمتص في جزء الصائم.

كيف يتم امتصاص السكريات البسيطة في جدار الأمعاء؟

هناك أربع طرق لامتصاص المواد الغذائية داخل الأمعاء: الانتشار السلبي، والانتشار بالمساعدة، والنقل النشط، وطريقة الالتقاط (انظر الشكل ٢,٨). وفيما يلي لمحة موجزة عن كيفية استخدام هذه العمليات لامتصاص واستيعاب الكربوهيدرات.

الانتشار السلبي "Passive Diffusion":

يرتبط بحركة الجزيئات خلال أغشية الخلية بناءً على الاختلاف في التركيز. والانتشار السلبي هو آلية لا تعتمد على الطاقة للامتصاص والجزيئات تتحرك دائمًا من التركيز العالي إلى التركيز المنخفض. وكلما زاد التركيز بين الجزيئات زادت حركة الجزيئات عبر الغشاء. ويمكن أن تنتقل الجزيئات داخل الخلايا عن طريق الانتشار السلبي من خلال غشاء الخلية أو تمر عبر قنوات بروتينية في غشاء الخلية (انظر الشكل ٢,٨أ). ونظرًا لأن أغشية الخلايا تتكون من المواد الدهنية، فالدهون والمواد التي تذوب في الدهون مثل الأكسجين، وثاني أكسيد الكربون، والكحول يمكن أن تمر مباشرة من خلال الأغشية بطريقة الانتشار السلبي. وبالعكس تنتشر المياه بشكل سلبي عبر الأغشية باستخدام قنوات البروتين في أغشية الخلايا. وعلى عكس المياه لا يتم امتصاص المواد المغذية، والتي تذوب في الماء مثل الكربوهيدرات، والأحماض الأمينية، والمعادن والفيتامينات عن طريق الانتشار السلبي ولكن يجب أن تعتمد على شكل أخر من أشكال الانتقال والمعروفة باسم الانتشار بالمساعدة.

الانتشار السلبي
"Passive diffusion"
وسيلة من وسائل الامتصاص في الخلية والتي تكون حركة الجزيئات فيها معتمدة على الفرق في التركيز.

الانتشار بالمساعدة "Facilitated Diffusion"

يشبه الانتشار السلبي في أنه لا يتطلب طاقة، وانتقال الجزيئات يكون من التركيز الأعلى إلى التركيز المنخفض. ولكن يجب أن تنتقل الجزيئات عبر الغشاء بواسطة ناقلات بروتينية (انظر الشكل ٢,٨ب). ويمتص الفركتوز (أحادي السكريات) عن طريق الانتشار بالمساعدة، ولكن

الانتشار بالمساعدة
"facilitated diffusion"
وسيلة من وسائل الامتصاص في الخلية والتي يكون فيها البروتينات الناقلة مطلوبة لتحريك الجزيءيات خلال الخلايا معتمدة على الفرق في التركيز.

openkanaan.com

بسبب مروره من خلال الأغشية اعتمادًا على الفرق في التركيز فيكون امتصاصه أبطأ من تلك السكريات الأحادية الأخرى مثل الجلوكوز والجلاكتوز والتي يتم امتصاصها عن طريق النقل النشط.

النقل النشط "Active Transport":

النقل النشط هو شكل من أشكال الامتصاص يتطلب طاقة كما يتطلب وجود بروتين ناقل، ولكن بخلاف الانتشار بالمساعدة فإن المواد الغذائية المأخوذة لا يعتمد على درجة الفرق في التركيز (انظر الشكل ٨, ٢ج). ونتيجة لذلك يمكن نقل الجزيئات بطريقة نشطة في الخلية على الرغم من تركيزها في الداخل. ويتم امتصاص السكريات الأحادية الجلوكوز والجلاكتوز عبر بطانة الأمعاء عن طريق النقل النشط.

النقل النشط "Active transport"
شكل من أشكال الامتصاص يتطلب طاقة كما يتطلب وجود بروتين ناقل. ولا يعتمد على درجة الفرق في التركيز.

البروتين الناقل "SGLUT1". ولكي ينقل هذه السكريات البسيطة من خلال غشاء الخلية المعوية يجب أن يرتبط أولًا بالصوديوم. وبالعكس إذا لم تتوفر السكريات لا يتم الاتحاد مع الصوديوم. وبعبارة أخرى ، البروتين الناقل "SGLUT1" يجب أن يتحد مع كل من الصوديوم والسكريات حتى يتم النقل في الخلية. وهذا هو السبب في أن كتب علم وظائف الأعضاء تشير إلى هذه العملية بوصفها اتحاد العنصرين الصوديوم والسكر معًا. "Glucose-sodium symport"

طريقة الالتقاط "Endocytosis":

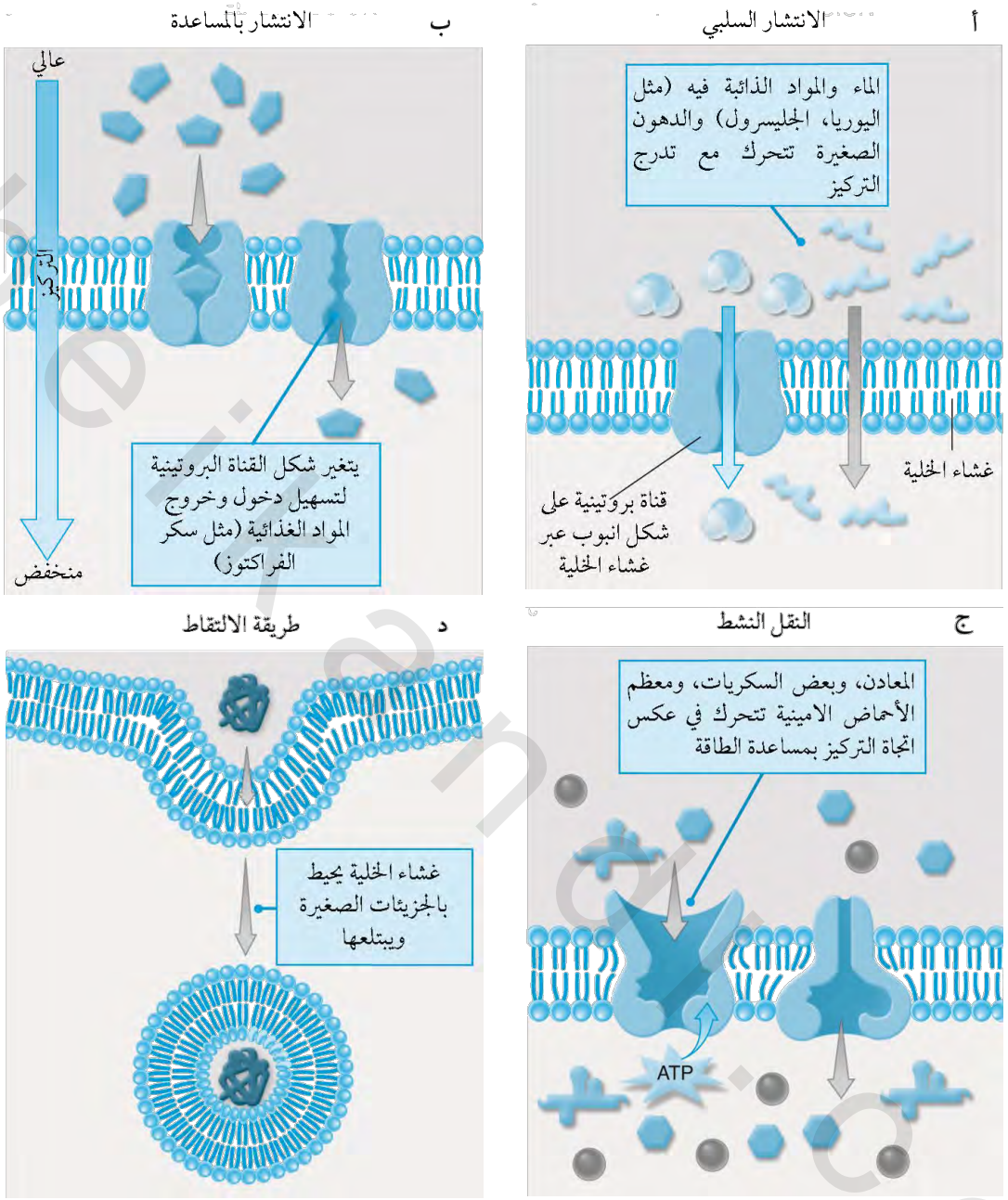
هي وسيلة من وسائل الامتصاص الخلوية والتي فيها غشاء الخلية يحيط الجزيئات ويستوعبها (انظر الشكل ٨, ٢د). وعلى الرغم من أن هذه العملية تتم في خلايا بطانة الجهاز الهضمي، لكنها ليست عملية خاصة لامتصاص الكربوهيدرات. ومن الطرق الأربع لاستيعاب المواد الغذائية، الانتشار بالمساعدة والنقل النشط يفسران عملية امتصاص الكربوهيدرات داخل خلايا بطانة الأمعاء الدقيقة.

طريقة الالتقاط "Endocytosis"
وسيلة من وسائل الامتصاص في الخلية والتي فيها غشاء الخلية يحيط بالجزيئات ويستوعبها داخل الخلية.

ماذا يحدث للكربوهيدرات عند الدخول إلى الدم؟

بمجرد أن تعبر جزيئات السكر البسيطة أغشية الخلايا المعوية وتدخل الدم، يتم نقلها إلى الكبد عن طريق نظام البوابة الكبدية. وهذا النظام هو عبارة عن شبكة من الأوعية الدموية التي تقوم بجمع المواد الغذائية الممتصة من الأمعاء الدقيقة والغليظة وتسليمها إلى الكبد (انظر الشكل ٧, ٢). ولا يلزم أن يكون هناك ناقلًا بروتينيًّا خاصًّا لنقل السكريات في مجرى الدم؛ وذلك لأنها قابلة للذوبان في الماء؛

openkandi.com



الشكل (٨, ٢). طرق امتصاص المواد الغذائية: (أ) الانتشار السلبي: بعض المواد الغذائية تتحرك داخل وخارج الخلايا إما من خلال قنوات البروتين وإما من خلال جدار الخلية مباشرةً. (ب) الانتشار بالمساعدة: بعض المواد تحتاج إلى القليل من المساعدة للدخول والخروج من الخلايا ، ويساعد البروتين في العبور من خلال تغيير الشكل. (ج) النقل النشط: بعض المواد تحتاج إلى الكثير من المساعدة للعبور، مثل السباحة عكس التيار ، فتحتاج إلى طاقة للتغلب على فرق التركيز والعبور. (د) طريقة الالتقاط: الخلايا قد تستخدم الغشاء الخاص بها لكي تحيط بالمواد وتدخلها في داخلها، فينفصل جزء من غشاء الخلية ويحيط بالمواد.

obeikandl.com

(أي بلازما الدم). وبمجرد وصول السكريات البسيطة بالدم إلى خلايا الكبد ، تلك التي ليست في شكل الجلوكوز (على سبيل المثال: سكر الفراكتوز، والجلاكتوز) يتم تحويلها إلى جلوكوز. ويتم استخدامه أو تحويله إلى جليكوجين في خلايا الكبد أو إعادتها إلى مجرى الدم.

إن ارتفاع جلوكوز الدم بعد تناول الكربوهيدرات يستثير إفراز الإنسولين، وهو هرمون يفرز من خلايا خاصة في البنكرياس تعرف بخلايا بيتا. ويسبب إفراز الإنسولين في الأوعية الدموية في أن تبدأ نواقل الجلوكوز البروتينية (انظر المقطع القادم) الموجودة ضمن غشاء الخلية في العضلة والأنسجة الأخرى في التقاط الجلوكوز ونظريًا تمنع ارتفاع مستويات الجلوكوز. ومرض السكر يحدث عندما تفشل خلايا بيتا في إنتاج الكمية الكافية من الإنسولين لخفض مستويات سكر الدم، أو تنتج خلايا بيتا الإنسولين ولكن لا تستجيب له خلايا الجسم. وتكون النتيجة النهائية هي مستويات عالية غير طبيعية من جلوكوز الدم وفي بعض الأحيان يزيد عن ٢ إلى ٤ مرات عن المستويات الطبيعية.

الجليكوجين "Glycogen"
شكل من أشكال تخزين الكربوهيدرات في الخلايا الحيوانية. يتكون الجليكوجين من سلسلة مرتبطة من جزيئات الجلوكوز.

ماذا يحدث للكربوهيدرات عند الدخول إلى خلايا الجسم؟

بمجرد نقل الجلوكوز إلى أنسجة الجسم المختلفة ، مثل العضلات ، فإنها تدخل داخل الخلايا لكي تستخدم في إنتاج الطاقة أو تخزن. وكمثل عملية الامتصاص في الأمعاء ينتقل الجلوكوز عبر غشاء الخلية عن طريق النقل النشط بمساعدة البروتينات المتخصصة.

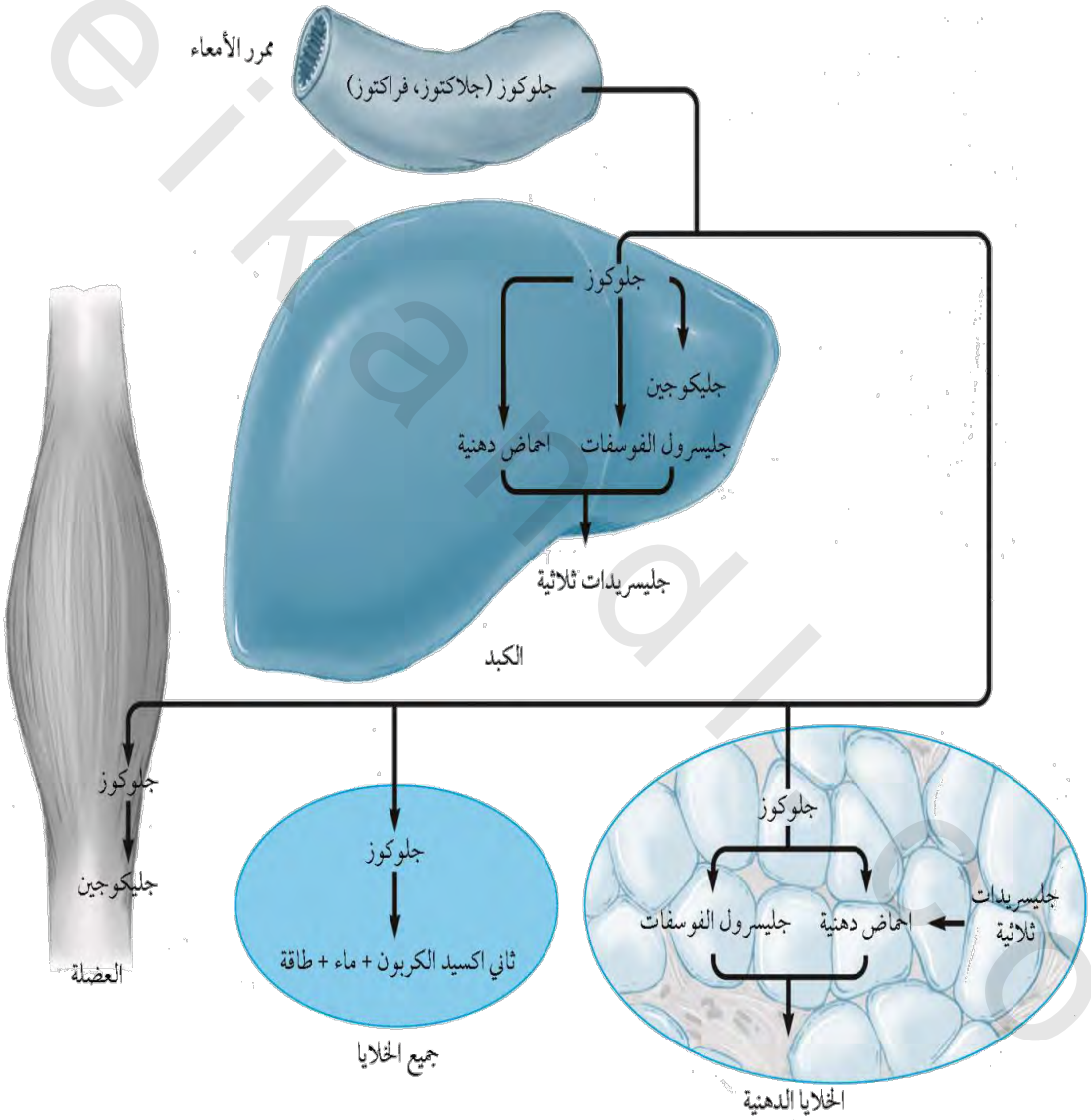
الناقلات البروتينية "Glucose transporters"
أغشية بروتينية متخصصة لنقل الجلوكوز إلى داخل الخلايا العضلية.

ويطلق على هذه البروتينات المتخصصة بناقلات الجلوكوز "Glucose transporters" (GLUT) وهي موجودة في جميع خلايا الجسم. وتوجد عدة أنواع مختلفة من ناقلات الجلوكوز والموجودة في الأنسجة المختلفة في جميع أنحاء الجسم. وفيما يتعلق بالعضلات، يطلق على هذه الناقلات (GLUT1) و(GLUT4). وعندما تكون مستويات الجلوكوز والإنسولين مرتفعة داخل الدم (على سبيل المثال بعد تناول وجبة)، أو في وقت الراحة، أو عندما تكون مستويات هورمون الإنسولين منخفضة؛ فإن معظم الجلوكوز يدخل إلى خلايا العضلة عن طريق الناقل (GLUT1). وعند نشاط العضلات (ممارسة الرياضة) يتم تحفيز البروتين الناقل (GLUT4) ويصبح هو الناقل الرئيسي

obeikandl.com

للجلوكـوز في خلايـا العضـلات. وبمجـرد دخـول الجلوكوز داخل الخلية ، فهناك ثلاثة احتمالات. إما أن يتم تخزينه عـلى هيئـة جليكـوجين في العضـلات وإمـا تحويله إلى دهون وتخزينه على شكل أنسجة دهنية وإمـا أن يسـتخدم للحصـول عـلى الطاقـة (انظـر الشـكل ٩ , ٢). وإذا تم تخزينه، فيمكن ربط جزيء الجلوكـوز إلى جزيئات جلوكـوز أخـرى لتشـكيل الجليكـوجين، والذي يكون أكثر تعقيدًا من الجلوكوز.

ويبقـى الجلوكـوز عـلى هيئـة جليكـوجين لحـين احتياجه في استخراج الطاقة.



الشكل (٩ , ٢). رسم يوضح الجلوكوز وعمليات التمثيل الأخرى لأحد الأفراد بعد تناول وجبة. *المصدر*:

Brooks GA, Fahey TD, Baldwin K. *Exercise Physiology: Human Bioenergetics and Its Applications*, 4th Edition. Boston, MA: McGraw-Hill; 2006. Reproduced with permission of the McGraw-Hill Companies.

openkandil.com

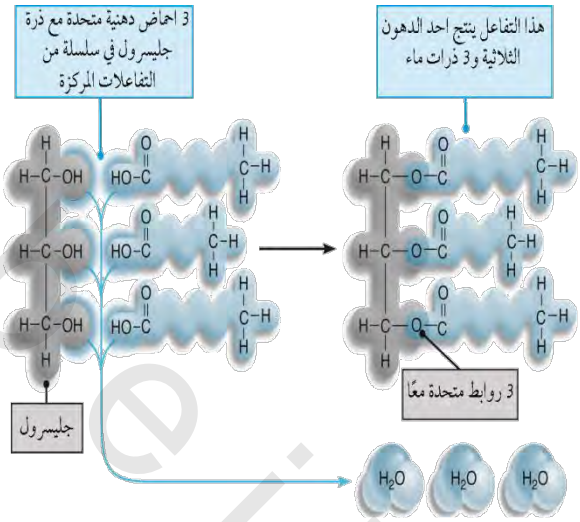
ثالثًا: كيف يتم هضم، ونقل، وامتصاص المواد الدهنية واستيعابها داخل الجسم؟

بالرغم من أن الدهون تتركب من ذرات من الكربون، والهيدروجين، والأكسجين مثل الكربوهيدرات ولكن لديها هياكل كيميائية وخصائص فيزيائية مختلفة جدًّا. فالدهون عبارة عن ذرات تنتمي إلى مجموعة من المركبات المعروفة باسم الليبيدات، وهي من المركبات العضوية التي لا تذوب في الماء ولها ملمس دهني. ومصادر الدهون الغذائية هي الزبدة، والسمن النباتي، توابل السلطة، والزيوت. وتوجد أيضا في اللحوم ومنتجات الألبان، والمكسرات، والبذور والزيتون والأفوكادو، وبعض منتجات الحبوب.

الليبيدات "lipids"
أحد المركبات العضوية التي لاتذوب في الماء، ذات ملمس دهني. الليبيدات عادةً يطلق عليها الدهون وتوجد في الجسم على شكل جلسيريدات ثلاثية.

ومعظم الدهون الغذائية موجودة في شكل دهون ثلاثية؛ ونتيجة لذلك سيتم التركيز في المناقشة التالية على عمليات الهضم والامتصاص والنقل واستيعاب الدهون الثلاثية (انظر الشكل ٢,١٠).

الجليسريدات الثلاثية "Triglyceride"
هي ليبيدات تتألف من ذرة جلسيرول متحدة مع ثلاث ذرات أحماض دهنية.



