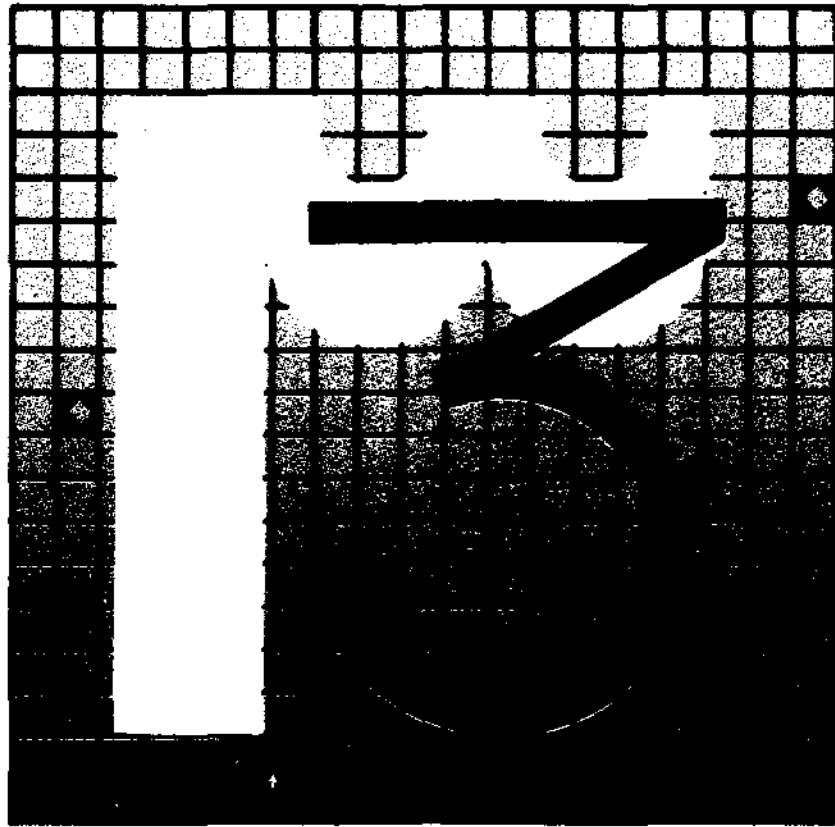




المملكة العربية السعودية
لجنة الألعاب الأولمبية والرياضية



الدورة التدريبية الثالثة في ألعاب الريا في للفنيين

الفترة من ٢٢-٢٦ شعبان ١٤٠٨ هـ الموافق ٩-١٣ أبريل ١٩٨٨ م
المجمع الأولمبي بالرياض

الطاقة الحيوية المستخدمة

في المجهود البدني



د. هزاع محمد الهزاع

- * مقدمة.
- * الطاقة اللازمة لعمل العضلات.
- * مصادر الطاقة في المجهود البدني.
- مشاركة مصادر الطاقة في الرياضات المختلفة.
- * الوقود المستخدم في المجهود البدني.
- ما الذي يحدد نوعية الوقود المستخدم؟
- الكربوهيدرات كوقود أثناء المجهود البدني.
- جلايكوجين العضلات.
- جلوكوز الدم.
- الدهون كوقود أثناء المجهود البدني.
- الأحماض الدهنية.
- العلاقة بين الكربوهيدرات والدهون أثناء الجهد البدني.
- * التصبنة الجلايكوجينية (الكربوهيدراتية).
- * الجلوكوز قبل وأثناء المسابقة.
- * وجبة ما قبل المسابقة.
- * المراجع.