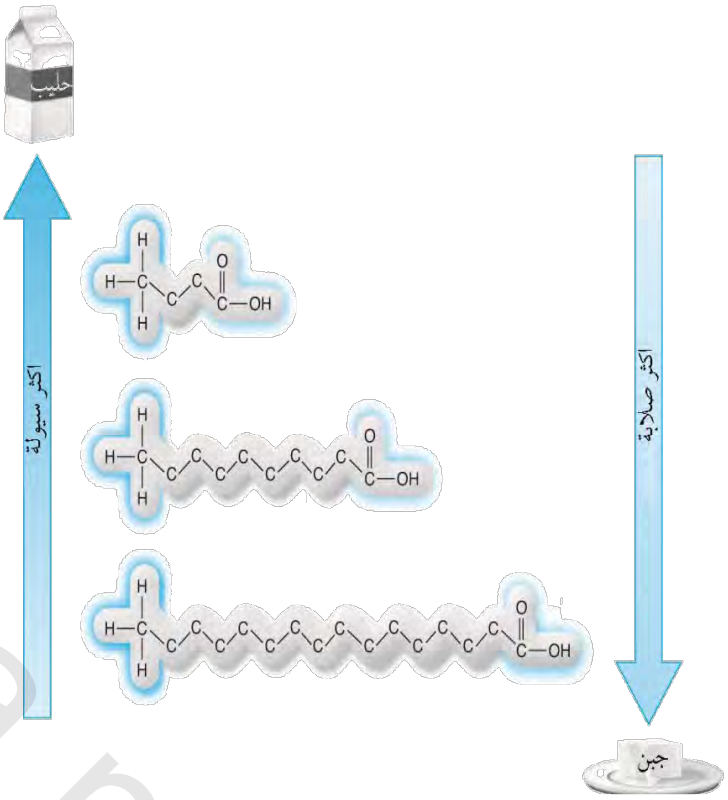
الشكل (٢,١٠). تكوين الدهون الثلاثية. تأثير التركيز يدمج ثلاث ذرات أحماض دهنية مع ذرة جليسرول لتكوين دهون ثلاثية.

الأحماض الدهنية هي أساسًا ذرات كربون تتحد معًا بطريقة كما في السلسلة (انظر الشكل ٢,١١). وهذه السلسلة من الكربون لها أطوال مختلفة ويمكن تصنيف الأحماض الدهنية إلى قصيرة (٤ أو أقل من ذرات الكربون) أو متوسطة (٦-١٠ من ذرات الكربون) أو طويلة (≤ ١٢ من ذرات الكربون). أثناء هضم الدهون الثلاثية قد يتم فصل أحد الأحماض الدهنية من هذه السلسلة أو اثنين منها، ويتبقى جلسيريدات أحادية أو ثنائية.

الجليسريدات الثنائية "Diglyceride"
هي ليبيدات تتألف من ذرة جلسيرول متحدة مع ذرتين من الأحماض الدهنية.

الجليسريدات الأحادية "Monoglyceride"
هي ليبيدات تتألف من ذرة جليسرول متحدة مع حمض دهني واحد.

openkandi.com



الشكل (١١ , ٢).الأحماض الدهنية تختلف في الطول ويمكن أن تصنف على أنها قصيرة أو متوسطة أو طويلة. كلما زاد طول الأحماض الدهنية كانت

والأحماض الدهنية التي تم انفصالها يطلق عليها الأحماض الدهنية الحرة. فهضم وامتصاص ونقل الدهون يكون أكثر تعقيدًا من المواد الغذائية الكبيرة الأخرى بسبب صعوبة ذوبان الدهون في الماء. وعلى سبيل المثال أغلبية الإنزيمات المشاركة في الهضم تذوب في الماء وفي ظل الظروف العادية هذا العمل يؤثر بشكل فعال على الدهون. ومع ذلك فإن الجهاز الهضمي بالجسم يعرض الدهون إلى مستحلبات لحل هذه القضية وإتاحة الفرصة للإنزيمات بأداء واجبها في الهضم. والمستحلبات هي مواد تكسر الدهون إلى كرات صغيرة جدًّا جدًّا، والتي تبقى في المحيط المائي في الأمعاء مما يسمح بزيادة المساحة المعرضة إلى الإنزيمات الهاضمة. وبدون هذه المستحلبات فإن الدهون تميل إلى التجمع معًا في كتل كبيرة على شكل عصا؛ مما يجعل من الصعوبة على الإنزيمات في أداء وظائفها. وكما ذكر سابقًا تتركز المناقشات التالية على هضم الدهون الثلاثية.

المستحلب "emulsifier"
مادة تكسر الدهون إلى أجزاء صغيرة جدا جدا حتى يمكن التحكم فيها داخل الوسط المائي.

ماذا يحدث للدهون بمجرد دخولها إلى الفم؟

تكسر عملية المضغ الدهون إلى أجزاء أصغر بينما إنزيم الليبيز الفمي يبدأ العملية الإنزيمية. ومع ذلك؛ لأن الغذاء يبقى في الفم لوقت قصير نسبيًّا من الزمن قبل أن يتم بلعه فعملية هضم الدهون في الفم تصبح ضعيفة جدًّا. وعند بلع الطعام يستمر عمل إنزيم الليبيز حتى يصبح الطعام في المعدة ويتحد مع حامض المعدة. وتفرز بطانة المعدة الليبيز المعدي والذي يعمل على استمرار هضم المواد الدهنية. ويكسر الليبيز المعدي الدهون الثلاثية إلى ثنائية ؛ مما يساعد كمستحلب في عملية الهضم.

openkandi.com

وتساعد أيضًا التقلصات والتموجات العضلية في جدار المعدة على تفكيك القطع الكبيرة من الطعام، وتساعد بالاشتراك مع المستحلبات على عدم تأخير فصل الدهون.

وبعد من ٢ إلى ٤ ساعة في المعدة يكون ما يقرب من ثلث الدهون الثلاثية تم تقسيمها إلى دهون ثنائية وأحماض دهنية حره[1]. وعندما تصل المواد الغذائية إلى الأمعاء الدقيقة، فإنها تحفز خلايا الاثني عشر لإفراز المزيد من الهرمونات، والتي تساعد في عملية الهضم. وهرمون الكوليسيستوكينين "Cholecystokinin" (CCK) يحفز المرارة لإفراز العصارة الصفراء والتي تصب في الاثني عشر (انظر الشكل ٤ , ٢). العصارة الصفراوية مهمة في عملية هضم الدهون؛ لأنها تحتوي على الأملاح الصفراوية والليسيثين (وهو نوع من الدهون) ، والتي تجعل الدهون في شكل مستحلب ليسهل على الإنزيمات الهاضمة في الوسط المائي أن تستمر في القيام بعملها.

ويفرز هرمون سيكريتين "Secretin" من خلايا الاثني عشر، ويحفز البنكرياس لإطلاق سراح البيكربونات الذي يعادل حموضة محتويات الأمعاء. ومعادلة الحموضة تمنع تخثر الإنزيمات البروتينية، مثل ليبيز البنكرياس وغيرها من الإنزيمات الهاضمة؛ مما يسمح لها بالعمل في هضم الأطعمة. ويتم تحرير إنزيم ليبيز البنكرياس بكميات كبيرة لإتمام عملية هضم الدهون وتكسير ما تبقى من الدهون الثلاثية إلى جليسرول ودهون أحادية وأحماض دهنية حرة بأطوال مختلفة.

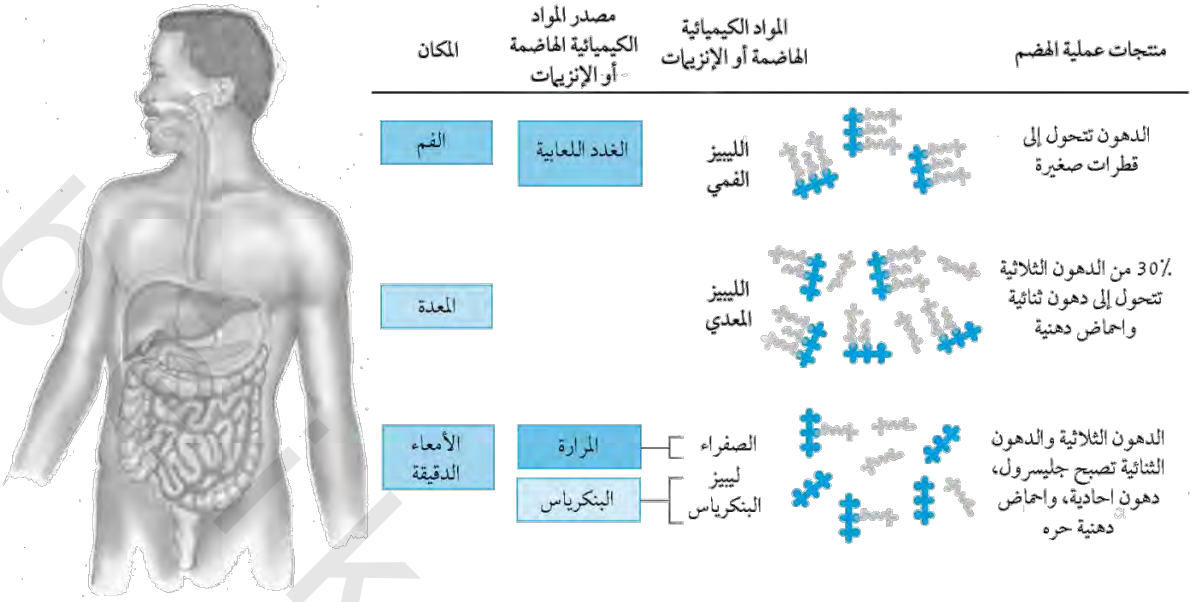
ليبيز البنكرياس "Pancreatic lipase"
إنزيم يُفرز من البنكرياس في الاثني عشر يعمل على تكسير الدهون الثلاثية.

ويتم امتصاص سلاسل الأحماض الدهنية القصيرة والمتوسطة والتي تذوب في الماء في بطانة الأمعاء عن طريق الانتشار السلبي. أما الدهون الأحادية وسلاسل الأحماض الدهنية الحرة، والتي لا تذوب في الماء فتضاف إليها أملاح العصارة الصفراوية، وتشكل فقاعات مجهرية والتي تعرف باسم المذيلات "micelles". والمذيلات تنقل سلاسل الأحماض الدهنية الطويلة والدهون الأحادية إلى الخلايا المبطنة لجدران الأمعاء، وفي هذا الوقت يتم إطلاق سراحها من المذيلات وانتشارها بشكل سلبي داخل الخلايا المعوية. يوضح (الشكل ١٢ , ٢) ملخصًا لهضم الدهون الثلاثية.

الأحماض الدهنية الحرة "Free fatty acid"
تتركب من سلسلة طويلة من المركبات الكربوهيدروجينية والتي تحتوي على مجموعة من الكربوكسيل في طرف ومجموعة من الميثيل في الطرف الأخر. وتتشكل الأحماض الدهنية عند خروج أحد الأحماض الدهنية من أحد من الدهون الثلاثية.

المذيلات "micelles"
تتكون من فقاعات صغيرة من الدهون الأحادية وسلاسل الأحماض الدهنية الطويلة محاطة بأملاح الصفراء ، وتساعد في نقل الدهون إلى جدار الأمعاء الدقيقة.

openkanal.com



الشكل (١٢ , ٢). عملية هضم الدهون الثلاثية. معظم هضم الدهون الثلاثية تتم في الأمعاء الدقيقة.

وبوصول المحتويات الغذائية إلى الأمعاء الغليظة يكون الجزء الأكبر من الدهون قد تم هضمه وامتصاصه. وقد يتم العثور على كميات ضئيلة من الدهون في الأمعاء الغليظة أو عند خروجها مع البراز. ومع ذلك، يمكن في بعض الحالات المرضية أو بسبب سوء امتصاص الدهون أن تؤدي إلى إسهال دهني "Steatorrhea" في البراز. والعلاج الإشعاعي للسرطان، والجراحات التي تتطلب إزالة جزء كبير من الأمعاء الدقيقة، ومرض كرون"Crohn's disease" ، والتليف الكيسي يمكن أن يسبب أيضًا في سوء امتصاص جميع الدهون.

ماذا يحدث للدهون بمجرد أن يتم امتصاصها؟

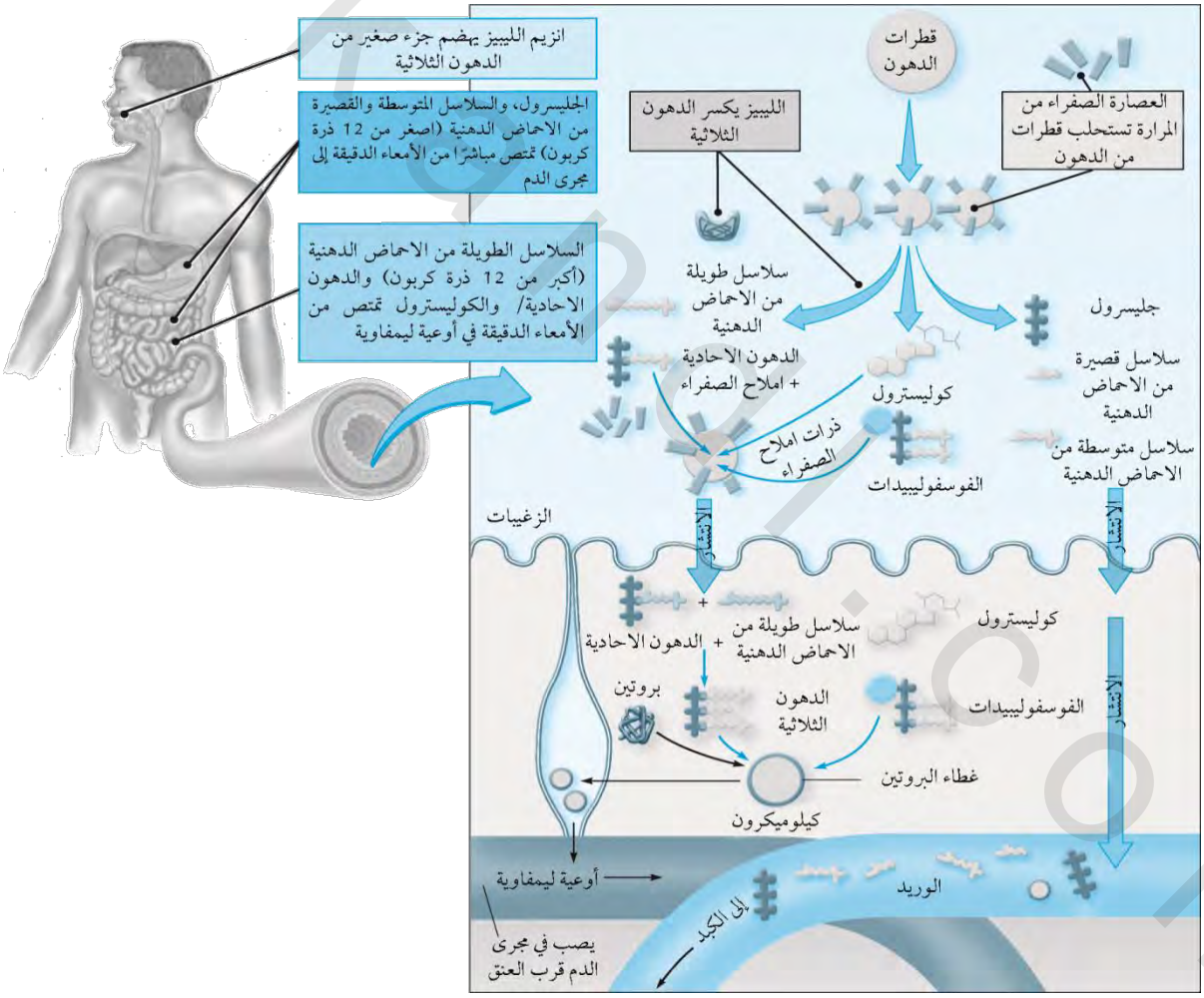
بمجرد أن يتم امتصاصها يمر الجليسرول الذائب في الماء وسلاسل الأحماض الدهنية القصيرة والمتوسطة عبر الخلايا المعوية وتنتشر في الأوعية الدموية؛ وبالتالي تدخل مباشرة إلى مجرى الدم (انظر الشكل ١٣ , ٢).

وتتم إعادة وتجميع الدهون الأحادية والسلاسل الطويلة من الأحماض الدهنية إلى دهون ثلاثية داخل الخلايا المعوية. ودمج الدهون الثلاثية مع حوامل بروتينية لتكوين البروتينات الدهنية "Lipoproteins". وهذه البروتينات الدهنية مع الدهون تمر من خلال الخلايا المعوية. وعند مغادرتهم الخلايا المعوية تسمى كيلوميكرونًا "Chylomicrons". هذه الكيلوميكرون لا تدخل مباشرة إلى مجرى الدم ، ولكن بدلًا من ذلك تدخل في النظام الليفاوي (انظر الشكل ١٣ , ٢). والجهاز الليمفاوي يوصل الكيلوميكرون إلى الأوردة

الكبيرة الموجودة في الرقبة عبر القناة الصدرية. وتدخل بذلك الدهون إلى الدم وتوزع إلى جميع أنحاء الجسم.

ماذا يحدث للدهون بمجرد أن تدخل خلايا الجسم؟

الدهون لها وظائف عديدة في الجسم، وسوف نتناولها بشكل تفصيلي في الفصل الرابع. ولكن من وجهة النظر البيولوجية في انتقال الطاقة، وحالة الجسم، ونوع الخلايا والحاجة إلي الطاقة ، فبمجرد دخول الدهون إلى الخلايا إما أن تستخدم في الحصول على الطاقة وإما أن يتم تخزينها لاستخدامها لاحقًا. وعلى سبيل المثال، إذا كان احتياجات الطاقة قليلة فإن الكيلوميكرونات الموجودة بالدم "Chylomicrons" وما تحمله من دهون داخل الشعيرات الدموية في الخلايا الدهنية أو الكبد يفرز عليها إنزيمًا من جدار الشعيرات الدموية يطلق عليه الليبيز البروتيني الدهني (الليبوبروتين) "Lipoprotein Lipase" (LPL).



الشكل (١٣ , ٢). يوضح ملخصًا لامتصاص الليبيدات.

هذا الليبيز البروتيني الدهني (LPL) يكسر الدهون الثلاثية داخل الكيلوميكرون إلى أحماض دهنية وجلسرين (جليسرول). الأحماض الدهنية الحرة تنتشر فورًا في الخلايا الدهنية أو خلايا الكبد، حيث إنها تعاد مرة أخرى بالاتحاد مع جلسيرول جديد من داخل الخلايا، ومرة أخرى يعاد تكوين دهون ثلاثية جديدة تتم إعادة تخزينها لحين الحاجة إليها كطاقة.

ليبيز البروتين الدهني "lipoprotein lipase"
إنزيم متخصص لتكسير الجلسيريدات الثلاثية إلى جلسيرول وأحماض دهنية حرة.

ومن ناحية أخرى، إذا كانت العضلات نشطة وتحتاج إلى طاقة، فالأحماض الدهنية الحرة والكيلوميكرونات داخل الدم تدخل الشعيرات الدموية في العضلات، وتستخدم للحصول على الطاقة.

ويعمل الليبوبروتين (LPL) في الشعيرات الدموية داخل العضلات على الدهون الثلاثية في الكيلوميكرون بنفس الطريقة مثل الخلايا الدهنية. والأحماض الدهنية الحرة في الدم بالإضافة إلى الأحماض الدهنية التي يتم إطلاقها من الكيلوميكرون يتم نقلها خلال جدار الخلية العضلية وداخل الخلية لاستخدامها في إنتاج الطاقة.

رابعًا: كيف يتم هضم، ونقل، وامتصاص المواد البروتينية واستيعابها داخل الجسم؟

تعتبر البروتينات من المواد الغذائية الثلاثة الكبيرة (Macronutrients)، والأقل استخدامًا في الجسم كمصدر كيميائي لإنتاج الطاقة، إلا أنها تلعب الدور الأكبر في توفير بنية الجسم. وتشكل البروتينات أيضًا الإنزيمات الهامة للآلاف من التفاعلات الكيميائية اللازمة لاستمرار الحياة. وتتكون البروتينات من اللبنات الأساسية، والتي يطلق عليها الأحماض الأمينية. والبروتينات المهمة لجسم الإنسان تتكون من ٢٠ حمضًا أمينيًّا مختلفًا. ولعمل البروتينات المطلوبة، يجب توفير الأحماض الأمينية الأساسية في الوجبة الغذائية. وسوف نوضح في التالي كيف يتم هضم البروتينات الغذائية والاستفادة منها في الجسم. ويمكن الاطلاع على مزيد من النقاش المتعمق لدور البروتينات في الفصل الخامس من هذا الكتاب.

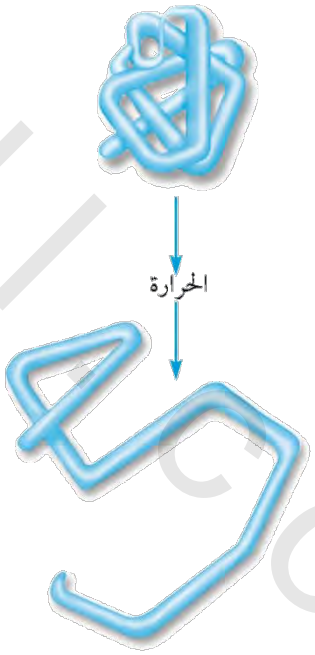
ماذا يحدث للبروتينات بمجرد دخولها إلى الفم؟

مرة أخرى يبدأ الهضم بعملية المضغ، ولكن بخلاف الكربوهيدرات والدهون التي تخضع لإفراز الإنزيمات الهاضمة الموجودة في اللعاب فالبروتينات لا تخضع لعملية الهضم الإنزيمي في الفم. وغالبية عملية هضم البروتين تتم في الجزء العلوي من المعدة والأمعاء الدقيقة بواسطة حمض الهيدروكلوريك (HCL)، والذي يفرز من بطانة المعدة.

openkandi.com

وتكسير البروتينات "Denaturation" هي عملية تغيير للشكل الثلاثي الأبعاد للبروتين (انظر الشكل ٢,١٤). وهذا يجعل من الروابط الكيميائية بين الأحماض الأمينية في متناول الإنزيمات الهضمية. فالبيئة الحمضية جنبًا إلى جنب مع تموجات محتويات المعدة من خلال تقلص العضلات في المعدة يسمح لمزيد من الاختلاط مع حمض الهيدروكلوريك وتكسير البروتينات بشكل أكبر.