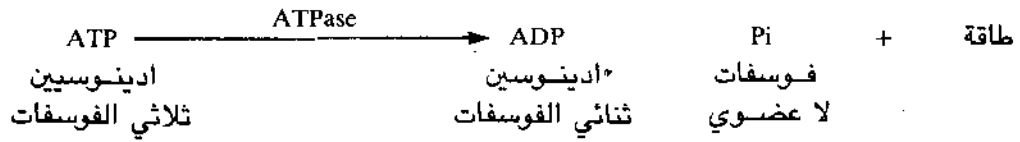
مقدمة:

إن القدرة على الحركة لهي بدون شك أكثر ما يميز أفراد المملكة الحيوانية عن غيرها وتعتمد هذه الحركة بالطبع على الانقباض العضلي حيث تنفرد الأنسجة العضلية من بين جميع أنسجة الجسم بقدرتها على التقلص. وتمتلك الألياف العضلية قدرة عالية على الانقباض كماً ونوعاً متى ما توفرت لها الطاقة اللازمة لهذا الانقباض فهذه الطيور المهاجرة تقطع ما يقرب من ٢٥٠٠ كم عابرة خليج المكسيك في رحلة متواصلة لمدة ٢٤ ساعة، فكم يا ترى حجم الطاقة الكبيرة واللازم توفيرها في هذه الرحلة الشاقة والطويلة؟ وهذا حيوان الفهد (Cheetah) كمثال آخر نجد أن سرعته تتجاوز ١١٠ كم في الساعة عند اندفاعه بأقصى سرعة مما يجعله يستطيع أن يكمل سباق الماراثون في أقل من ٢٣ دقيقة، فهل مصادر الطاقة هنا عند حيوان الفهد هي نفسها في حالة الطيور المهاجرة؟ وعند التطرق للإنجاز الإنساني من جهة أخرى فإن الصورة تبدو أكثر وضوحاً عند مقارنة أداء متسابق الماراثون مثلاً والذي يتطلب قدرة عالية على التحمل بأداء متسابقى العدو القصير حيث القدرة المتفجرة والسرعة هي العوامل الحاسمة هنا. فهل مصادر الطاقة لدى متسابق الماراثون هي نفسها عند متسابق العدو القصير؟ وما الذي يحكم معدل إنتاج الطاقة في كل منهما؟

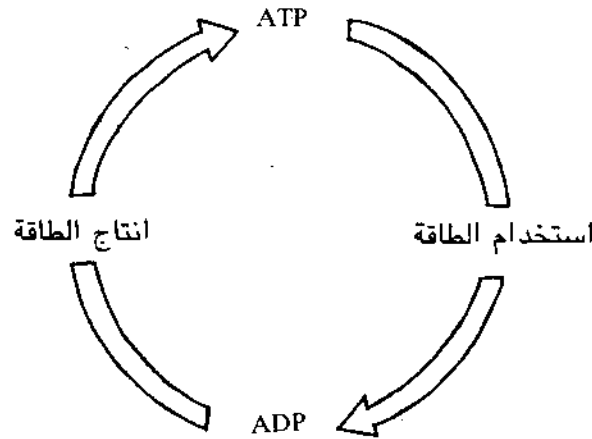
الطاقة اللازمة لعمل العضلات

يقصد بالطاقة هي تلك الطاقة الكيميائية التي يتم توفيرها داخل خلايا الجسم للقيام بأداء الوظائف الحيوية بما في ذلك الانقباض العضلي. ومن المستحسن أولاً أن نشير إلى أن الطاقة بصفة عامة (Energy) توجد بأشكال متعددة ويمكن تحويل كل نوع أو شكل إلى الآخر فهناك طاقة ضوئية وطاقة حرارية وطاقة كهربائية وطاقة ميكانيكية وطاقة كيميائية. على أننا هنا يهمنا في الواقع نوعين أو شكلين من الطاقة هما الطاقة الكيميائية والطاقة الميكانيكية فالطاقة الكيميائية يتم إنتاجها داخل الجسم من الغذاء المستهلك ومن ثم تستخدم هذه الطاقة الكيميائية بواسطة العضلات العاملة لإحداث الانقباض العضلي الذي هو عمل ميكانيكي (حولت هنا الطاقة الكيميائية إلى ميكانيكية).