تكسير البروتين "Denaturation"
هي عملية تغيير للشكل الثلاثي الأبعاد للبروتين؛ وبالتالي فقد النشاط الإنزيمي للبروتين.



الشكل (٢,١٤). عملية تكسير البروتينات. الحرارة، درجة الحموضة، الأكسدة، الحركة الميكانيكية لعملية الهضم من العوامل التي تعمل على تكسير البروتين. الأمر الذي يؤدي إلى فقد الشكل الوظيفي للبروتين.

وبالإضافة إلى حمض الهيدروكلويك، فهناك إنزيم الببسين الذي يبدأ في تكسير البروتينات ذات السلاسل الطويلة من الأحماض الأمينية إلى سلاسل أقصر من الأحماض الأمينية. وإنزيم الببسين في المعدة هو المسؤول عما يقرب من ١٠-٢٠٪ من هضم البروتين وفي هذه المرحلة من عملية الهضم، يتم تكسير البروتين إلى سلاسل أصغر من البروتين بدلًا من أحماض أمينية أحادية.

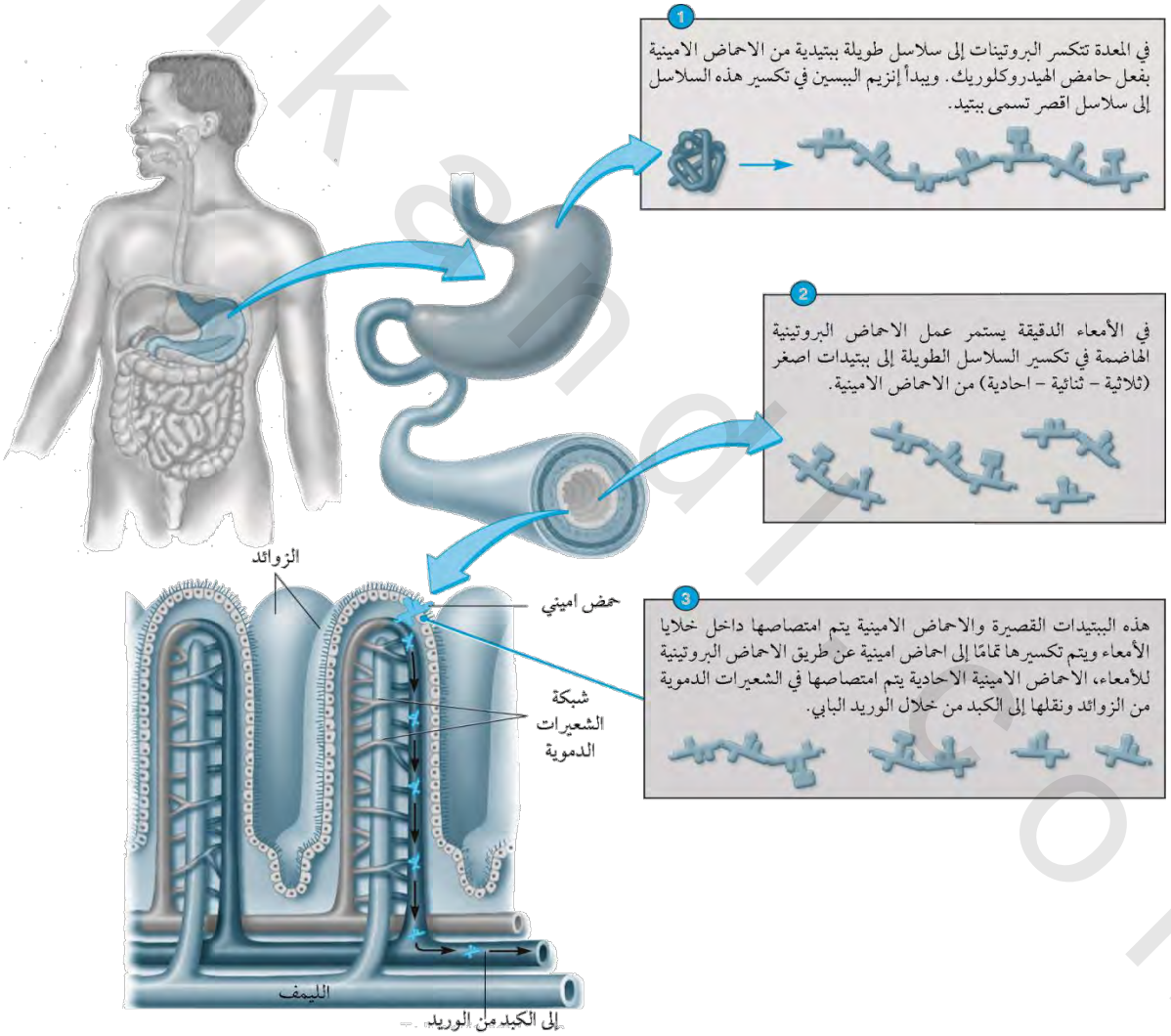
وأغلبية عملية هضم البروتين تتم في الأمعاء الدقيقة، حيث تتم إضافة أحماض هاضمة للبروتين ويطلق عليها بروتيسيس "Proteases" تكسر سلاسل البروتين إلى وحدات أصغر.

ويفرز هذا الإنزيم كل من البنكرياس والأمعاء الدقيقة ، كما أن خلايا بطانه الأمعاء الدقيقة تفرز حمضًا آخر يسمى ببتيداسيسًا "peptidases" يكسر سلاسل الأحماض الأمينية القصيرة إلى ثلاثة أحماض أمينية أحادية أو أقل، ويتم امتصاص الحامض الأميني وسلسلة الأحماض الأمينية المحتوية على ذرتين أو ثلاثة أحماض أمينية عبر الانتشار بالمساعدة أو النقل النشط.

الأحماض البروتينية الهاضمة "Peptidases"
هي مجموعة من البروتينات التي تعمل مثل الإنزيمات وتساعد على تكسير الروابط الكيميائية بين الأحماض الأمينية، والسلاسل القصيرة للحصول على حمض أميني أحادي.

obeikandi.com

ومعظم عملية الامتصاص تحدث في الخلايا التي تبطن الاثني عشر والصائم "Jejunum" & "duodenum". وتحدث المرحلة النهائية من عملية هضم البروتين داخل الخلايا المعوية بعد الامتصاص. فبعد دخول الخلايا المعوية تكسر أحماض أخرى "peptidases" الروابط الكيميائية المتبقية في سلاسل البروتين لإنتاج أحماض أمينية أحادية. وتستخدم بعض الأحماض الأمينية التي تمتصها الخلايا المعوية لنفسها. ويتم نقل معظم الأحماض الأمينية من الخلايا المعوية عن طريق الانتشار بالمساعدة والدخول إلى الدورة الدموية، والتي تذهب مباشرةً إلى الكبد. والأحماض الأمينية في هذا التوقيت إما أن تستخدم في الكبد وإما أن تطلق مرة أخرى إلى الدورة الدموية. ويوضح الشكل (١٥ , ٢) ملخصًا لهضم البروتينات.



الشكل (١٥ , ٢). عملية تكسير البروتينات في الجسم. عملية الهضم تكسر البروتين إلى أحماض أمينية لسهولة عملية الامتصاص.

وتتم عملية الهضم والامتصاص للبروتين بشكل فعال في المعدة والأمعاء الدقيقة ؛ ونتيجة لذلك فالقليل جدًّا من البروتين يذهب إلى الأمعاء الغليظة؛ وبالتالي يخرج مع البراز. وفي بعض الظروف الطبية قد تُسبب مشاكل في هضم وامتصاص البروتين ومن الأهمية لأخصائي التغذية للرياضيين أن يكون على بينة من هذه الظروف لوضع الخطة الغذائية ، ولاسيما عند التعامل مع الرياضيين. وعلى سبيل المثال مرض سيليك "celiac" هو اضطراب في الجهاز الهضمي وعدم القدرة على هضم بعض البروتينات النباتية. فالرياضيون المصابون بهذا المرض ليس لديهم القدرة على هضم البروتينات من القمح والشوفان، والحبوب الأخرى؛ ولأن هذه الحبوب هي مصادر ممتازة من الكربوهيدرات لإنتاج الطاقة للرياضيين. فيجب على أخصائي التغذية للرياضيين العمل عن قرب مع اللاعب لوضع والبحث عن بروتينات نباتية / ومصادر الطاقة البديلة التي لا تؤدي إلى تفاقم الأعراض أو تطور المرض.

كيف يتم امتصاص البروتينات داخل جدار الأمعاء؟

يحدث امتصاص الحامض الأميني من خلال الانتشار بالمساعدة والنقل النشط (انظر الشكل ٢,٨ ب،ج) ومعظم الأحماض الأمينية تتطلب النقل النشط للوصول إلى داخل خلايا الأمعاء.

عملية النقل النشط للأحماض الأمينية تتم كما في الجلوكوز، وكما سبق توضيحه في هذا الفصل. وعلى الرغم من أن الأحماض الأمينية والجلوكوز يستخدمان بروتينات ناقلة مختلفة. فالأحماض الأمينية المتشابهة تستخدم ناقلات بروتينية متشابهة. وعلى سبيل المثال، فالأحماض الأمينية المتفرعة السلاسل ، والليسين، والأيسولوسين، والفالين يعتمدون على نفس البروتين الناقل للامتصاص. وعادة ما تحتوي البروتينات المتناولة في الغذاء اليومي على مجموعة متنوعة من الأحماض الأمينية التي يحتاجها الجسم.

وبسبب أنه يتم نقل مجموعة متنوعة من الأحماض الأمينية في الخلايا من خلال مجموعة متنوعة من البروتينات الناقلة تكون المنافسة قليلة، وتميل الأحماض الأمينية إلى أن تُحمل داخل الخلية بناءً على نسب تكوينها في الطعام. وتناول المكملات الغذائية التي تحتوي على كميات كبيرة من حمض أميني واحد تؤثر على امتصاص الأحماض الأمينية الأخرى؛ وذلك لاستخدام نفس الناقل البروتيني.

وعلى سبيل المثال، يحاول الرياضيون زيادة الكتلة العضلية عن طريق تناول كميات من المكملات الغذائية، والتي تحتوي على جرعات عالية من حمض أميني واحد أو مجموعة من الأحماض الأمينية، وهذا ليس في مصلحتهم؛ لأنه يخلق تنافسًا بين الناقلات البروتينية، والتي من شأنها أن تؤدي إلى امتصاص حمض أميني واحد بشكل كبير على حساب الأحماض الأمينية الأخرى.

Obeikandl.com

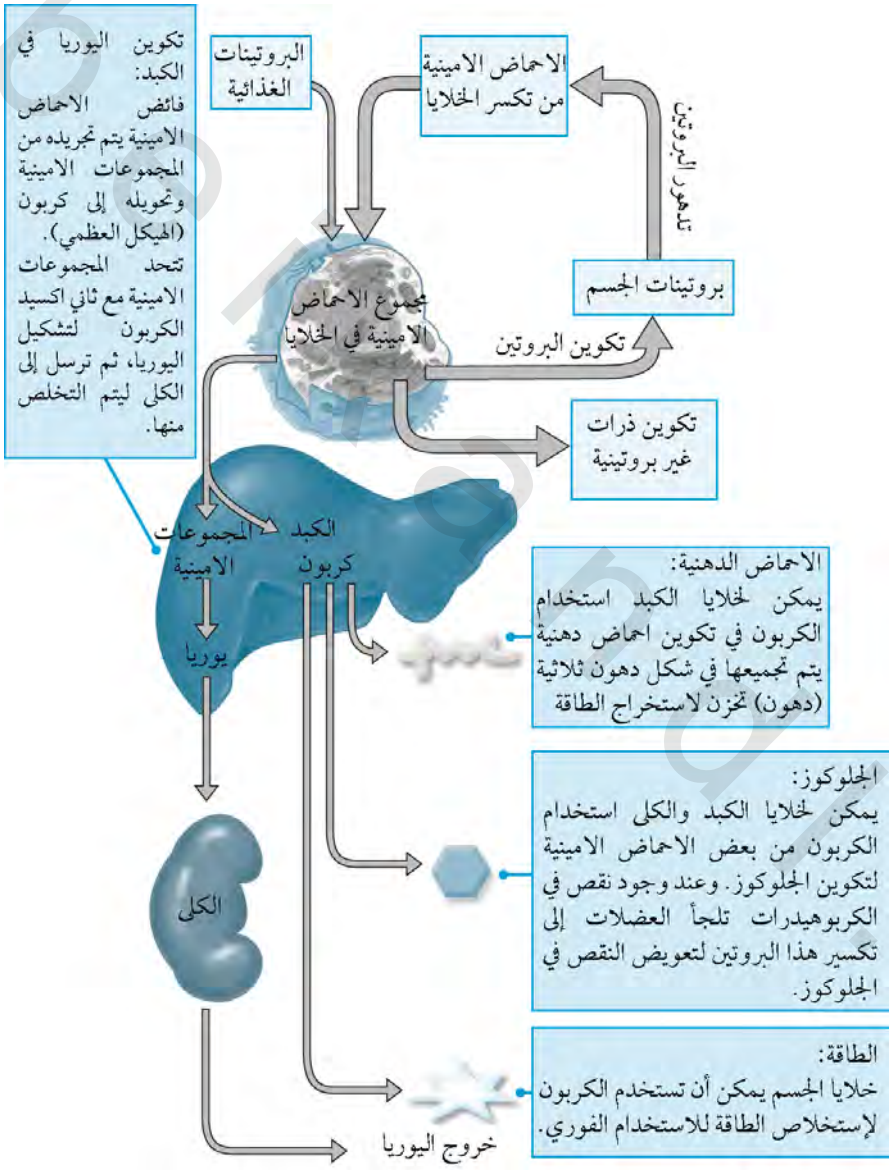
ماذا يحدث للأحماض الأمينية بمجرد الدخول للدم؟

الأحماض الأمينية التي تدخل في مجرى الدم بعد هضم البروتينات تصبح جزءًا لا يتجزأ من مجموع الأحماض الأمينية في مجموع الأحماض الأمينية بالجسم. ومع ذلك وجد أن هناك نسبة قليلة من الأحماض الأمينية بالدورة الدموية بالمقارنة بالكمية الموجودة

مجموع الأحماض الأمينية "Amino acid pool"
هي مجموعة من الأحماض الأمينية الموجودة بسوائل وأنسجة الجسم والتي توفر إعادة تكوين البروتين بالجسم.

الأحماض الأمينية بالجسم "Amino acid pool". وهذه الأحماض الأمينية ليست في مجرى الدم فقط بل في جميع الأنسجة الأخرى، وخاصةً التركيب الجسمي وفي العضلات والكبد (انظر الشكل ١٦ , ٢).

وتشكل الأحماض الأمينية الموجودة في الدورة الدموية جزءًا أساسيًّا من مجموع الأحماض الأمينية بالجسم. فتركيزات الأحماض الأمينية في الدم تكون متوازنة مع تركيزات



الشكل (١٦ , ٢). حركة دوران الأحماض الأمينية: تستفيد الخلايا من الأحماض الأمينية لتكوين البروتينات الجديدة. والمجموعات الصغيرة من الأحماض الأمينية يجب أن تستبدل بسرعة من الغذاء. والتغذية البروتينية تمد الجسم بحوالي ثلث احتياجات البروتين، ويمد الجسم بثلثي البروتين من تكسير البروتين الداخلي من حوالي ٣٠٠ جرام يحتاجه الجسم بشكل يومي.

بالعضلات والكبد. وعند هبوط مستوى الأحماض الأمينية في جزء من الأجزاء تعمل الأجزاء الأخرى على استرجاع عملية التوازن مرة أخرى. وهذه المشاركة بين الأجزاء في الأحماض الأمينية فيما بينها تساعد على ضمان توافر الأحماض الأمينية عند نقصها. ومجموع الأحماض الأمينية بالجسم تستخدم في استخدامات عديدة بناءً على الاحتياجات. وتستخدم أساسًا لإعادة تكوين بروتينات هيكلية جديدة، وإنزيمات، وهرمونات، وعناصر أخرى نيتروجينية. كما يمكن تكسيرها لاستخراج الطاقة، وخصوصًا عندما لا تتوافر نسبة كبيرة من الكربوهيدرات المخزونة واحتياجات الطاقة تكون مرتفعة.

وعندما تزيد كمية الأحماض الأمينية يمكن أن تتحول إلى دهون تخزن لاستخدامها في استخراج الطاقة للجسم (انظر الشكل ١٦, ٢).

إن مشاركة الأحماض الأمينية بين أجزاء الجسم عملية دينامية ومستمرة. فالبروتينات داخل الجسم متحولة بشكل مستمر، وفي احتياج إلى الأحماض الأمينية المنتشرة بشكل أساسي ومستمر. ولذلك؛ فإن هذه المشاركة بين الأجزاء في الأحماض الأمينية هي جزء من الإصلاح على المدى القصير في توفير مجموع الأحماض الأمينية الضرورية.

إن كمية البروتينات المأخوذة خلال الوجبة اليومية أساسية في الحفاظ على مجموع الأحماض الأمينية بالجسم. فإذا كانت كمية البروتين غير كافية، فسيتم تفكيك بروتينات العضلات والأنسجة لتوفير مجموع الأحماض الأمينية بالجسم؛ مما يؤثر سلبًا على قدرات التدريب والأداء التنافسي للرياضي

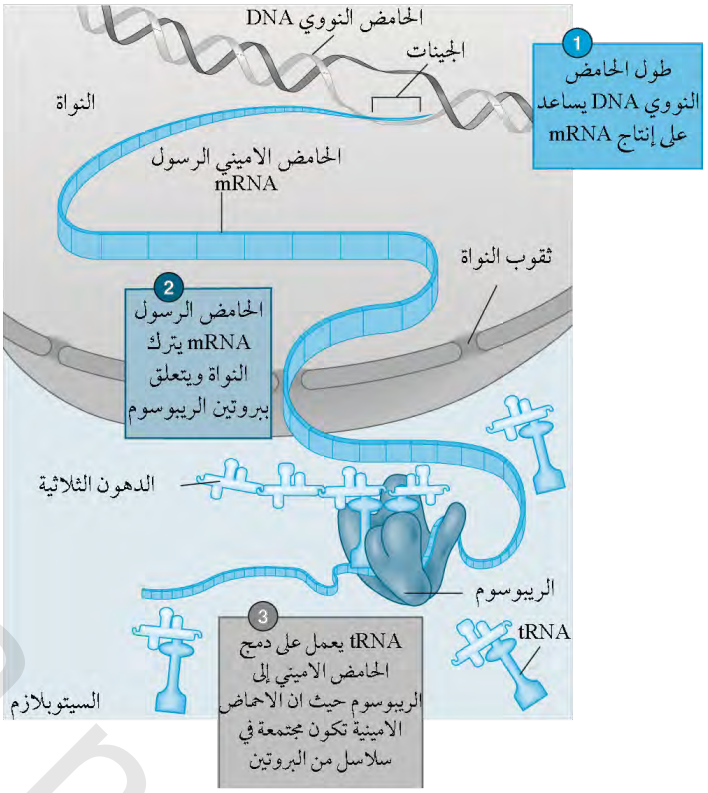
للحصول على الأداء المثالي
المحافظة على الكميات الكافية من البروتين أساسي في استمرار إمداد مجموع الأحماض الأمينية بالجسم.

ماذا يحدث للأحماض الأمينية بمجرد دخولها خلايا الجسم؟

الأحماض الأمينية تدخل إلى الدم عن طريق الانتشار بالمساعدة، فعندما تدخل إلى الخلايا تصبح لبنات لبناء البروتينات الخاصة. وهذه البروتينات الخاصة المبنية داخل الخلية تحدد بالاحتياجات الحالية للخلية أو تحت تأثير المؤثرات الخارجية مثل الهرمونات. وعلى سبيل المثال هرمون التيستيسترون يسبب زيادة في عمل الخلية لبناء هياكل البروتين؛ مما يسبب في زيادة حجم العضلة وزيادة قوتها.

إن الأوامر الرئيسية لصنع البروتينات الخاصة للخلية موجودة في (الحمض الخلوي الصبغي) "DNA" داخل النواة (انظر الشكل ١٧, ٢). والقطاعات من الحامض النووي المسؤولة عن إنتاج البروتينات الخاصة يطلق عليها جين "Genes" وكل

obeikandl.com



الشكل (١٧ , ٢) تخليق البروتين. الريبوسومات هي مصانع لتخليق البروتين، أولاً: يحمل حامض الريبونيوكليك الرسول وينقل تعليمات التصنيع من الحامض النووي في نواة الخلية إلى الريبوسوم. ثانياً: يعمل حامض الريبونيوكليك الناقل على توفير ونقل الأحماض الأمينية بالترتيب المناسب.

جين له خصوصية في إنتاج بروتين محدد يتم فيها عملية تعرف بالنسخ "Transcription".

وعملية النسخ هذه تتسبب في تشكيل حامض الريبونيوكليك الرسول "mRNA" والذي يرسل مجموعة من الأوامر الجينية عن كيفية تكوين البروتين. وفي بداية خروج (الرسول RNA) من نواة الخلية يسلم هذه التعليمات إلى الريبوسوم "Ribosomes" وهي عضيات خلوية موجودة في السيتوبلازم لبناء البروتين. وفي عملية يطلق عليها بالترجمة "Translation"، يقرأ فيها الريبوسوم تعليمات الحامض النووي الريبونيوكليك "mRNA" ويبدأ بجمع الأحماض الأمينية مع بعضها البعض في تسلسل بناءً على هذه التعليمات. ويتم تسليم الأحماض الأمينية إلى (موقع بناء البروتين) الريبوسوم من خلال حامض الريبونيوكليك الناقل "tRNA" وتستمر عملية نقل الأحماض الأمينية إلى الريبوسوم حتى يتم بناء البروتين. وإذا تم احتياج حامض أميني ولم يتوفر في أثناء عملية بناء البروتين تتوقف عملية البناء. وفي حالة أن هذا الحامض الأميني من الأحماض الأمينية غير الأساسية (غير أساسي في الوجبة)، تقوم الخلية بإنتاج هذا الحامض الأميني

الريبوسومات "Ribosomes"
عضيات داخل الخلية مسؤولة عن تخليق البروتين.

الترجمة "Translation"
عملية تكوين البروتين داخل الريبوسوم من خلال اتباع التعليمات الوراثية الموجودة على الحامض النووي الرسول الريبونيوكليك.

الحامض الناقل "transfer ribonucleic acid (tRNA)"
هو المسؤول عن توفير ونقل الأحماض الأمينية إلى الريبوسوم في عملية إنتاج البروتين.

obeikandi.com

ونقله عن طريق حامض الريبونيوكليك الناقل ، وتستمر عملية بناء البروتين. وإذا كان هذا الحامض الأميني من الأحماض الأساسية (أساسي في الوجبة) ، لا يمكن أن تستمر عملية البناء ويتوقف بناء البروتين.

للحصول على الأداء المثالي

الوجبة الغذائية للرياضيين يجب أن تحتوى على بروتينات عالية الجودة وكاملة، أو بروتينات تكميلية حتى يمكن توفير جميع الأحماض الأمينية الأساسية. الفشل في توفير ذلك سوف يسبب نقصًا في تركيب البروتينات ويؤثر على التدريب وفترة الراحة والأداء الرياضي.

وهذا هو السبب في اتباع نظام غذائي للرياضيين يشتمل على بروتينات عالية الجودة وكاملة أو بروتينات تكميلية حتى يمكن توفير جميع الأحماض الأمينية الأساسية عند الحاجة. فحامض أميني واحد قد يوقف عملية بناء البروتين. وعندما يحدث هذا يتم تحلل البروتينات غير المكتملة وتستخدم في إنتاج الطاقة في أماكن أخرى.

خامسًا: كيف يتم امتصاص وانتقال الفيتامينات ، والأملاح المعدنية، والماء داخل الجسم؟

المعادن والفيتامينات والماء (على عكس الكربوهيدرات، والبروتينات، والدهون) لا تحتاج إلى تقسيمها إلى وحدات أصغر عن طريق الهضم حتى يمكن امتصاصها في الجسم. فأثناء هضم المواد الغذائية تتحرر الفيتامينات والمعادن داخل محتويات الأمعاء. ومعظم المعادن المتحررة خلال الهضم يتم امتصاصها في الاثني عشر والصائم من الأمعاء الدقيقة، باستثناء الصوديوم، والبوتاسيوم، والكلوريد فيتم امتصاصهم في الأمعاء الغليظة.

وتصنف الفيتامينات على أنها إما أن تذوب في الماء وإما تذوب في الدهون. فالفيتامينات التي تذوب في الماء هي (فيتامين ب المركب، وفيتامين ج) وتذوب في مزيج مائي من المواد الغذائية في الجهاز الهضمي ويتم امتصاصها مع الماء. ومعظم الماء والفيتامينات الذائبة فيه تمتص في الأمعاء الدقيقة (انظر الشكل ٢,٧). والفيتامينات الذائبة في الماء تتحرك بسهولة للدم وتنتقل بحرية في جميع سوائل الجسم داخل وخارج الخلايا.

أما الفيتامينات التي تذوب في الدهون فهي (فيتامين أ ، د ، هـ ، ك) وعندما يطلق سراحها من المواد الغذائية المهضومة تذوب في الأجزاء الدهنية في محتويات الجهاز الهضمي. ويتم نقلها إلى جانب الدهون المهضومة إلى المذيلات ثم إلى جدار الأمعاء حيث يتم امتصاصها عن طريق الانتشار السلبي. ومعظم الفيتامينات التي تذوب في الدهون تمتص في الأمعاء الدقيقة مثل الفيتامينات التي تذوب في الماء (انظر الشكل ٢,٧). ويتم إنتاج كمية صغيرة من فيتامين

(ك) عن طريق البكتريا الموجودة في الأمعاء الغليظة ثم تمتص فيها. وعند دخول الفيتامينات التي تذوب في الدهون داخل الخلايا المعوية يتم تعبئتها في الكيلوميكرونات جنبًا إلى جنب مع غيرها من الدهون ونقلها عبر الليمف إلى مجرى الدم ومن ثم إلى مختلف أنحاء الجسم. ويتم استخدام بعضها في الخلايا ويخزن بعضها الآخر مع غيرها من الدهون في المواقع الدهنية "Adiposities". حقيقة أن الفيتامينات الذائبة في الدهون تخزن في الجسم ليس سببًا جيدًا في تناول جرعات عالية من الفيتامينات الذائبة في الدهون.

سادسًا: ما هو التمثيل الغذائي للطاقة؟ ولماذا هو مهم؟

التمثيل الغذائي للطاقة من العناصر الأساسية في التغذية للرياضيين. وإن معرفة الأليات الخلوية والمسارات الأيضية المسؤولة عن إمداد الطاقة من المواد الغذائية الرئيسية (الكبيرة) بمجرد دخولها إلى الخلايا أمر بالغ الأهمية لأخصائي التغذية للرياضيين. فمن دون معرفة نظم إنتاج الطاقة الثلاثة وكيفية عملها معًا لتوفير الطاقة خلال الأنشطة المحددة يفتقر أخصائي التغذية للرياضيين بشدة القدرة على تصميم وجبات غذائية فردية. فمعرفة التمثيل الغذائي يُمكن أخصائي التغذية للرياضيين من وضع التقييم الموضوعي للفاعليات المحتملة من المكملات الغذائية. وأخيرًا، فإن فهم التمثيل الغذائي للطاقة يُمكن أخصائي التغذية للرياضيين من تثقيف لاعبيهم عن احتياجات الطاقة في رياضتهم؛ مما يساعد على تغيير الكثير من المفاهيم الخاطئة، والتي تكثر في مجال التغذية للرياضيين. والمتبقي من هذا الفصل سوف يحدد ماهي الطاقة ، وماهي المواد الغذائية التي تمد بالطاقة ، ويناقش كيفية استخراج الطاقة داخل الخلايا في الراحة وأثناء ممارسة الرياضة.

التمثيل الغذائي "Metabolism"
هو مجموع جميع متطلبات الطاقة للقيام بأنشطة الخلايا.

سابعًا: ما هي الطاقة؟

الطاقة هي كيان من الأفضل شرحها أو تعريفها عن طريق الوصف لأنه لا يوجد لها شكل، أو أي مميزات شكلية توصف وليس لها كتلة جسدية. فالطاقة هي التي تمكن الخلايا، والعضلات، وأنسجة الجسم الأخرى على العمل، أو إنجاز المهام. فجميع الوظائف الخلوية والجسدية التي تبقي الإنسان على قيد الحياة تحتاج إلى طاقة. وذلك مثل السيارة التي تعتمد على الطاقة الكيميائية من البنزين لتشغيلها ، وخلايا الجسم تتطلب طاقة كيميائية من المواد الغذائية لتشغيل وظائفها المختلفة. وفي حالة الأداء الرياضي، يجب على خلايا العضلات

obeikandl.com

الحصول على وقود لانقباض العضلات. وباختصار فالطاقة هي وقود التمثيل الغذائي.

التمثيل الغذائي هو مجموع الطاقة اللازمة لأداء جميع عمليات وأنشطة الخلايا والحد الأدنى من الطاقة اللازمة للحفاظ على البشر على قيد الحياة يسمى معدل التمثيل الأساسي "Basal metabolic rate" (BMR). وأكبر من هذا المعدل بقليل من الطاقة يعرف بمعدل التمثيل في الراحة "Resting metabolic rate" (RMR). وكلٌّ من معدل التمثيل الأساسي (BMR) ومعدل التمثيل في الراحة (RMR) يتم التعبير عنه بالسعرات الحرارية Kilocalories (Kcals)، والتي هي الوحدات المستخدمة في قياس الطاقة. ١ سعر حراري هو كمية الطاقة الحرارية اللازمة لرفع درجة حرارة ١ لتر من الماء درجة واحدة مئوية ، وذلك عند درجة ١٤,٥ وحتى ١٥,٥ درجة مئوية. والفرق بين معدل التمثيل الأساسي (BMR) ومعدل التمثيل في الراحة (RMR) هي الطريقة التالية في القياس.

معدل التمثيل الأساسي "Basal metabolic rate" (BMR)
الحد الأدنى من الطاقة المطلوبة لاستمرار الحياة في حالة اليقظة.

معدل التمثيل في الراحة "Resting metabolic rate" (RMR)
الحد الأدنى من الطاقة لتوفير احتياجات الطاقة أثناء فترة الراحة.

الكيلوكلوري "kilocalories" (Kcals)
وحدة قياس الطاقة.

يقاس معدل التمثيل الأساسي (BMR) في ظل ظروف صارمة للغاية، ويتطلب من المفحوصين قضاء ليلة كاملة في المعمل، وفي حالة راحة تامة وفي ظروف جوية مناسبة (ليست باردة أو حارة) ويتم القياس في حالة أشبه بمرحلة الاستيقاظ من النوم (أي ليس نائما وليس في حالة استيقاظ كامل)، هذا هو الوقت الفعلي لقياس معدل التمثيل الأساسي (BMR). أما بالنسبة لمعدل التمثيل في الراحة (RMR) فهو أسهل في الحصول عليه. فالمفحوصون يجب أن يصوموا لفترة ١٢ ساعة، ولا يتطلب إقامة في المعمل فمن الممكن أن يحضروا قبل القياس من ٢٠ إلى ٣٠ دقيقة حيث يسترخوا تمامًا قبل قياس معدل التمثيل في الراحة (RMR). ويستخدم أخصائي التغذية للرياضيين كلًا من معدل التمثيل الأساسي (BMR) ومعدل التمثيل في الراحة (RMR)؛ لتحديد مستوى الطاقة للرياضيين خلال الـ ٢٤ ساعة. ومجموع الطاقة المستهلك خلال اليوم يمكن استخدامه في بناء الوحدات الغذائية الأساسية من الطاقة للمحافظة على التوازن في الطاقة وأيضًا عند تقديم المشورة للرياضيين في إدارة الوزن (انظر الفصل الحادي عشر).

والطاقة موجودة في ستة أشكال أساسية هي: النووية، والكيميائية، والكهربائية، والميكانيكية، والحرارية، والإشعاعية. ومع ذلك، فإن شكل الطاقة التي يعتمد عليها الإنسان والحيوان مباشرةً من أجل البقاء على الحياة هي الطاقة الكيميائية "Chemical Energy". فالطاقة الكيميائية هي الطاقة التي يتم تخزينها في الروابط بين الذرات للجزيئات. وعندما يتم كسر هذه الروابط بين

openkanadi.com

الذرات يتم تحرير الطاقة، ويمكن استخدامها في أداء العمل. وعلى الكرة الأرضية، فإن المصدر الرئيسي للطاقة الكيميائية للحياة الحيوانية هو النباتات. وعلى وجه التحديد، تستخدم النباتات الطاقة المشعة من الشمس لبناء روابط عالية الطاقة بين ذرات الكربون، والهيدروجين، والنيتروجين، والأكسجين. وفي أثناء القيام بذلك تُشكل النباتات ذرات من الكربوهيدرات والبروتينات والدهون، والتي تكون بمثابة الطاقة المغذية للنباتات نفسها، أو لأي حيوان يأكل هذه النباتات، أو عبر السلسلة الغذائية "Food Chain". لأن الحيوانات يمكنها هضم الكربوهيدرات، والبروتينات، والدهون، وتحويلها إلى أشكال خاصة بها (انظر الشكل ١٨, ٢).

الطاقة الكيميائية "Chemical energy"
هي الطاقة المختزنة في الروابط بين الذرات.

ويمكننا الحصول على المواد الغذائية ومواد الطاقة والمعروفة باسم المغذيات الكبيرة. سواء من مصادر نباتية أو حيوانية. عندما تُؤكل الأطعمة النباتية والحيوانية، يكسر الجهاز الهضمي هذه المغذيات إلى مكوناتها بحيث يمكن امتصاصها ونقلها إلى الخلايا.

للحصول على الأداء المثالي
يحتاج الجسم المواد الغذائية الكبيرة بكميات (الكربوهيدرات – البروتين – الدهون) بخلاف المواد الأخرى كمصدر للطاقة الكيميائية

ويمكن للخلايا استخدام المواد الغذائية بالدم كلبنات حيوية لإعادة البناء أو تخزينها للاستخدام لاحقًا، أو تمثيلها لإنتاج الطاقة.

الشكل (١٨, ٢). التمثيل الغذائي. تستخدم الخلايا التفاعلات الخلوية لاستخراج الطاقة من الغذاء وتشكيل اللبنات الخلوية لعملية البناء الخلوي.

obeikandl.com

ثامنًا: ما هي المصادر الكيميائية للطاقة في جسم الإنسان؟

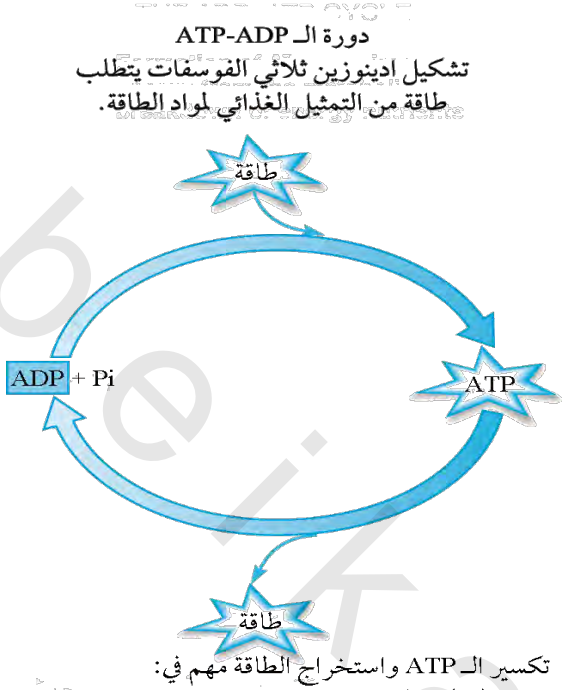
استنادًا إلى الفقرات السابقة، يمكن القول بأن الطاقة الكيميائية الموجودة في الكربوهيدرات، والدهون، والبروتينات هي المصدر المباشر للطاقة من أجل الوظائف الخلوية، ومع ذلك فإن المصدر المباشر للطاقة لجميع العمليات البيولوجية يأتي من جزيء الطاقة العالي المعروف باسم أدينوزين ثلاثي الفوسفات "Adenosine triphosphate" (ATP). وباختصار تستخدم الطاقة الكيميائية من المغذيات الكبيرة لإنتاج مادة كيميائية أخرى عالية الطاقة تعرف بـ (ATP).

للحصول على الأداء المثالي

المصدر الأساسي للطاقة الكيميائية في الجسم لأنشطة العضلات والوظائف الأخرى هو الأدينوزين ثلاثي الفوسفات (ATP).

ويتم إطلاق الطاقة المختزنة في الروابط الكيميائية لثلاثي أدينوزين الفوسفات (ATP) وعند تكسير هذه الروابط يمكن استخدامها من خلال الخلايا لأداء العمل البيولوجي (انظر الشكل ١٩ , ٢).

جزيء الـ (ATP) هو جزيء أدينوزين مرتبط بثلاث ذرات فوسفات في سلسلة (انظر الشكل ٢٠ , ٢).



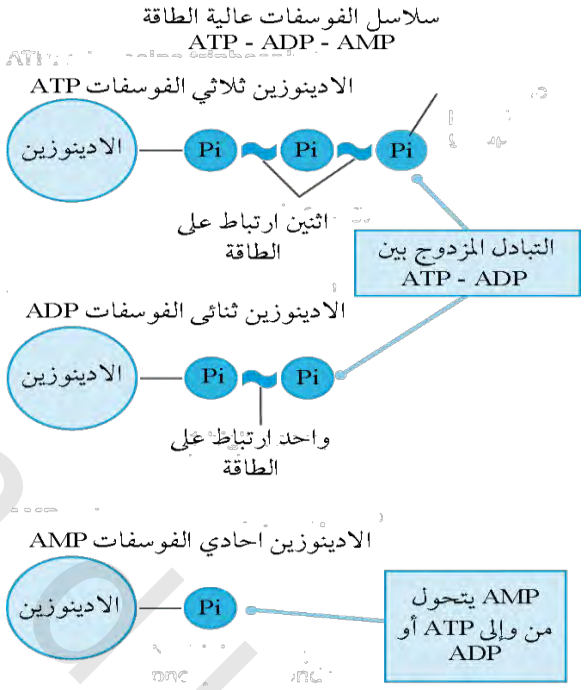
الشكل (١٩ , ٢). دورة الـ ATP – ADP.

والطاقة المستخدمة في الجسم مخزونة بين الذرات الأولى والثانية وبين الثانية والثالثة لمجموعات الفوسفات. وعندما تتكسر هذه السلسلة تنطلق الطاقة، ويستخدم جزء من الطاقة المنطلقة لأداء العمل وما تبقى يخرج على شكل حرارة والتي لا يمكن أن يستخدمها الجسم.

وعند تكسير الرابط بين الذرة الثانية والثالثة من الفوسفات يتم تكوين مركب آخر يعرف بأدينوزين ثنائي الفوسفات "Adenosine diphosphate" (ADP) وذرة فوسفات نشطة غير مرتبطة (Pi) (انظر الشكل ٢٠ , ٢).

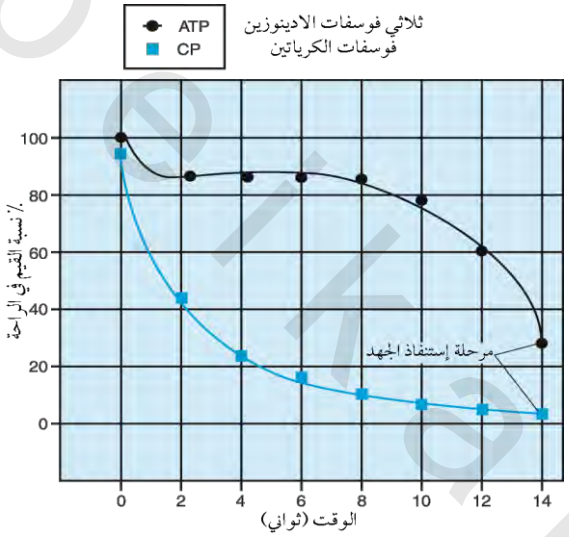
obeikandl.com

ولايزال الـ (ADP) لديه بعض الطاقة التي يمكن استخدامها من قِبل الجسم وعند خروج آخر ذرة فوسفات يتكون مركب يعرف بأدينوزين أحادي الفوسفات "Adenosine monophosphate"(AMP) وذرة فوسفات أخرى (Pi) (انظر الشكل ٢٠ , ٢).



الشكل (٢٠ , ٢). يوضح الـ (ATP)، (ADP)، (AMP). والارتباطات الفوسفاتية عالية الطاقة. ويمكن للجسم بسهولة استخدام هذه الارتباطات عالية الطاقة وتشكيل أو تكسير الروابط الفوسفاتية للحصول أو إطلاق الطاقة.

وعلى الرغم من أن الـ (ATP) هو المصدر المباشر لإنتاج الطاقة للأنشطة الحيوية في الجسم ، إلا إنه يتم تخزينه بكميات صغيرة جدًّا في الخلايا. وعلى سبيل المثال، مخازن العضلات من الـ (ATP) صغيرة جدًّا وتستهلك في أقل من ٣ ثوانٍ من نشاط العضلات. وعلى الرغم من الحقيقة بأن مخازن الـ (ATP) محدودة جدًّا، فمن المهم توضيح أن الخلايا لا تستنفد تمامًا مخزونها من الـ (ATP). انظر الشكل (٢١ , ٢)، والذي يبين مستويات الـ (ATP) في سباق سرعة لمدة ١٤ ثانية.



الشكل (٢١ , ٢). تأثير النشاط المكثف على مستويات الـ (ATP) في العضلات. بالرغم من أن مستويات النشاط في مرحلة الإرهاق، إلا أن مستويات الـ (ATP) ليست مستنفذة بشكل كامل.

لوحظ عند نقطة التعب أن حوالي ٣٠٪ من الـ (ATP) لايزال موجودًا. ومن المنطقي أن الرياضيين يقومون بأداء أنشطة تستمر لأكثر من ٣ ثوانٍ كل يوم ، فلابد أن هناك طرقًا لإمداد الجسم بالـ (ATP) بمجرد استخدامه وفي الحقيقة فجميع الخلايا، وبالأخص الخلايا العضلية يمكنها تعويض أي كمية من الـ (ATP) ويتم استخدامها للحفاظ على مخازن الـ (ATP) مكتملة.

وعند هبوط مستويات الـ (ATP) إلى مستويات

منخفضة بسبب زيادة شدة العمل وعدم قدرة الخلايا العضلية على تعويض المستنفذ من الـ (ATP) تظهر ظاهرة التعب "Fatigue". والتعب هو انخفاض في مستوى الأداء؛ مما يبطئ أو حتى يوقف الأداء وبالتالي يحمي مستويات الـ (ATP) الموجودة بالخلية. يمكن أن يؤثر سوء التغذية بشكل مباشر على إنتاج الـ (ATP)؛ وبالتالي انخفاض المستوى الرياضي. ونتيجة لذلك؛ يجب أن تكون هناك طريقة للخلايا لصنع أو تجديد الـ (ATP) بمجرد استخدامه.