وتتمثل الطاقة الكيميائية المستخدمة في الانقباض العضلي بمركب كيميائي موجود بالقرب من الألياف العضلية وبالتحديد بالقرب من الخيوط البروتينية الغليظة (الميوسين) ويدعى أدينوسين ثلاثي الفوسفات أو ATP (أدينين مرتبط من خلال سكر رايبوز بثلاث مجموعات من الفوسفات) حيث يتم توفير الطاقة اللازمة للانقباض العضلي عن طريق انقسام أو تحلل هذا الـ ATP ليعطي أدينوسين ثنائي الفوسفات (ADP) وفوسفات لاعضوي (pi) بالإضافة إلى طاقة تقدر بحوالي ٨ كيلو كالوري ويتم التفاعل بمساعدة انزيم (مادة بروتينية تساعد في التفاعل) يدعى أدينوسين ثلاثي الفوسفات (ATPase) كما في المعادلة التالية:



على أن الاحتياج للـ ATP يزداد أثناء بذل مجهود بدني كما في ممارسة الرياضة البدنية لذلك فإن الـ ATP المخزن في العضلات لا يكفي إلا لما يقرب الثانية ولذلك لا بد من مصدر أو مصادر أخرى تعوض أو تقوم بتوفير الـ ATP اللازم لعمل العضلات (ليتم من خلالها إعادة تصنيع الـ ATP)، وعليه يتضح إذن أنه لكي يحدث الانقباض العضلي يجب توفير مركب الـ ATP والذي يتحلل بدوره ليعطي الطاقة اللازمة للانقباض العضلي وينتهي بعد ذلك بمركب ADP، ولكي نعيد تصنيع الـ ATP يجب توفر طاقة أخرى من مصادر أخرى سوف يتم التطرق لها لاحقاً، ويمثل الشكل رقم (١) عملية استخدام وتصنيع مصدر الطاقة (ATP).



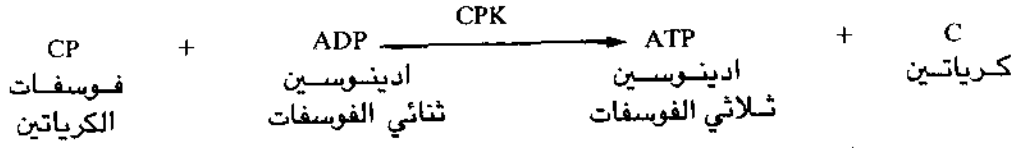
شكل رقم (١):
استخدام وتصنيع
الطاقة اللازمة
للانقباض العضلي.

ATP = أدينوسين
ثلاثي الفوسفات

مصادر الطاقة في المجهود البدني

١ - المصدر السريع: (ATP-CP):

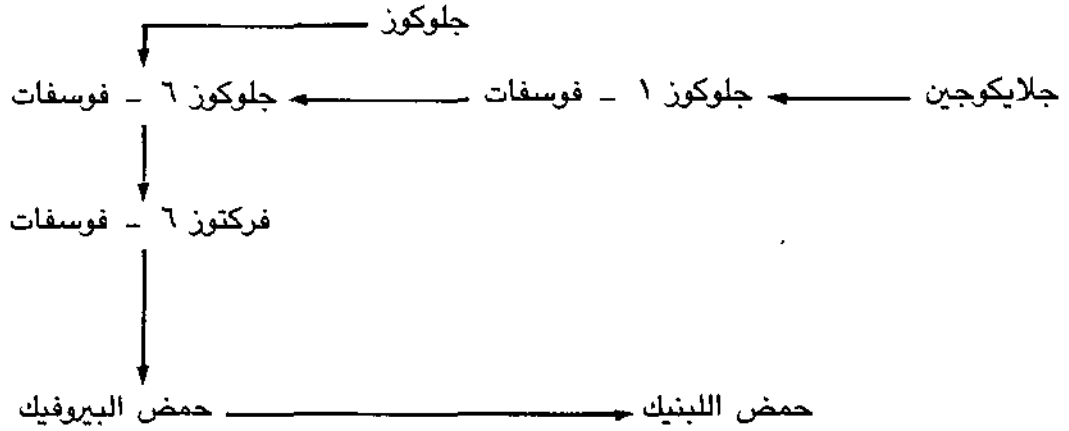
ويتم في هذا المصدر الاعتماد على الأدينوسين ثلاثي الفوسفات (ATP) المخزن في العضلات كما ذكرنا سابقاً والذي يكفي لما يقرب من الثانية من الزمن وكذلك على الطاقة الناتجة من تفكك مركب يدعى فوسفات الكرياتين (CP) وهو مركب ذو طاقة عالية موجود في الخلايا العضلية بكميات تساوي خمسة اضعاف الكمية المخزنة من الـ ATP، ويستخدم مركب فوسفات الكرياتين لإمداد الـ ADP (أدينوسين ثنائي الفوسفات الناتج من تحلل الـ ATP في المعادلة السابقة) بالفوسفات وتوفير الطاقة اللازمة لإعادة تصنيع الـ ATP كما في المعادلة التالية:



٢ - المصدر قصير الأمد | التحلل اللاهوائي للجلايكوجين Anaerobic Glycolysis:

ويتم في هذا المصدر إنتاج الطاقة عن طريق تحلل جلايكوجين العضلات لاهوائياً (جلايكوجين العضلات هو مركب كربوهيدراتي مكون من سكر سداسي موجود في العضلات) معطياً عدداً محدوداً من أدينوسين ثلاثي الفوسفات (ATP). ويعتمد هذا المصدر على المخزون الجلايكوجيني للعضلات، ويتم تحلل الجلايكوجين لاهوائياً (بدون أوكسيجين) عندما يكون معدل الطلب على الطاقة عالياً وأكبر من قدرة الجسم على توفير الطاقة من مصادر هوائية (في وجود الأوكسيجين) على أن تحلل الجلايكوجين اللاهوائي ينتهي بحمض اللبنيك (Lactic Acid) مما يؤدي إلى زيادة تركيز حمض اللبنيك في العضلات وفي الدم مؤدياً إلى ارتفاع نسبة الحموضة والتي بدورها تؤثر سلباً على الكثير من الانزيمات المهمة في عملية التحلل الجلايكوجيني مؤدية بالتالي إلى إبطاء التفاعل وتجدر الإشارة أيضاً إلى أن جلوكوز الدم يستطيع الدخول إلى الخلايا العضلية ويتم تحلله

لاهوائياً لإنتاج الطاقة ويوضح الشكل رقم (٢) خطوات التحلل اللاهوائي للجلايكوجين والجلوكوز.



شكل رقم (٢): التحلل اللاهوائي للجلايكوجين والجلوكوز.