تاسعًا: كيف يمكن للخلايا إنتاج ثلاثي فوسفات الأدينوزين (ATP)؟

تتبع الخلايا الطرق المناسبة عند تمثيل مواد الطاقة لإنتاج الـ (ATP)، وبالرغم من وجود العديد من الخلايا المختلفة في الجسم فجميعها تتبع نفس الطريقة. يبين (الشكل ٢,٢٢) أسماء ووظائف العديد من خلايا الجسم. وعلى سبيل المثال فإن جميع الخلايا لديها غشاء الخلية "Cell membranes" والذي يحيط بمحتوياتها، ويعرف بالسيتوبلازم "Cytoplasm"، ويكون بمثابة حواجز لتنظيم أو منع تدفق المواد. والجزء السائل داخل الخلية يعرف بالسيتوزول "cytosol". ويذوب في هذا السيتوزول الإنزيمات وهي بروتينات مسؤولة عن المسارات الأيضية لسرعة تكوين الـ (ATP).

غشاء الخلية "Cell membranes"
هو الغشاء المحيط بالخلية، ويكون بمثابة حاجز بين داخل وخارج الخلية.

السيتوبلازم "Cytoplasm"
هو سائل داخل الخلية ويحتوي على عضيات الخلية .

وبالإضافة إلى ذلك هناك هياكل خلوية معروفة باسم العضيات "Organelles" والتي تؤدي وظائف محددة. والعضيات الأكثر أهمية فيما يتعلق بإنتاج الـ (ATP) هي الميتوكوندريا "Mitochondrion". والميتوكوندريا في بعض الأحيان توصف بـ (بيوت الطاقة الهوائية في الخلية)؛ لأن العديد من المسارات الأيضية المسؤولة عن إنتاج الـ (ATP) بالطرق الهوائية تتم في داخلها. وأخيرًا، فكل خلية تمتلك نواة تحتوي على المعلومات الجينية اللازمة لصنع الإنزيمات الخلوية والهياكل اللازمة لإنتاج الـ (ATP). ومن الضروري فهم المزيد عن تشكيل الـ (ATP)، وأسس الطاقة الحيوية. فدراسة الطاقة الحيوية تعني دراسة كيفية استخراج الطاقة، ونقلها، واستخدامها في النظم الحيوية.

عضيات الخلية "Organelles"
هي أشكال خاصة داخل الخلية ومسؤولة عن وظائف خاصة.

الميتوكوندريا "Mitochondrion"
عضي الخلية المسؤول عن إنتاج الـ ATP من خلال النظام الهوائي.

وبما أن هذا الكتاب يتكلم عن الرياضيين، فالنظام الحيوي الذي يعنينا في هذا الفصل هو العضلات.

obeikandi.com

غشاء الخلية "Cell Mebrance"
- غشاء مزدوج مكون من البروتين والدهون.
- يتحكم في دخول وخروج المواد خارج وداخل الخلية.
- يحتوي على مستقبلات للهرمونات والمؤثرات الاخرى.

النواة "Nucleus"
- تحتوي على المعلومات الوراثية في داخل الكورموسومات في ترتيب دقيق "DNA".
- موقع الحامض النووي الرسول "RNA" رسل بناء البروتين.
- غشاء مزدوج الطبقات.

السيتوبلازم "Cytoplasm"
- داخل غشاء الخلية وخارج غشاء النواة.
- مليئة بالعضيات والأجزاء الداخلة في السائل الخلوي للخلية.

السائل الخلوي "Cytosol"
- السائل داخل غشاء الخلية.
- موقع تمثيل المواد الغذائية وتركيب الأحماض الدهنية.

العضيات "Organelles"

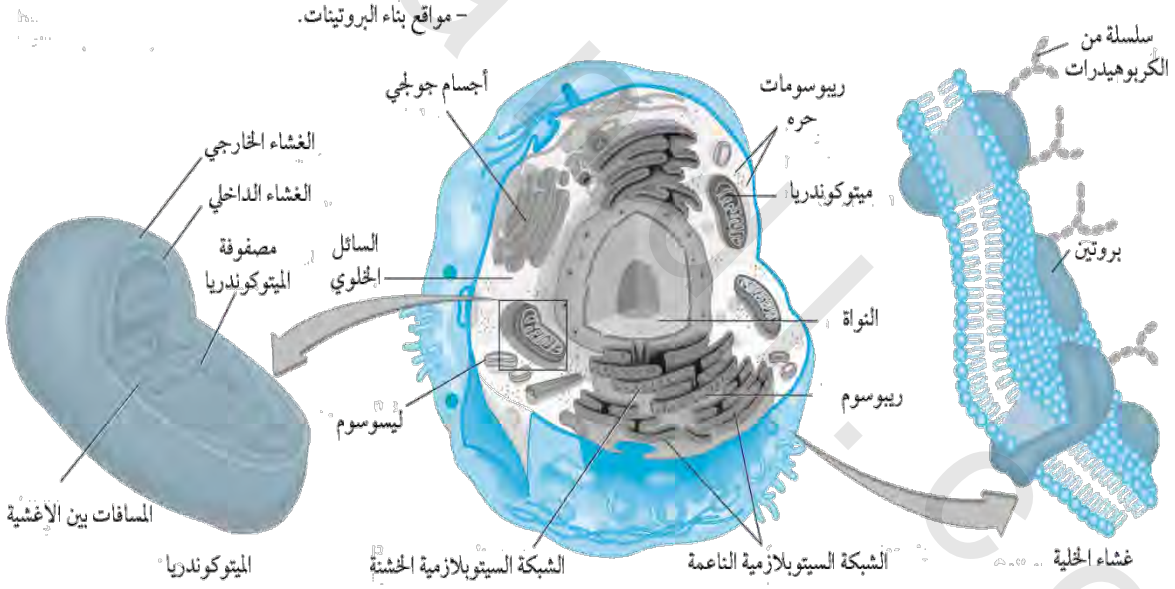
الشبكة السيتوبلازمية "Endoplasmic reticulum"
- غشاء واسع وممتد من الغشاء النووي.
- (ER) الغشاء السميك الخارجي، ويحتوي على الريبوسومات، مواقع بناء البروتينات.
- (ER) الغشاء الناعم الداخلي، خالي من الريبوسومات، ويحتوي على مواقع بناء الدهون.

أجسام جولجي "Golgi apparatus"
- نظام غشائي مكدس على بعض.
- موقع مهم للقيام بالتعديلات، والفرز، والتعبئة، والتغليف للمواد قبل النقل.

ليسوسوم "Lysosome"
- حويصلة تحتوي على إنزيمات مسؤولة عن هضم المواد داخل الخلية وإعادة إستخدامها.

الميتوكوندريا "Mitochondrion"
- تحتوي على غشائين مهمين خارجي وداخلي ملفوف وبينهم مسافات صغيرة جدًا. ويطلق عليه مصفوفة الميتوكوندريا.
- أحيانًا يطلق عليه بيوت الطاقة في الخلية. تعتبر مواقع لمعظم الطاقة (ATP) والقادمة من الكربوهيدرات، البروتينات، والدهون.
- حوالي 2000 ميتوكوندريا في الخلية الواحدة.

الريبوسوم "Ribosome"
- مواقع بناء البروتينات.



الشكل (٢٢, ٢). الأجزاء المكونة للخلية.

فلإعادة بناء الـ (ATP) يجب إعادة دمج ذرات الفوسفات الحرة إلى جزيئات الأدينوزين أحادي الفوسفات أو ثنائي الفوسفات. وهذه العملية تتطلب طاقة في حد ذاتها، والتي يمكن أن تؤخذ من الطاقة

المخزونة في الطعام (المواد الغذائية الكبيرة) . وتحتوي كل خلية من الخلايا العضلية في جسم الإنسان على مصنع للتمثيل الغذائي "Metabolic factory" وهذا المصنع مسؤول عن تصنيع طاقة الـ (ATP). (انظر الشكل ٢٣ , ٢) وداخل هذا المصنع يوجد تجمع الـ (ATP) "ATP pool". (مخزون الخلية المتاح بسهولة من الـ (ATP). ومع ذلك، فإن مخزون هذا المصنع من الـ (ATP) صغير جدًّا ويجب المحافظة عليه أثناء ممارسة الرياضة وأثناء الراحة من خلال ثلاث أنظمة مختلفة للطاقة (انظر الشكل ٢٣ , ٢).

المصانع الخلوية

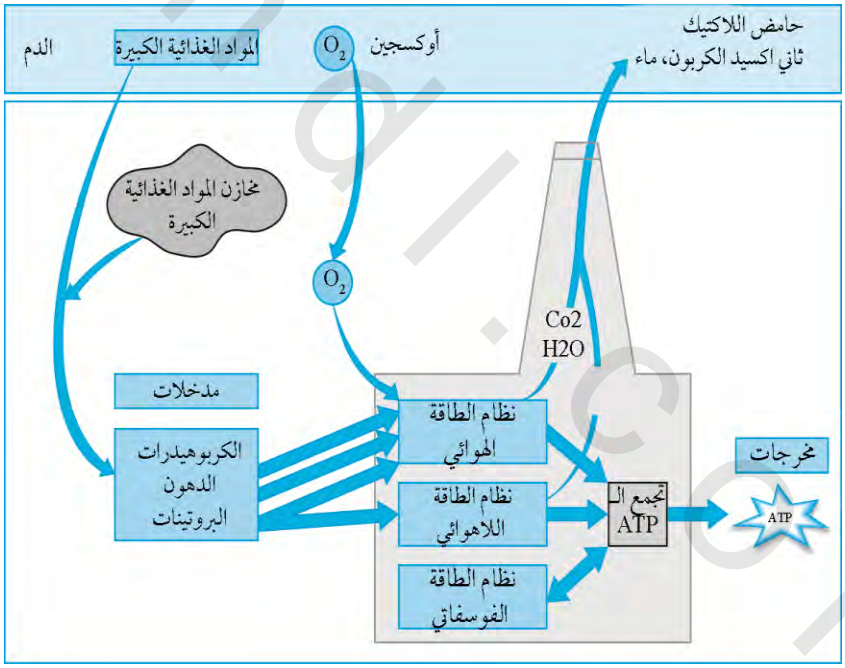
"Metabolic factory"

هي إنزيمات وعضيات الخلية والمسارات الخلوية المسؤولة عن إنتاج الطاقة في الخلية.

والنظام الأول للطاقة يعرف باسم النظام الفوسفاتي وهو مجرد مخازن متاحة من الفوسفات عالي الطاقة. وكذلك، فإن المصانع الأيضية لديها مخازن قليلة من الطاقة الجاهزة للاستخدام الفوري. ولحماية الخلايا من نفاد المخازن الصغيرة من الفوسفات عالي الطاقة، فهناك نوعان من الأنظمة الأخرى القادرة على تقديم مزيد من الـ (ATP) عندما يزيد الطلب (أي أثناء ممارسة الرياضة). وهذان النظامان يعتمدان على تكسير المواد الغذائية الكبيرة من خلال النظام الإنزيمي. وهما (النظام الهوائي) والذي يتطلب وجود الأكسجين لتكسير المواد الغذائية الكبيرة، والآخر هو (النظام اللاهوائي). وسوف نناقش كل نظام من نظم الطاقة بمزيد من التفصيل.

عاشرًا: ما هي نظم إنتاج الطاقة الثلاثة؟

نظم إنتاج الطاقة الثلاثة للخلايا العضلية هي النظام الفوسفاتي، النظام اللاهوائي، النظام الهوائي (انظر الشكل ٢٣ , ٢). ونظم الطاقة الثلاثة هذه لها خصائص مختلفة عندما يتعلق الأمر بسرعة إمداد الـ (ATP) (معدل الإنتاج) وقدرتهم على إنتاج الـ (ATP) (انظر الجدول ١ , ٢).



الشكل (٢٣ , ٢). التمثيل الغذائي للطاقة في الخلية.

openkanal.com

جدول ٢,١

مقارنة بين خصائص نظم الطاقة الثلاثة

نظم الطاقة	صعوبات نظم الطاقة	أقصى معدل من إنتاج الـ (ATP)	القدرة على إنتاج الـ (ATP)	فترة التأخير في إنتاج الـ (ATP)
الفوسفاتي	منخفضة: خطوة واحدة	سريع جدًّا	محدود جدًّا	لا يوجد
اللاهوائي	متوسطة: ١٢ خطوة	سريع	محدود	ثواني
الهوائي	عالية جدًّا: العديد من الخطوات	بطيء جدًّا	غير محدود	دقائق

والنقطة المهمة التي يجب تذكرها أن هذه النظم الثلاثة تعمل معًا للتأكد من أن إنتاج مصانع الأيض يلبي احتياجات الخلايا العضلية من الـ (ATP) في أي لحظة معينة. ومن خلال العمل معًا يمكن لأنظمة الطاقة الثلاثة المحافظة على تجمعات الـ (ATP) لمختلف الأنشطة سواء في الراحة أو السرعة أو الحركات المتفجرة.

تجمع الـ (ATP) "ATP pool"
هي مجموع الـ (ATP) الجاهز داخل الخلية العضلية.

ما هي خصائص النظام الفوسفاتي؟

النظام الفوسفاتي هو أبسط نظم الطاقة الثلاثة. ويعرف بنظام الطاقة الفوري " Immediate energy system"؛ لأنه يخدم احتياجات الطاقة الفورية للخلايا العضلية. على سبيل المثال، عندما يبدأ الرياضيون بسرعة من على مكعب البدء في السباق، يجب أن يكون هناك مصدر فوري للطاقة يمكنهم من البدء بأقصى سرعة في أجزاء من الثانية من حالة السكون. فإذا كان الـ (ATP) غير متاح بسهولة في بداية السباق فسوف تعمل عضلات الرياضيين بسرعة لإمداد العضلة بالـ (ATP) من خلال المسارات الأيضية. ولأن المسارات الأيضية تأخذ وقتًا طويلًا ، فسوف تكون هناك فترة تأخير قبل زيادة إنتاج الـ (ATP) وجعله متاحًا. وباستخدام مثال مصنع التمثيل الغذائي فالنظام الفوسفاتي هو مخزون من الفوسفات عالي الطاقة يتم تخزينه في الموقع، ويكون جاهزًا للاستخدام الفوري. والمخزون من الفوسفات عالي الطاقة يعمل كدرع واقٍ؛ مما يسمح لنظم إنتاج

نظام الطاقة الفورية "Immediate energy system"
يتكون من الفوسفات عالي الطاقة وكرياتين الفوسفات ، وهو قادر على إنتاج الطاقة بمعدل سرعة عالٍ.

النظام الفوسفاتي "Phosphagen system"
يتكون من فوسفات عالي الطاقة ، وكرياتين الفوسفات ، ويعرف بأسرع مصدر في إمداد الطاقة .

النظام اللاهوائي "Anaerobic System"
هذا النظام يوفر الطاقة في غياب الأكسجين وينتج حامض اللاكتيك.

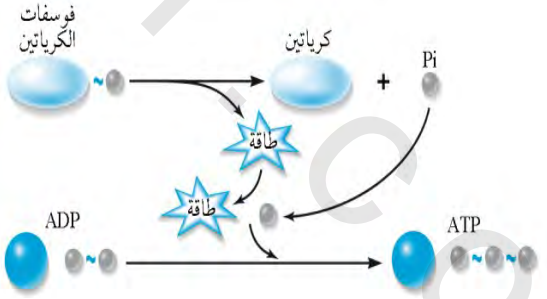
النظام الهوائي "Aerobic system"
يعتمد على الهواء في إنتاج الـ (ATP) دون عن النظم الأخرى فهو أبطأهم في إنتاج الـ (ATP) ولكن بقدرة لانهائية في الإنتاج.

obeikandi.com

الطاقة الأخرى لإنتاج الـ (ATP) بدون فترة تأخير في توافر الطاقة. وعلى وجه التحديد، فالمنتجات عالية الطاقة المخزونة في الخلية هي الـ (ATP) (تجمعات الـ (ATP).وعنصر آخر عالي الطاقة يعرف بكرياتين الفوسفات "Creatine phosphate" (CP)،أو بالعكس فوسفات الكرياتين "Phosphate creatine" (PC) وفوسفات الكرياتين هو فوسفات عالي الطاقة وبخطوة واحدة يمكن أن يمد الأدينوزين ثنائي الفوسفات بذرة فوسفات لتكوين ثلاثي فوسفات الأدينوزين (انظر الشكل ٢٤ , ٢). ويتم هذا من خلال الإنزيمات الكيميائية والمعروفة بإنزيم كرياتين الكينيز "Creatine Kinase" [3].

كرياتين الفوسفات
Creatine Phosphate (CP)
نظام فوسفاتي عالي الطاقة مخزون داخل العضلة.

كرياتين الكينيز Creatine Kinase
الإنزيم المسؤول عن نقل الفوسفات من كرياتين الفوسفات لثنائي فوسفات الأدينوزين لتكوين ثلاثي فوسفات الأدينوزين.



الشكل (٢٤ , ٢). نظام الـ (CP -ATP) لإنتاج الطاقة. للحفاظ على مستويات ثابتة نسبيًا من الـ (ATP) خلال الثواني الأولى من الأنشطة العالية الشدة ، فوسفات الكرياتين يطلق طاقة لدمج ذرة الفوسفات مع ثنائي فوسفات الأدينوزين لينتج الـ (ATP).

فكلٌّ من تجمع الـ (ATP) وتفاعلات كرياتين الكينيز يعطي أعلى معدل من الطاقة لإنتاج الـ (ATP) بخلاف مصادر الطاقة الأخرى مما يوفر طاقة مستمرة للخلايا. ومعدلات إنتاج الـ (ATP) السريع تجعل الاعتماد على النظام الفوسفاتي لإنتاج الطاقة خلال الانقباضات العضلية السريعة والقوية (انظر الشكل ٢٥ , ٢أ، ب). وعلى الرغم من أن النظام الفوسفاتي يمكن أن يمد بالـ (ATP) بمعدلات سريعة، ولكن بكميات محدودة. وبالأخص عند عدم توافر النظامين الآخرين للإمداد بالـ (ATP). ويوفر النظام الفوسفاتي طاقة لمدة من ٥ إلى ١٥ ثانية، اعتمادًا على شدة الأنشطة [4]. ويعمل النظام الفوسفاتي كدرع واقٍ للإمداد بالـ (ATP) حتى يشترك النظامان الآخران في الإمداد بكميات أكبر.

ما هي خصائص أنظمة الطاقة الهوائية واللاهوائية؟

بخلاف النظام الفوسفاتي، والذي هو أساس الفوسفات عالي الطاقة المتاح للخلايا.

فهناك نظام الطاقة الهوائي واللاهوائي والذي ينتج الـ (ATP) من خلال العديد من الخطوات المعقدة في الخلية (انظر الجدول٢. ١).

ونتيجة لوجود فترة تأخير في الوقت قبل أن يبدأ النظامين الهوائي واللاهوائي بالإمداد بالـ (ATP) عند بداية النشاط أو عند التغير في الشدات. فيتم تجهيز الـ (ATP) عبر مسارات التمثيل الأيضي " Metabolic pathways" سواء اللاهوائية أو الهوائية.

openkanal.com

ومسارات التمثيل قد تكون مسارات بناء "Anabolic pathways" تتطلب طاقة، وتؤدي إلى تشكيل جزيئات أكثر تعقيدًا، أو مسارات هدم "Catabolic pathways" تطلق الطاقة، وتؤدي إلى انهيار الجزيئات (انظر الشكل ٢,٢٦).

ومسارات التمثيل الهوائي واللاهوائي تعتبر مسارات هدم. وباختصار مسارات التمثيل الهوائية واللاهوائية عبارة عن خطوات متتابعة لتكسير الطاقة الموجودة في الطعام (الكربوهيدرات ، الدهون ، البروتينات) (انظر الجدولين ٢,٢ ، ٢,٣).

جدول ٢,٢

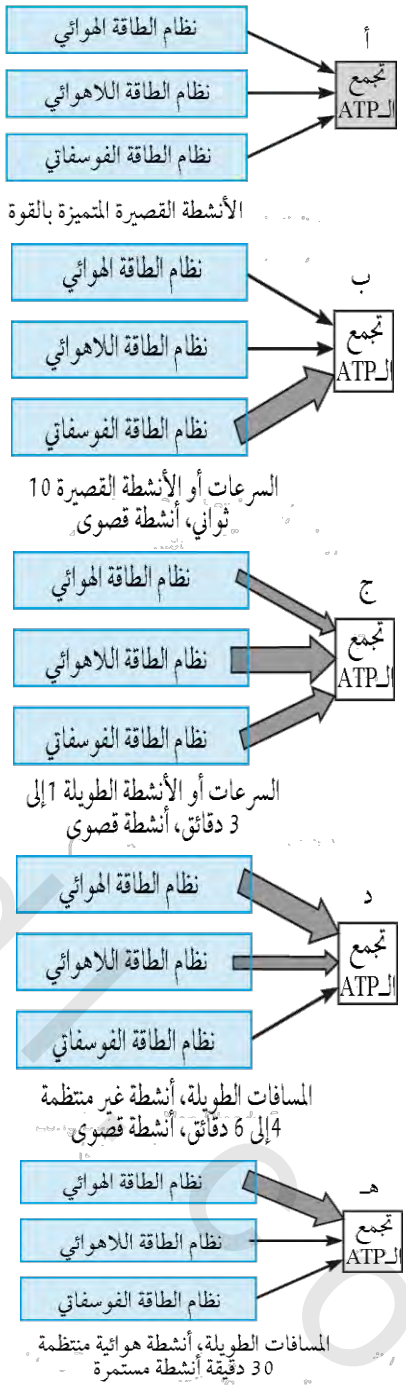
مسارات التمثيل الأيضي بالاشتراك مع نظم الطاقة الثلاثة

	النظام الفوسفاتي	النظام اللاهوائي	النظام الهوائي
مسارات التمثيل الأيضي	لايوجد	تحلل السكر Glycolysis	بيتا – للأكسدة تحلل السكر نزع الأمين دورة حامض السيتريك سلسلة نقل الإلكترون

جدول ٢,٣

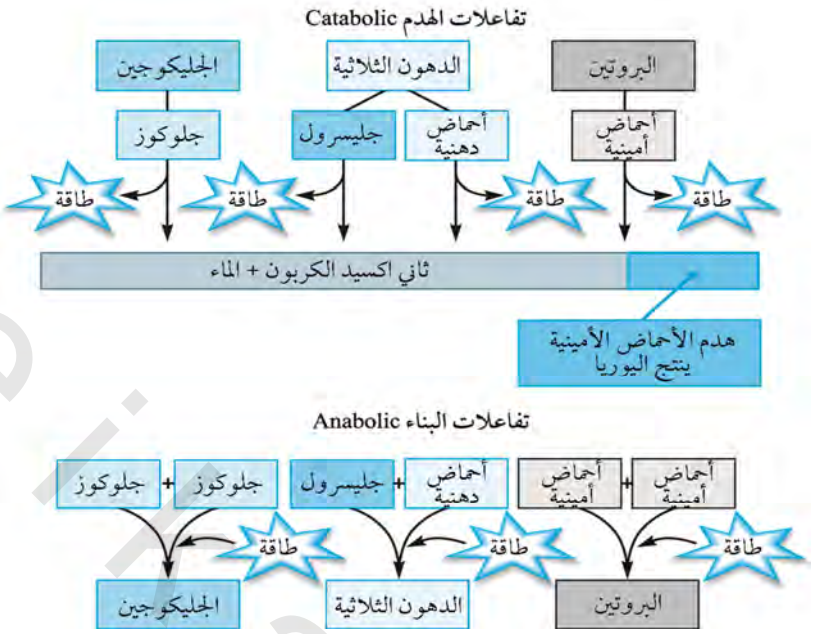
المواد الغذائية المولدة للطاقة ومسارات التمثيل الهوائي لاستخراج الطاقة

	الكربوهيدرات	الدهون	البروتينات
*تحلل السكر	١		
*بيتا- للأكسدة		١	
*نزع الأمين			١
*دورة حامض السيتريك	٢	٢	٢
*سلسلة نقل الإلكترون	٣	٣	٣



الشكل(٢,٢٥). نظم إنتاج الطاقة الثلاثة تعمل معًا لمواكبة احتياجات الطاقة لأي مستوى من مستويات الأنشطة البدنية. وسماكة الأسهم يدل على مدى مساهمة نظم الطاقة المختلفة.

openkanon.com



الشكل (٢٦ , ٢). عملية الهدم والبناء. عمليات الهدم تكسر الجزيئات وتطلق الطاقة. وعمليات البناء تستهلك الطاقة وتبني الجزيئات المعقدة.

وبعبارة أخرى، فإن مسارات التمثيل تتجمع في اتجاه معاكس (أي خطوط تكسير). بدلًا من بناء شيء بطريقة منهجية تدريجية، فمسارات التمثيل الأيضي تكسر جزيئات الطعام ببطيء بطريقة منظمة تدريجية.

وهذا يساعد الخلايا على الحصول على مصادر أكبر للطاقة من الطعام لتكوين الـ (ATP). وعلى الرغم من أن هناك بعض القواسم المشتركة في مسارات التمثيل الأيضية المطلوبة لكسر الكربوهيدرات والدهون والبروتينات، ولكن هناك مسارين فريدين اعتمادًا على المواد الغذائية المتمثلة أو توافر كميات الأكسجين.

ما هو مسار التمثيل الأيضي المشارك مع نظام الطاقة اللاهوائية؟

نظام الطاقة الثاني هو نظام الطاقة اللاهوائية (انظر الشكل ٢٧ , ٢)، وهو أحد المسارات للتمثيل الأيضي، ويسمى تحلل السكر لاهوائيًّا " Anaerobic Glycolysis".

مسارات التمثيل الأيضي "Metabolic pathways"
تنظم بتسلسل تفاعلات التمثيل الأيضي والتي تحفز الإنزيمات مما ينتج عن تكسير المواد الكيميائية داخل الجسم.

مسارات البناء "Anabolic pathways"
تتطلب طاقة وتؤدي إلى تشكيل جزيئات أكثر تعقيداً.

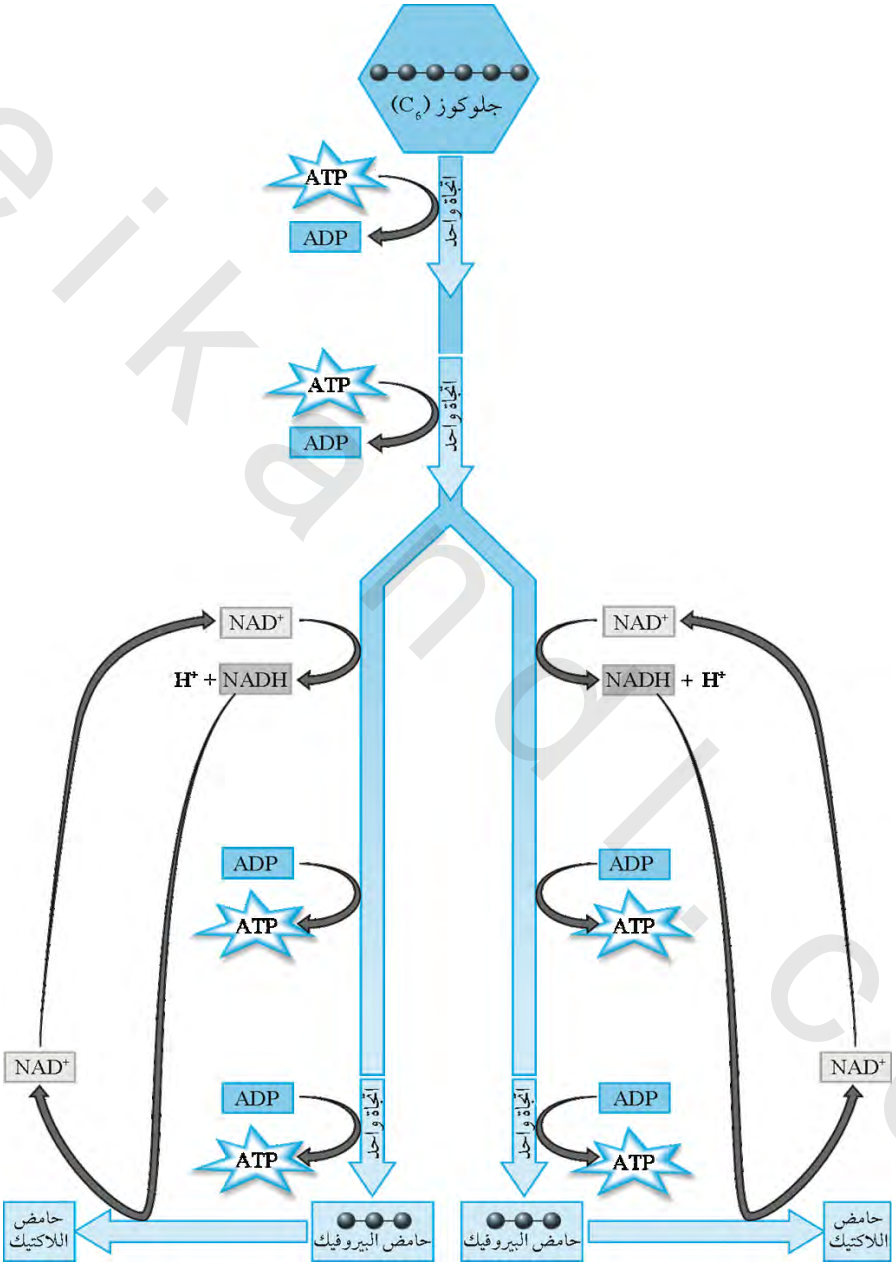
مسارات هدم "Catabolic pathways"
تطلق الطاقة وتؤدي إلى انهيار الجزيئات.

لاهوائي "Anaerobic"
مصطلح يستخدم في حالة عدم وجود الأكسجين.

obeikandl.com

المـواد الغذائيـة الكبـيرة الوحيـدة التـي يمكـن استخلاصها من مسارات التمثيل الأيضية المشاركة من تكسيرها من خلال هذا المسـار هـي الكربوهيـدرات. خلال نظام الطاقة الهوائية.

والطاقـة المسـتمدة مـن الـدهون والبروتينـات يـتم



الشكل (٢٧, ٢). تحلل الجلوكوز لاهوائيًا.

obeikandl.com

تحلل الجلوكوز "Glycolysis" من المسار ات الفريدة من حيث إنها يمكن أن تكون جزءًا من كـل مـن نظـم الطاقة اللاهوائية والهوائية.

تحلل الجلوكوز "Glycolysis"
مسارات تمثيل أيضية مسؤولة عـن تكسـير الجلوكـوز. وأنهـا فريدة لأنها يمكـن أن تعمـل في وجود أو غياب الأكسجين.

وعند عدم تـوافر كميـا ت كافية من الأكسـجين أو يكون غـير متاحًـا، وهنـاك الحاجة للطاقة فيكون المنـتج النهائي لتحلل الجلوكوز(البيروفيك) ويـتم تحويلـه إلى حامض اللاكتيك (انظر الشكل ٢٧ , ٢).

وهذه الخطوة الأخيرة تُمكن طريقة تحلل ال جلوكـوز من مواصلة إنتاج الـ (ATP) دون الحاجة إلى الأكسـجين. وهذا هو سبب تسميته بنظام الطاقـة اللاهوائيـة. وكلمـة لاهوائي تعني بدون أوكسجين. وبـالعكس عنـد وجـود الأكسجين، لا يتحول البيروفيك إلى حامض اللاكتيـك. فبدلًا من ذلك يتم تحويلـه إلى مسـارات أيضـية أخـرى، والتي ترتبط مـع أنظمـة الطاقـة الأخـرى، وسـوف تـتم مناقشتها في المقاطع التالية.

وبخلاف النظام الفوسفاتي الذي هو خطوة واحـدة ، يحتوي النظام اللاهوائي على مسارات أيضية (مثـل تحلـل الجلوكوز) من ١٢ خطوة. ولأنه أطول وأكثر تعقيدًا مـن النظام الفوسفاتي ، فإنه أبطأ قليلًا للتكيف مـع التغـيرات في مستوى النشاط. ومع ذلك فهو أسرع بكثـير للإمـداد بالطاقة عن النظام الهوائي (أبطأ الأنظمة الثلاثـة). فنظـام الطاقة اللاهوائي مسـاهم رئيسي ـ في الأنشـطة القصـوى والتي تستمر من ١ إلى ٣ دقائق (انظر الشكل ٢٥ , ٢ج)، ففي خلال هذه الأنشطة يقـل تـوفر الأكسـجين بسـبب تقلصات العضلات المكثفة والتي تسد الأوعيـة الدمويـة وتُحد من تسليم الأكسجين بما يكفي لتلبي ة الطلـب عـلى الطاقة بشكل كامل من هذا النشاط.

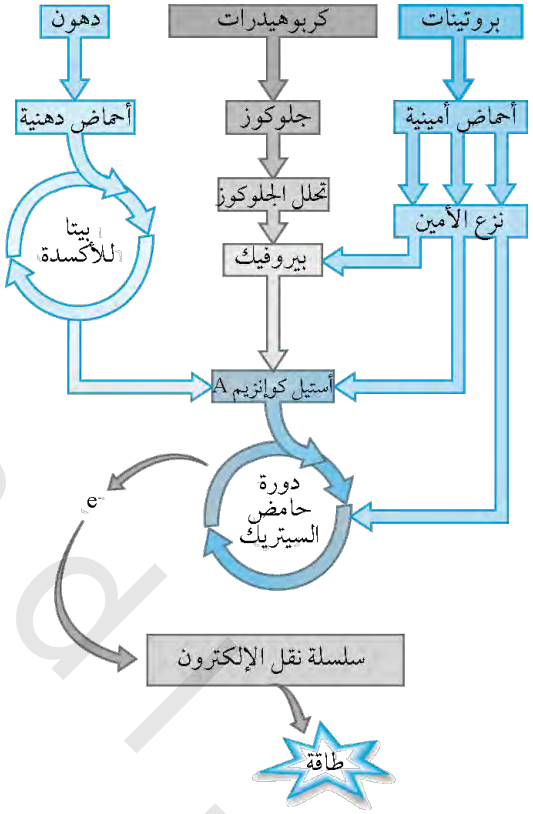
وعلى الرغم مـن أن معـدل سرعـة إنتـاج الـ (ATP) مرتفع إلى حد ما في النظام اللاهوائي لكن كميـة الإنتـاج محدودة (انظر الجدول ١ , ٢). والمنتج النهـائي مـن تحلـل الجلوكوز لاهوائيًا هو حـامض اللاكتيـك. وعنـدما يـتم إنتاج حامض اللاكتيـك بسرـعة يـتراكم في العضـلات ، وعندما يصل إلى مستويات عالية بما فيـه الكفايـة يحـدث التعب. ولتجربة ارتفاع نسبة حامض اللاكتيك على أحـد الأفراد يجري في المضمار بأسرع ما يمكن، نجد الإحساس بالحرارة في العضلات تكـون ناتجـة مـن تـراكم حـامض اللاكتيك بها.

ما هي مسارات التمثيل الأيضـي المشاركة مع نظام الطاقة الهوائي؟

بالمقارنة بنظم الطاقة الأخرى ، النظام الهوائي هو أبطأ النظم في إنتاج الـ (ATP)، ولكن لديه قدرة غـير محـدودة في الإنتـاج. فالنظـام الهـوائي يـوفر احتياجـات التمثيـل الأيضية أثناء وقت الراحة. وهو أيضًا نظام الطاقـة الـذي يعتمد عليه لفترات طويلة للأنشطة المستمرة التي يمكـن القيام بها من دقائق إلى ساعات. نظام الطاقة الهـوائي هـو

openkanal.com

أيضًا أطول وأكثر تعقيدًا من نظم الطاقة الثلاثة (انظر الجدول ١ , ٢). ويحتوي على خمسة مسارات أيضية مختلفة (انظر الجدول ٢ , ٢). والمسارات الأيضية المشاركة تعتمد على التركيب الكيميائي لجزيئات الغذاء المتحللة (انظر الجدول ٣ , ٢ والشكل ٢٨ , ٢).



الشكل (٢٨ , ٢). التمثيل الهوائي للمواد الغذائية الكبيرة.

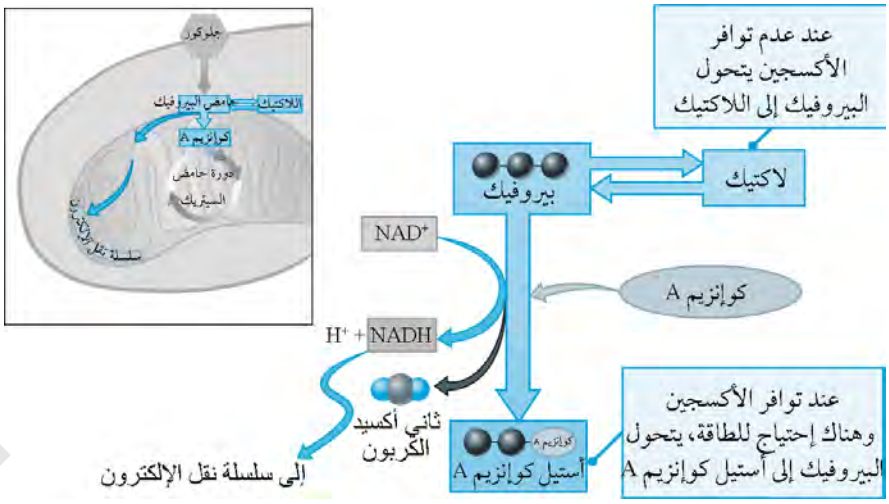
والناتج النهائي لنظام الطاقة الهوائي هو الـ (ATP) وثاني أكسيد الكربون والماء. وتجدر الإشارة إلى أن جزيئات ثاني أكسيد الكربون والماء هي نفس الجزيئات التي تستخدمها النباتات لإنتاج الكربوهيدرات، جنبًا إلى جنب مع الدهون والبروتينات. وباختصار، فإن النباتات تستخدم ثاني أكسيد الكربون من الهواء والماء من التربة والطاقة الضوئية من أشعة الشمس تستخدم لعمل مواد الطاقة الغذائية. وخلال عملية التمثيل الهوائي تكون خلايا الإنسان لديها القدرة على تحليل المواد الغذائية إلى مكوناتها الأساسية من ثاني أكسيد الكربون والماء ؛ وبالتالي تحرير الطاقة من المواد الغذائية (انظر الشكل ٢٦ , ٢) وفي خلال ذلك ينتج الـ (ATP). فثاني أكسيد الكربون والماء المنبعث من الأجسام تستخدمه النباتات مرة أخرى لتكوين مواد الطاقة الغذائية؛ وبالتالي استمرار دورة الطاقة الحيوية.

حادي عشر: ما هي المسارات المرتبطة بتحليل الكربوهيدرات هوائيًا؟

إن أول مسار أيضي للكربوهيدرات يجب أن يكون من خلال مسار تحلل الجلوكوز (انظر الشكل ٢٧ , ٢). عند عدم توافر الأكسجين يكون البيروفيك هو الناتج لتحلل الجلوكوز ويتحول إلى أستيل كوإنزيم (A) (Acetyl CoA) (انظر الشكل ٢٩ , ٢). ثم يتحول إلى حامض اللاكتيك من خلال التمثيل اللاهوائي. الأستيل كوإنزيم (A) يدخل دورة حامض السيتريك (كربس) (انظر الشكل ٣٠ , ٢) وهو مجموعة من

البيروفيك "Pyruvate"
هو الناتج النهائي لتحلل الجلوكوز.

دورة حامض السيتريك (كربس) "Citric acid cycle"
واحد من أهم مسارات الطاقة الهوائية.



الشكل (٢,٢٩). تحويل البيروفيك إلى أستيل كوإنزيم (A) . عندما يكون الأكسجين متوفر كل ذرة بيروفيك من ذرة جلوكوز تعتمد على ذرة أستيل كوإنزيم (A) وذرة (NADH) .

التفاعلات التي تحدث داخل خلايا الميتوكوندريا. والغرض الرئيسي من دورة حامض السيتريك (كربس) هو استخراج ذرات الهيدروجين أثناء المرور من خلالها. والنواقل الخاصة المسؤولة عن إخراج الهيدروجين تعرف بثنائي النوكليوتيد الأدينين نيكوتيناميد "Nicotinamide adenine dinucleotide" (NAD)، وفلافين ثنائي النوكليوتيد الأدينين " Flavin adenine dinucleotide" (FAD).

(NAD) و(FAD) يتحدان مع الهيدروجين لتكوين (NADH) و(FADH) على التوالي. وتنتقل ذرة الهيدروجين في نهاية المسار الهوائي إلى سلسلة نقل الإلكترون "Electron transport chain" (ETC) (انظر الشكل ٢,٣١).

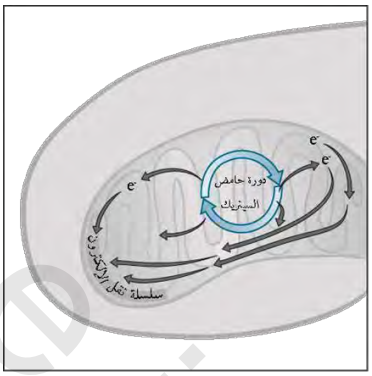
ويقع جزيء الهيدروجين المنتقل والمرتبط بسلسلة نقل الإلكترون على الغشاء الداخلي للميتوكوندريا. ويبدأ في الانتقال إلى سلسلة نقل الإلكترون (ETC) بمجرد إطلاق سراحه من (NADH) و(FADH) (انظر الشكل ٢,٣١). والناتج من (NAD) و(FAD) يرجع إلى دورة حامض السيتريك (دورة كربس) لحمل ذرات هيدروجين جديدة. ويتم نقل ذرات الهيدروجين إلى سلسلة نقل الإلكترون من جزيء إلى جزيء. وخلال هذه العملية تخرج الطاقة على شكل جزيئات الـ (ATP) والمستقبل النهائي للهيدروجين بعد الخروج من سلسلة نقل الإلكترون هو الأكسجين لتكوين الماء (انظر الشكل ٢,٣١).

ثنائي النوكليوتيد الأدينين نيكوتيناميد
Nicotinamide adenine dinucleotide (NAD)
هو أحد ناقلات الإلكترون والمسؤولة عن خروج الهيدروجين في إحدى خطوات المسار إلى خطوة أخرى.

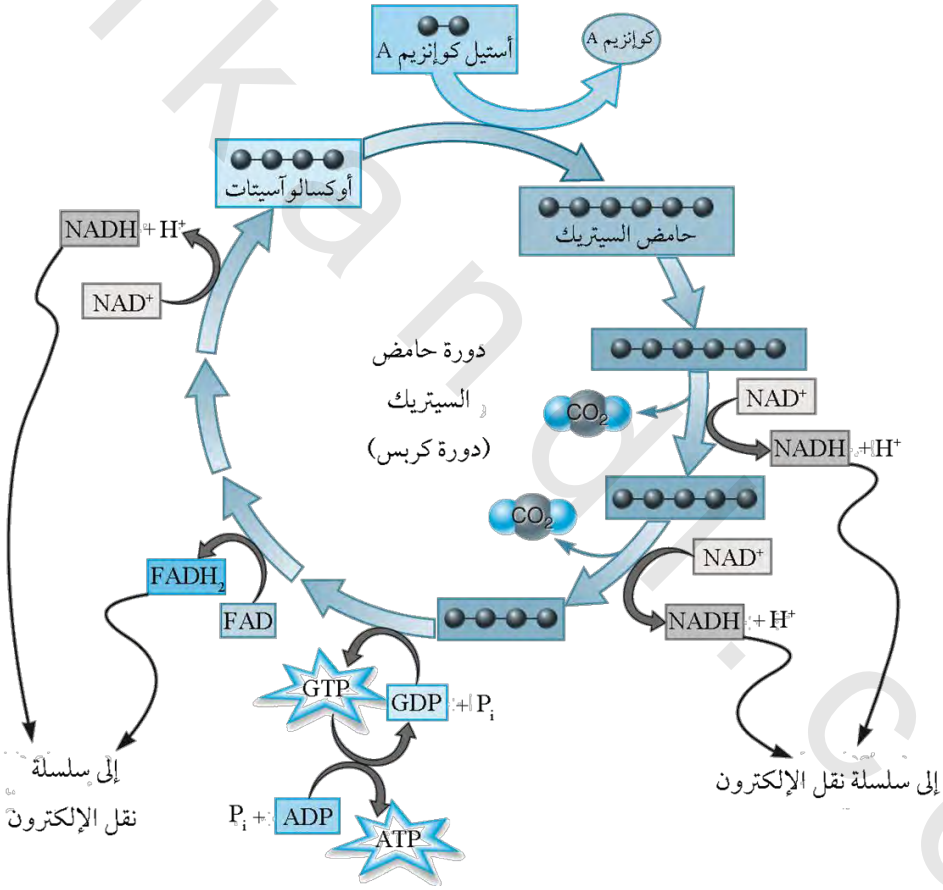
فلافين ثنائي النوكليوتيد الأدينين
Flavin adenine dinucleotid (FAD)
هو أحد ناقلات الإلكترون والمسؤول عن خروج الهيدروجين في إحدى خطوات المسار إلى خطوة أخرى.

سلسلة نقل الإلكترون
"Electron transport chain" (ETC)
هو الخطوة النهائية للمسار الأيضي لنظام الطاقة الهوائي.وهو المسؤول عن نقل الهيدروجين من عنصر كيميائي إلى آخر وخلال هذا النقل ينتج الـ (ATP) والماء.

openkanal.com

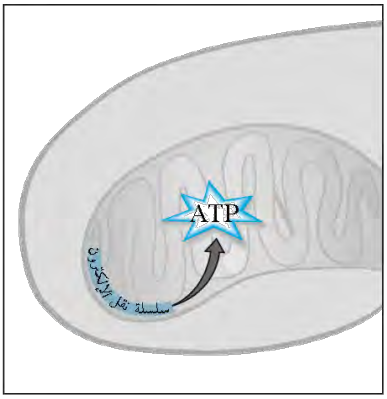


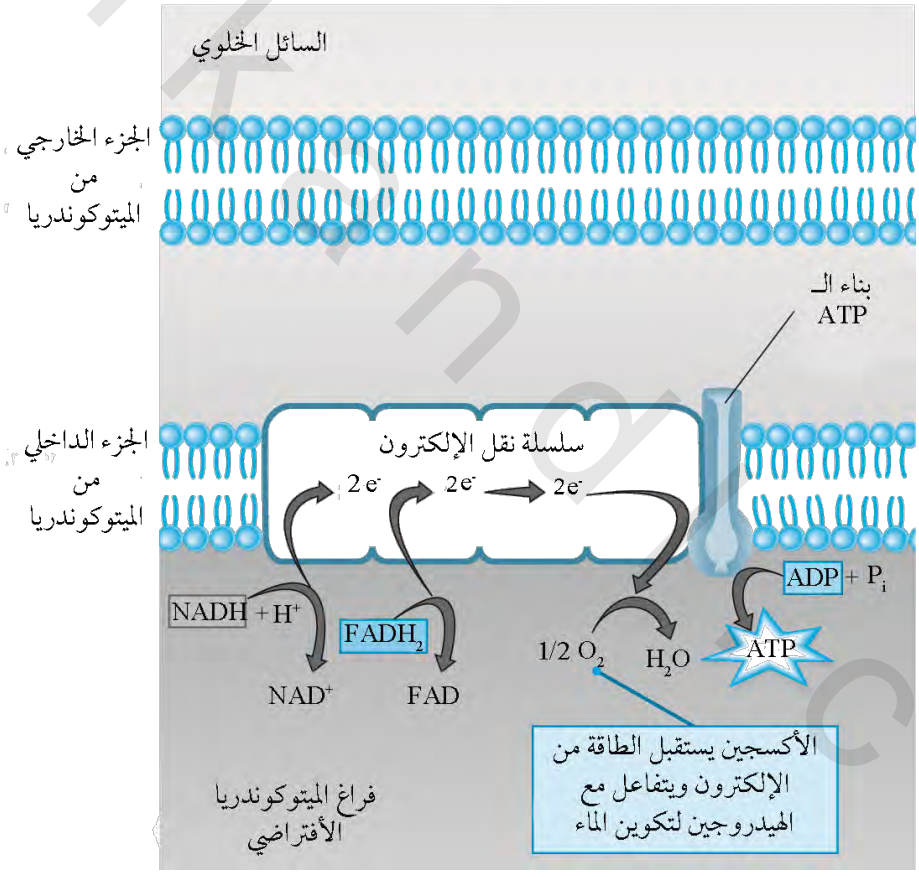
دورة حامض السيتريك (دورة كربس) تنتج 3 ذرات (NADH) وذرة (FADH) والتي تحمل زوجًا من الإلكترونات عالية الطاقة إلى سلسلة نقل الإلكترون. وهي أيضا تشكل ذرة (GTP) والتي تكون جاهزة إلى التحول إلى (ATP)



الشكل (٢,٣٠). دورة حامض السيتريك (دورة كربس). هذا المسار يأخذ الكربون مع الأستيل الكوإنزيم (A) لتكوين ثاني أكسيد الكربون (Co2) ، وثلاث ذرات (NADH) ، وواحد (FADH). وواحد (GTP) ذرة عالية الطاقة جاهزة للتحول إلى (ATP).

obeikan.com





الشكل (٢,٣١). سلسلة نقل الإلكترون. هذا المسار من التمثيل الأيضي ينتج معظم الـ (ATP) من الجلوكوز.

obeikandl.com

وسلسلة نقل الإلكترون (ETC) هي المسار الأيضي الذي يولد معظم الـ (ATP) خلال التمثيل الهوائي. والمشكلة هنا هو أن هذا المسار يأخذ وقتًا طويلًا لتكوين الـ (ATP) لزيادة الاستجابة للممارسة أو النشاط. دورة حامض السيتريك (دورة كربس) وسلسلة نقل الإلكترون من المسارات الأيضية المشتركة في مواد الطاقة الغذائية الثلاثة. وكما أشير سابقًا، ت م العثور على كل من هذه المسارات الأيضية في داخل خلايا الميتوكوندريا.

ولهذا السبب تسمى الميتوكوندريا "بيوت الطاقة الهوائية" داخل الخلايا. وتحفز تدريبات التحمل مسارات التمثيل الهوائية لإنتاج الطاقة بسرعة. وتكيف الخلايا للتدريبات التحمل يكون عن طريق زيادة حجم وعدد الميتوكوندريا؛ مما يسمح لمزيد من إنتاج الـ (ATP) هوائيًا [5]. هذا هو أحد الأسباب التي تجعل رياضيي التحمل يؤدون شدات عالية لفترات زمنية أطول من الأشخاص غير المدربين.

ثاني عشر: ما هي المسارات المرتبطة بتحليل الدهون والبروتينات هوائيًا؟

الدهون والبروتينات لا يمكن تحليلها بنفس طريقة تحلل الجلوكوز؛ وبالتالي يجب أن تمر عبر مسارات أخرى قبل الدخول في دورة حمض الأستيريك وسلسلة نقل الإلكترون (انظر الشكل رقم ٢٨, ٢). ويجب أن تمر الدهون عبر بيتا- للأكسدة "Beta-oxidation" للتمثيل وهو مسار داخل حدود الميتوكوندريا وعند مرور أي حمض دهني خلال بيتا- للأكسدة يخرج ذرتين كربون من نهاية التفاعل، كما تتكون ذرتان من كل من (NADH) و(FADH). ذرتا الكربون يتم تحويلهم إلى أستيل كوإنزيم (A) فيدخلا إلى دورة كربس وسلسلة نقل الإلكترون في النهاية. أما الـ (NADH) و (FADH) فينقلوا الهيدروجين إلى سلسلة نقل الإلكترون لتكوين الـ (ATP).

بيتا- للأكسدة "Beta-oxidation"
هو أول مسار للتمثيل الأيضي، والذي يخرج ذرتين من الكربون في أثناء مرور حمض دهني واحد.

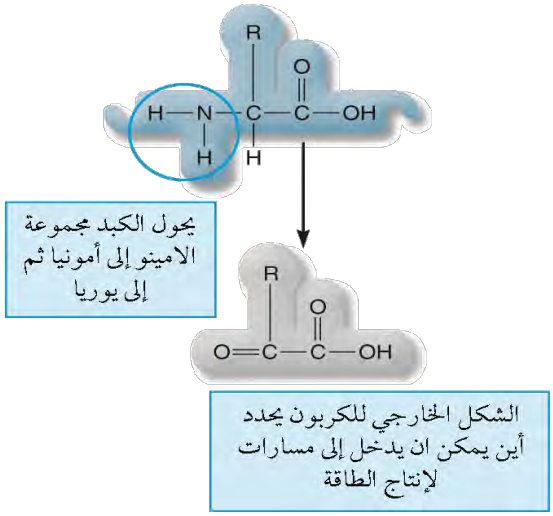
والبروتينات تحتوي على نيتروجين في تركيبها الكيميائي. هذه النيتروجينات يجب أن يتم إخراجها أولًا قبل أن يمكن تحويل البروتينات إلى طاقة. وتسمى هذه العملية المسؤولة عن خروج النيتروجين من البروتين بنزع الأمين "Deamination" (انظر الشكل ٣٢, ٢).

نزع الأمين "Deamination"
مسار التمثيل المسؤول عن نزع النيتروجين أو مجموعة الأمين من الأحماض الأمينية.

وبمجرد إزالة النيتروجين ، يمكن لجزيء الكربون المتبقي أن يمر عبر دورة كربس ثم إلى سلسلة نقل الإلكترون لتكوين الـ (ATP) (انظر الشكل ٢٨, ٢). ومع ذلك، تجدر الإشارة إلى أن البروتينات لا تعتبر

Openkanal.com

مصدرًا أساسيًّا للطاقة (أي إنها توفر أقل من ١٠٪ من الطاقة اللازمة للتدريب) إلا إذا كانت هناك احتياجات طاقة عالية، وكان هناك نقص في الكربوهيدرات [6].



الشكل. (٢,٣٢). نزع الأمين. هو عبارة عن نزع مجموعة الأمين من الأحماض الأمينية.

كيف يؤثر تناول الكربوهيدرات على عملية تمثيل البروتينات؟

عندما تكون الوجبات قليلة في الكربوهيدرات، أو عندما يؤدي اللاعب تدريبات تستهلك كل المخزون من الكربوهيدرات ، فالجسم يجب أن يوفر الكربوهيدرات من مكان آخر. فيحول الجسم البروتينات الموجودة إلى كربوهيدرات في عملية تعرف باستحداث السكر "Gluconeogenesis" (انظر الشكل ٢,٣٣).

وخلال عملية استحداث السكر يتم تكسير البروتين إلى أحماض أمينية، يتم نقلها إلى الكبد وتحويلها إلى كربوهيدرات وجلوكوز، بحيث يمكن استخدامها للحصول على الطاقة في خلايا الجسم. ولسوء الحظ بالنسبة للرياضيين، فإن معظم البروتينات المستخدمة في عملية استحداث السكر تأتي من العضلات [7].

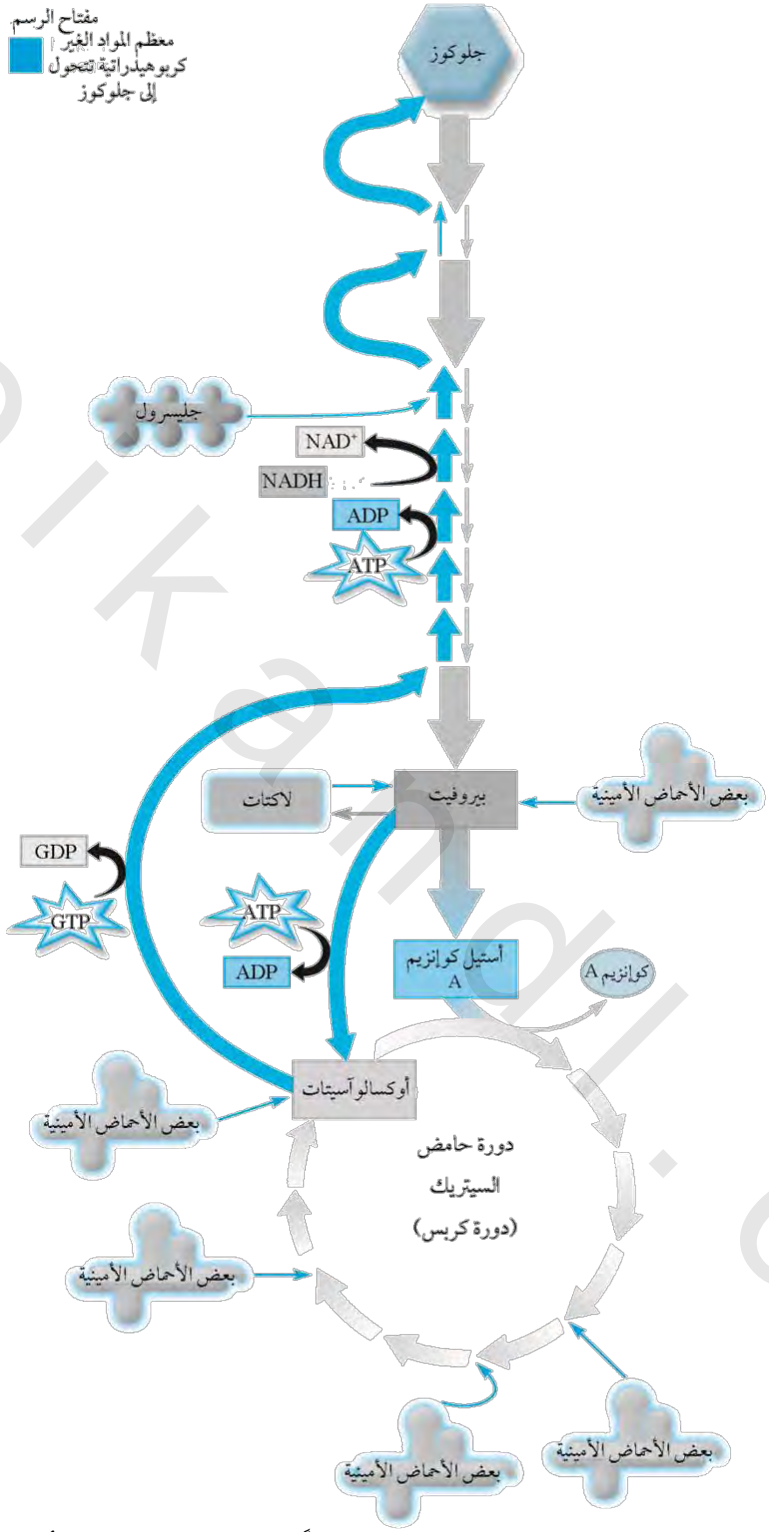
استحداث السكر "Gluconeogenesis"
تكوين الجلوكوز من مواد غير كربوهيدراتية مثل البروتين.

وهذا هو أحد الأسباب التي تجعل تناول الكربوهيدرات مهمًّا جدًّا بالنسبة للرياضيين. فإذا تم تناول كميات كافية من الكربوهيدرات لتلبية الطلب على الطاقة، وتم تجديد مخازن الكربوهيدرات بعد التدريب، فلا احتياج إلى تحويل البروتينات إلى كربوهيدرات، ويتم ادخار البروتينات لعملية البناء.

ثالث عشر: كيف يمكن لنظم إنتاج الطاقة العمل معًا لإمداد الجسم بالـ (ATP) خلال الرياضة؟

خلال الرياضة تعتمد متطلبات العضلة من الطاقة على شدة ومدة النشاط. وبعبارة أخرى الحركات البطيئة لا تحتاج للـ (ATP) بشكل سريع ومتتابع مثل الحركات السريعة والقوية. وكما تم الحديث في وقت سابق تجمع الـ (ATP) الموجود في خلايا العضلة صغير جدًّا. ولذلك؛ فمن الضروري أن تعمل نظم الطاقة الثلاثة معًا للحفاظ على مستويات الـ (ATP). ويجب أن نؤكد على أن خلايا العضلة لا تُستنفد أبدًا من الـ (ATP).

openkandi.com



الشكل (٣٣, ٢). استحداث السكر. خلايا الكبد والكلى تنتج جلوكوزًا من البيروفيت عن طريق أوكسالواسيتاتي "Oxaloacetate". طريقة استحداث السكر ليست طريقة عكسية لتحلل الجلوكوز.

obeikandl.com

وهكذا يحدث التعب في الأنشطة المكثفة، والتي تستهلك الـ (ATP) بسرعة بشكل لا يتثنى لنظم الطاقة الثلاثة بإمداد العضلات بالـ (ATP) (الشكل ٢١ , ٢). التعب يؤدي إلى انخفاض في مستوى النشاط؛ مما يؤدي إلى انخفاض الطلب على الطاقة؛ مما يتيح الفرصة لنظم الطاقة لتجديد مستويات الـ (ATP) مرة أخرى. ولمنع التعب وللحفاظ على مستويات من الـ (ATP) أعلى من مستوى العتبة الفارقة للتعب، يجب أن تعمل نظم الطاقة معًا، وتعمل على الاستفادة من خصائصها الفريدة لتلبية متطلبات التمثيل الغذائي للـ (ATP).

للحصول على الأداء المثالي

العلاقة بين تناول الكربوهيدرات واستهلاك البروتين يجب أن يتم استيعابها وفهمها بالنسبة للرياضيين. فبديل الكربوهيدرات هو بروتينات العضلات. ومن خلال قدرة الجسم على تكوين كربوهيدرات وجلوكوز من بروتينات العضلات عند نقص الكربوهيدرات أو عند زيادة حاجتها.

وفي الغالب تعتمد خلايا العضلات على النظام الهوائي أحد نظم الطاقة الثلاثة بسبب قدرته التي لا تنتهي في إنتاج الـ (ATP). وإذا كانت احتياجات الطاقة للنشاط منخفضة بما فيه الكفاية للنظام الهوائي لتلبية الطلب على الطاقة ، فيمكن للتدريب أن يستمر لوقت طويل. وهذه الحالة تسمى بحالة ثبات التدريب "Steady state exercise"، حيث يتم الوفاء بمتطلبات الطاقة في المقام الأول من قبل النظام الهوائي (انظر الشكل ٢٥ , ٢هـ). فكلما زاد التدريب الهوائي، زادت قدرة الرياضي على التحرك بسرعة مع وجوده في حالة ثبات التدريب.

ورياضيو التحمل يتدربون يوميًا لتحسين نظام الطاقة الهوائية في خلاياهم العضلية. وتستجيب خلايا العضلات لهذه المتطلبات اليومية من خلال زيادة العضيات الخلوية المسؤولة عن إنتاج الـ (ATP) مثل الميتوكوندريا. وكما ذكر سابقًا، فإن زيادة عدد وحجم الميتوكوندريا يُمكن الخلية من زيادة سرعة إنتاج الـ (ATP). وبما أن الـ (ATP) يمكن أن ينتج بشكل سريع فيمكن زيادة سرعة الأنشطة بينما الرياضيون لايزالون في حالة ثبات التدريب "Steady state".

حالة ثبات التدريب "Steady state exercise"

توفير احتياجات الـ (ATP) عند أي مستوى من الشدة في الأنشطة البدنية من خلال النظام الهوائي.

وهذا هو السبب الذي يسمح لعدائين المارثون العدو (٢٦,٢ ميلًا) بسرعات لا يمكن للأشخاص غير المدربين العدو بها لمسافة ميل واحد بدون تعب.

وعندما لا يمكن تلبية احتياجات العضلة من الطاقة من خلال النظام الهوائي يكون هناك الحاجة

obeikandl.com

للنظامين الآخرين لتلبية احتياجات الـ (ATP). وعندما تكون الأنشطة تؤدى بشكل أعلى من قدرة النظام الهوائي على تلبية الاحتياجات من الـ (ATP) ، وتكون إمدادات النظامين الآخرين منخفضة، فيمكن أن يستمر النشاط لفترة قبل أن يحدث التعب (انظر الشكل ٢٥ , ٢د). وكلما زادت شدة التدريبات ، قلت القدرة على إمداد الـ (ATP) من خلال النظام الهوائي، ويزيد الاعتماد على نظم إنتاج الطاقة الأخرى؛ مما يسبب التعب بسرعة. وعلى سبيل المثال إذا قرر عداء زيادة سرعته بشكل أسرع من سرعة السباق؛ فاحتياجات الـ (ATP) سوف ترتفع بسرعة مع عدم قدرة النظام الهوائي على الإمداد بالـ (ATP)؛ ولذلك فالنظام الفوسفاتي ونظام اللاهوائي سوف يساعدون في سد العجز في الطاقة بشكل طفيف. ومع ذلك فإن الطلب على هذين النظامين سوف يكون منخفضًا والعداء سوف يستطيع أن يحافظ على سرعته لمسافة ميل أو اثنين من قبل أن يبدأ حدوث التعب. ومن ناحية أخرى إذا أراد العداء أن يعدو بأسرع ما يمكن فإن احتياجات الـ (ATP) يجب أن تكون سريعة بشكل لا يمكن للنظام الهوائي أن يفي بها. وفي هذا السيناريو فإن العضلات سوف تعتمد بشكل أكبر على النظامين الآخرين من الطاقة وسوف يظهر التعب بشكل أسرع. فيجب أداء السرعة القصوى في الـ ٢٠٠ متر الأخيرة، وقبل نهاية السباق وقبل وصول الـ (ATP) إلى مستويات منخفضة جدًّا. وللتذكير فعند انخفاض مستويات الـ (ATP)، يحدث التعب (الشكل ٢١ , ٢).

وتتطلب تدريبات السرعة التركيز على النظام الفوسفاتي ونظام الطاقة اللاهوائي، ونتيجة لذلك فإن العضلات تتكيف على تدريبات السرعة. وتُزيد العضلات كمية الـ (ATP) والـ (CP) المخزون. بالإضافة إلى زيادة كمية الإنزيمات مثل إنزيم كريتين الكينيز والإنزيمات الأخرى المشاركة في النظام اللاهوائي. والنتيجة النهائية لرياضي السرعة هو الحفاظ على سرعته لأجزاء من الثواني أسرع في البطولة وبالتالي الفوز بها. والكرياتين أحادي الهيدروجين "Creatine monohydrate" (انظر الفصل التاسع) (العوامل المولدة لطاقة الأداء) هو عبارة عن مكملات غذائية تزيد من مستويات الـ (CP) في العضلات، وهذه من المواد الأكثر شعبية بالنسبة لرياضي السرعة والقوة[8]. الكرياتين أحادي الهيدروجين يعزز من قدرة نظام الطاقة الفورية لإنتاج الـ (ATP) وبالتالي تأخير التعب في الأنشطة عالية الشدة[9,10].

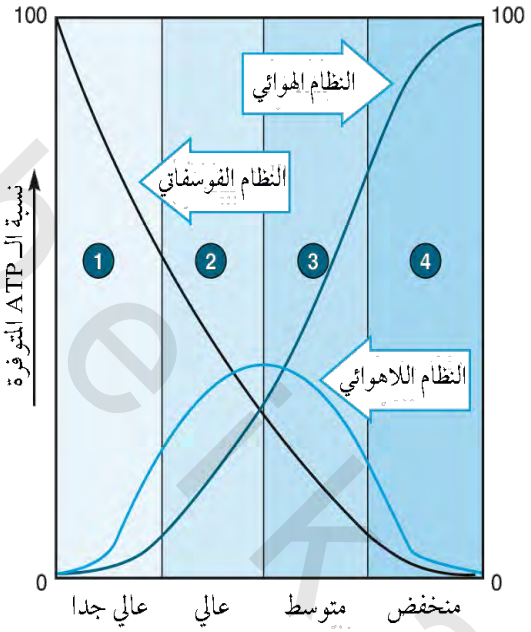
كرياتين أحادي الهيدروجين "Creatine monohydrate"
مكملات غذائية تزيد من قدرة العضلة على تدريبات القوة والقدرة من خلال زيادة كميات كرياتين الفوسفات في العضلات.

openkandil.com

أما بالنسبة للرياضيين الذين احتياجاتهم للطاقة ما بين رياضي السرعة ورياضي التحمل (المارثون) فيعتمدون على نظم إنتاج الطاقة الثلاثة معًا.

والاعتماد على أحد النظم يتوقف على نوع الرياضة. وبعبارة أخرى، هناك سلسلة متصلة لا تنقطع من الطاقة (استمرارية الطاقة) "Energy continuum" (انظر الشكل ٣٤, ٢). الطاقة اللازمة لمختلف الأنشطة الرياضية تقع في نقاط مختلفة على طول هذا التواصل في مجال الطاقة. وعلى سبيل المثال: فالرياضي الذي يعدو ميلًا واحدًا يتحرك بسرعة تكون ما بين عدائي السرعة وعدائي التحمل (انظر الشكل ٢٥, ٢د). والشدة لعدو ميل واحد تكون أعلى من أن يقدمها النظام الهوائي، ولكنها ليست قوية جدًّا لدرجة أنها تضع كل احتياجاتها من النظام الفوسفاتي وفي هذه الحالة يلعب النظام اللاهوائي دورًا كبيرًا مع النظام الهوائي لتوفير الاحتياجات من الـ (ATP).

وخلاصة القول، إن أي نشاط يعتمد على المزيج الأمثل لإنتاج الطاقة من خلال نظم الطاقة الثلاثة (الشكل ٣٤, ٢).



الشكل (٣٤, ٢). مساهمة نظم الطاقة الثلاثة في إنتاج الـ (ATP) لاستمرار الحد الأقصى من الأنشطة القصيرة جدًّا والعالية الشدة مثل دفع الجلة، والأنشطة المنخفضة الشدة والطويلة نسبيًّا لأطول من ٣ دقائق مثل المارثون. ملاحظة: كلما زادت مسافة التدريب، انخفضت شدة التدريب. المنطقة (١) تمتد من كسور الثانية وحتى ٣٠ ثانية. المنطقة (٢) تمتد من ٣٠ ثانية وحتى ١, ٥ دقيقة. المنطقة (٣) تمتد من ١, ٥ دقيقة وحتى ٣ دقائق. المنطقة (٤) تمتد من ٣ دقائق وأكثر.

openkandi.com

النقاط الرئيسية الواردة في هذا الفصل

- الجهاز الهضمي هو عبارة عن أنبوبة طويلة منطوية تمر عبر الجسم. يدخل الطعام فيها من الفم ويخرج من فتحة الشرج. ولا تعتبر المواد الموجودة في الجهاز الهضمي داخل الجسم إلا عندما يحدث امتصاص لها عبر الجدار المعوي.
- تشريح الجهاز الهضمي يشمل الفم ، والمريء، والمعدة، والأمعاء الدقيقة، والأمعاء الغليظة. وبعض الأعضاء المساعدة، بما في ذلك الغدد اللعابية، والبنكرياس، والكبد، والمرارة، والإنزيمات التي تفرز، والأملاح الصفراوية التي تساعد في الهضم.
- هضم المواد الكربوهيدرات يبدأ في الفم من خلال عملية المضغ الميكانيكية والإنزيمات اللعابية (الأميليز). ومع ذلك، فإن الغالبية العظمى من الهضم تحدث في الأمعاء الدقيقة من خلال تعرض المواد الغذائية لمختلف إنزيمات البنكرياس والأمعاء
- أثناء الهضم، يتم تقسيم المواد الكربوهيدراتية إلى مكوناتها الأساسية، السكريات الأحادية (البسيطة).
- امتصاص السكريات الأحادية يحدث في الأمعاء الدقيقة عن طريق الانتشار السلبي، والانتشار بالمساعدة ، والنقل النشط ، وهذا يتوقف على نوع السكر.
- بمجرد وصول السكريات الأحادية إلى الكبد من خلال الدم ، فتتحول جميع السكريات (مثل سكر الفاكهة) إلى جلوكوز. ويتم تخزين الجلوكوز على هيئة جليكوجين في خلايا الكبد أو تتم إعادته مرة أخرى إلى مجرى الدم للحصول على الطاقة أو تخزينه في خلايا الجسم الأخرى.
- هضم المواد الدهنية تبدأ في الفم عن طريق المضغ وإنزيمات الليبيز اللعابية. وتستمر عملية الهضم في المعدة من خلال حركة عضلات جدار المعدة وإنزيمات الليبيز المعدية. ومع ذلك، فإن الغالبية العظمى من الهضم تحدث في الأمعاء الدقيقة من خلال تعرض المواد الدهنية إلى مجموعة من إنزيمات الليبيز، والتي تبسطها إلى دهون ثلاثية وأحماض دهنية حرة ودهون أحادية.
- امتصاص الدهون يتم في الأمعاء الدقيقة أيضًا ، ويتم امتصاص سلاسل الأحماض الدهنية القصيرة والمتوسطة عن طريق الانتشار السلبي وتدخل مباشرةً إلى مجرى الدم. بينما سلاسل الأحماض الدهنية الطويلة والدهون الأحادية تحاط بواسطة الأملاح الصفراء لتشكيل المذيلات وتحمل إلى جدار الأمعاء، حيث يتم الإفراج عن الدهون من هذه المذيلات وامتصاصها من خلال الانتشار

obeikandl.com

السلبي. والدهون الممتصة من المذيلات تعيد تكوين الدهون الثلاثية، وتُحمل على الكيلوميكرونات وتخرج من الخلايا عبر الجهاز الليمفاوي وتدخل الدورة الدموية.

- الليبيز البروتيني الدهني والذي يقع على جدران الشعيرات الدموية وداخل المواقع الدهنية هو الإنزيم المسؤول عن دخول وخروج الدهون من المواقع الدهنية.
- يتم نقل الأحماض الدهنية في الدم إلى خلايا العضلات عن طريق الانتشار بالمساعدة بينما الدهون الثلاثية تُنقل من خلال الكيلوميكرونات بمساعدة الليبيز البروتيني الدهني الموجود في الشعيرات الدموية في العضلات. الليبيز البروتيني الدهني يكسر الدهون الثلاثية إلى أحماض دهنية والتي يتم نقلها بعد ذلك عبر غشاء الخلية العضلية. وبمجرد الدخول داخل الخلية العضلية يمكن تخزين الدهون، أو استخدامها للحصول على الطاقة.
- أثناء الهضم، يتم تقسيم البروتينات الغذائية إلى مكوناتها الأساسية وهي الأحماض الأمينية.
- هضم المواد البروتينية يبدأ في الفم عن طريق المضغ، ويستمر في المعدة من خلال حمض الهيدروكلوريك. وبمجرد الخروج من المعدة تستمر الإنزيمات في الأمعاء الدقيقة بعملية الهضم إلى أحماض أمينية وحيدة، أو سلاسل صغيرة من اثنين أو ثلاثة من الأحماض الأمينية.
- بقايا قليلة من البروتينات المهضومة يتم امتصاصها عن طريق الانتشار بالمساعدة أو النقل النشط في الأمعاء الدقيقة. وبمجرد الدخول إلى الخلايا المعوية، يتم تقسيم أي سلاسل من الأحماض الأمينية إلى أحماض أمينية وحيدة ثم تدخل في مجرى الدم.
- عند دخول الأحماض الأمينية إلى مجرى الدم ، تصبح جزءًا من تجمع الأحماض الأمينية بالجسم. فتجمع الأحماض الأمينية يشمل أيضًا الأحماض الأمينية الموجودة بالأنسجة الأخرى ، وفي المقام الأول العضلات والتركيب الجسمي والكبد. والدم مع مستويات الأحماض الأمينية يشكل جزءًا أساسيًّا من مجموع الأحماض الأمينية، والتي تكون في حالة توازن مع أجزاء الجسم الأخرى. وهذا يحافظ على مستويات الأحماض الأمينية، ويشكل مصدرًا ثابتًا ومتاحًا بسهولة للأحماض الأمينية في الجسم.
- امتصاص الأحماض الأمينية من الدم إلى خلايا وأنسجة الجسم يحدث من خلال الانتشار السلبي. فبمجرد دخول الخلايا يمكن استخدام الأحماض الأمينية لصنع البروتينات الضرورية المطلوبة من

openkandil.com

خلال عمليات النسخ والترجمة. فالجينات داخل النواة تنسخ المعلومات من خلال الريبوسوم الرسول. والذي يتم ترجمته لتكوين الأحماض الأمينية معًا لتكوين البروتينات الخاصة الضرورية.

- المعادن والفيتامينات ، والماء لا يحتاج إلى تكسيره إلى مكونات أبسط حتى يمكن امتصاصه.
- هضم الطعام يطلق المعادن والفيتامينات ويسهل امتصاصهم. معظم امتصاص المعادن والفيتامينات يتم في الأمعاء الدقيقة. باستثناء الصوديوم، والبوتاسيوم، والكلوريد، وبعض فيتامين (ك)، والذي يتم امتصاصه في الأمعاء الغليظة.
- بدون معرفة أنظمة الطاقة الثلاثة وكيفية عملها معًا لتوفير الطاقة خلال الأنشطة الرياضية المحددة، لن يستطيع أخصائي التغذية للرياضيين تخطيط وجبات غذائية فردية للرياضيين.
- الطاقة هي الكيان الذي يتم شرحه أو تعريفه بأنه لا يوجد لدية شكل، أو مميزات توصف، وليس له كتلة جسدية. الطاقة تمكن الرياضيين من أداء العمل البدني وتقاس بالسعر الحراري (Kcals) وجميع الوظائف الحيوية تتطلب الطاقة ومجموع الطاقة الكلية التي يحتاجها الجسم يوميّا لعمليات استخراج القوة والأنشطة الخلوية تسمى التمثيل الغذائي "Metabolism".
- الطاقة موجودة في ستة أشكال أساسية هي: النووية ، والكيميائية، والكهربائية، والميكانيكية، والحرارية، والإشعاعية. ومع ذلك فالشكل الأساسي الذي يعتمد عليه الإنسان والحيوان من أجل البقاء هو الطاقة الكيميائية.
- المواد الغذائية الكبيرة (الكربوهيدرات، والدهون، والبروتينات) هي مواد الطاقة. والطاقة تكون محبوسة في الروابط الكيميائية بين المواد الغذائية الكبيرة، وتستخدم في صنع مواد عالية الطاقة تعرف بالأدينوزين ثلاثي الفوسفات (ATP). الـ (ATP) هو المصدر المباشر للطاقة لجميع الأعمال البيولوجية. ودور مصنع التمثيل الغذائي هو إطلاق الطاقة الكيميائية المخزونة في المواد الغذائية الكبيرة لتكوين ثلاثي فوسفات الأدينوزين.
- دراسة طاقة التمثيل الغذائي أو الطاقة الحيوية هي دراسة كيفية الحصول على الطاقة ، ونقلها ، واستخدامها في النظم البيولوجية. نظم الطاقة الثلاثة المسؤولة عن إنتاج الـ (ATP) هي النظام الفوسفاتي، والنظام اللاهوائي، والنظام الهوائي. وكل من هذه الأنظمة له خصائصه الفريدة ولكنها يعمل سويًّا لتزويد اللاعب باحتياجاته الخاصة من الـ (ATP).
- لتمثيل المواد الغذائية واستخراج الطاقة (ATP)،

obeikandl.com

يجب أن تمتلك الخلايا الإنزيمات التي تكسر بها المواد الغذائية وتطلق الطاقة. إنزيمات النظام الفوسفاتي والنظام اللاهوائي توجد داخل سيتوبلازم الخلية. وتوجد غالبية الإنزيمات والمركبات الجزئية الهامة للنظام الهوائي داخل العضيات المتخصصة والمعروفة باسم الميتوكوندريا. ونتيجة لذلك يشار أحيانًا إلى الميتوكوندريا باسم (بيوت الطاقة الهوائية) داخل الخلية.

- يمكن تمثيل المواد الكربوهيدراتية لاستخراج الطاقة بالطريقة الهوائية واللاهوائية. وفي الواقع فإن الكربوهيدرات هي المادة الغذائية الكبيرة الوحيدة التي يمكن أن تستخدم في النظام اللاهوائي. أما الدهون والبروتينات يتم تمثيلهم فقط من خلال النظام الهوائي وهذا من ضمن أسباب أهمية المواد الكربوهيدراتية للرياضيين.
- النظام الهوائي يتكون من خمسة مسارات للتمثيل الغذائي ، ثلاثة منها فريدة من نوعها لكل نوع من مواد الطاقة. الكربوهيدرات يتم تمثيلها من خلال تحلل السكر، ثم دورة حامض السيتريك ثم سلسلة نقل الإلكترون. الدهون يجب أن تذهب عن طريق بيتا- للأكسدة، ثم دورة حامض السيتريك، ثم سلسلة نقل الإلكترون. البروتينات والتي هي غالبًا لا تكون مصدرًا أساسيًّا للطاقة، أولًا تتم إزالة مجموعة الأمين، ثم يتم تمثيلها عبر دورة كربس، ثم سلسلة نقل الإلكترون.
- أنظمة الطاقة الثلاثة تعمل باستمرار معًا للحفاظ على التجمعات الصغيرة من الـ (ATP) داخل الخلية. وفي أي مرحلة من سلسلة استمرارية إنتاج الطاقة من الراحة وحتى أقصى الحركات البدنية ، تعمل نظم إنتاج الطاقة الثلاثة معًا للمحافظة على مستويات الـ (ATP). مستويات الـ (ATP) لا يمكن أن تنتهي في الخلايا وإذا لم تستطع نظم إنتاج الطاقة من استيفاء متطلبات الطاقة يحدث التعب. بطء الأداء البدني الناتج عن التعب يعطي الفرصة لنظم إنتاج الطاقة الأخرى لمنع استنفاد الـ (ATP).

أسئلة الفصل:

١-ما هي المكونات التشريحية المختلفة في الجهاز الهضمي؟

٢-ماهي بعض أوجه التشابه في معالجة الجهاز الهضمي لكل من الكربوهيدرات، والدهون، والبروتينات؟ وكيف يختلف الهضم فيما بينهم؟

٣-ما هي الطرق الأربع في عملية الامتصاص؟

٤-عملية الهضم تكسر المواد الغذائية الكبيرة إلى مكوناتها الأساسية حتى يسهل هضمها.؟ وماهي

obeikandl.com

المكونات الأساسية لكل مادة غذائية كبيرة؟

٥-ما الفرق بين المذيلات والكيلوميكرونات؟

٦-ما هو مصير كل من السكريات، والدهون، والأحماض الأمينية التي تطلق في مجرى الدم أثناء عملية هضم الأطعمة؟

٧-كيف تتكون خلايا البروتينات؟ أين توجد تعليمات تركيب البروتين، ماهي العمليات الداخلة في تركيب البروتينات؟

٨-ما هي الطاقة؟ ماهي الأشكال المختلفة من الطاقة؟ ما هو أهم أشكال الطاقة لوظائف أعضاء الإنسان؟

٩-ما هي المواد الغذائية الرئيسية الكبيرة؟ وما هو دور كل منهما في تزويد الجسم بالطاقة؟

١٠-ما هي نظم إنتاج الطاقة الثلاثة؟ وما هي خصائصها فيما يتعلق بمعدلها وقدرتها على إنتاج الطاقة (ATP)؟

١١-ما هي العضيات الخلوية التي تسمى بيوت الطاقة الهوائية؟ اشرح لماذا تم تسميتها.

١٢-عداء على مستوى عالٍ يعدو سباق ٢٧ كيلومترًا وطاقته الحيوية في حالة ثابتة. ما هي أنظمة الطاقة المساهمة في إنتاج هذه الطاقة الحيوية؟ وما هو نظام الطاقة الرئيسي المشارك في المحافظة على هذا الثبات؟

١٣-ما هو نظام الطاقة الرئيسي المشارك في إنتاج الـ (ATP) للاعب الرمي؟

١٤-رياضي يعدو سباق ٨٠٠ متر في المضمار فماهي نظم إنتاج الطاقة المشاركة في إنتاج كميات الطاقة التي يحتاجها؟ وما هو نظام الطاقة الرئيسي المشارك في إنتاج الـ (ATP)؟

١٥-ماهي مسارات التمثيل الهوائية المستخدمة في تمثيل الدهون؟ وهل يمكن تمثيل الدهون لاهوائيًّا؟

١٦-ما هو نظام الطاقة الذي يطلق عليه نظام الطاقة الفوري؟ وماهي المركبات عالية الطاقة المكونة لهذا النظام؟

١٧-ماهي المركبات المعروفة باسم ناقلات الهيدروجين، وتلعب دورًا كبيرًا في نقل أيونات الهيدروجين في سلسلة نقل الإلكترون؟

openkandi.com

References

1. Jones PJH. Lipids, sterols and their metabolites. In: Shils ME, Olson JA, Shike M, Ross AC, eds. Modern Nutrition in Health and Disease. 9th ed. Philadelphia, PA: Lippincott Williams and Wilkins; 1999:67–94.
2. Guyton A. Textbook of Medical Physiology. 9th ed. Philadelphia, PA: WB Saunders; 1996.
3. Brooks GA, Fahey TD, Baldwin KM. Exercise Physiology: Human Bioenergetics and Its Applications. 4th ed. Boston, MA: McGraw-Hill; 2005:31–42.
4. McArdle WD, Katch FI, Katch VL. Exercise Physiology: Energy, Nutrition, and Human Performance. 5th ed. Philadelphia,PA: Lippincott Williams and Wilkins; 2001:131–156.
5. Bizeau ME, Willis WT, Hazel JR. Differential responses to endurance training in subsarcolemmal and intermyofibrillar mitochrondria. J Applied Physiol. 1988;85 (4): 1279–1284.
6. White TP, Brooks GA. [U-14C] glucose, -alanine, and-leucine oxidation in rats at rest and two intensities of running. *Am J Physiol.* 1981;240:E155–E165.
7. Paul GL, Gautsch TA, Layman DK. Amino acid and protein metabolism during exercise and recovery. In: Wolinsky I, ed. *Nutrition in Exercise and Sport.* Boca Rotan, FL: CRC Press; 1998.
8. Harris RC, Soderlund K, Hultman E. Elevation of creatine in resting and exercised muscle of normal subjects by creatine supplementation. *Clin Science.* 1992;83 (3):367–374.
9. Earnest CP, Beckham S, Whyte BO, Almada AL. Effect of acute creatine ingestion on anaerobic performance. Med Sci Sports Exerc. 1998;30(suppl):141.
10. Casey A, Constantin-Teodosiu D, Howell S, Hultman E, Greenhaff PL. Creatine ingestion favorably affects performance and muscle metabolism during maximal exercise in humans. Am J Physiol. 1996;271(1 Pt 1): E31–E37

obeikandl.com