٣ - المصدر طويل الأمد: المصدر الهوائي Aerobic System

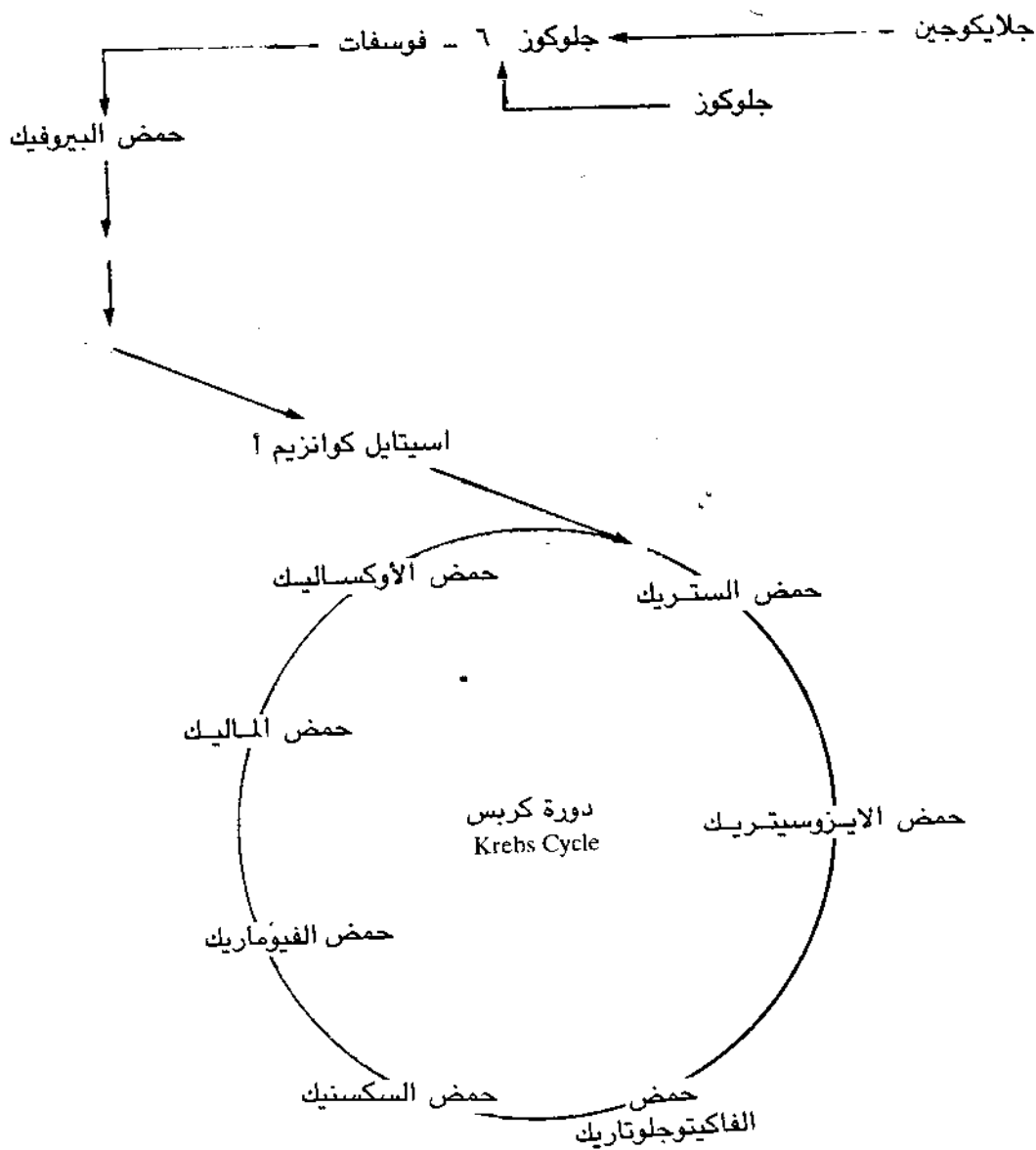
عندما يتطلب المجهود البدني انقباضاً عضلياً مستمراً لأكثر من دقيقة فإن الجسم يبدأ في الاعتماد على المصدر الهوائي لتوفير الطاقة اللازمة للانقباض العضلي حيث يتم في هذا المصدر استخدام الأوكسجين في عمليات أكسدة لكل من الكربوهيدرات والدهون في الجسم وذلك على النحو التالي:

أ - التحلل الهوائي للجلايكوجين (Aerobic Glycolysis)

ويتم من خلال هذه العملية تحلل جلايكوجين العضلات حتى ينتهي بحمض البيروفيك وبدلاً من تحول حمض البيروفيك إلى حمض اللبنيك كما يحدث في التحلل اللاهوائي فإن حمض البيروفيك ينتقل إلى ما يسمى بيت الطاقة أو الميتوكوندريا (Mitochondria) حيث يدخل دوره كريس (Krebs Cycle) وهي دورة يتم فيها من خلال سلسلة من العمليات الكيموحيوية تحويل حمض البيروفيك إلى مركبات أخرى والمحصلة هي إنتاج عدداً من الـ ATP، ويمكن أيضاً لجلوكوز الدم أن يدخل إلى الخلايا العضلية ويتحلل إلى حمض البيروفيك والذي بدوره يتبع نفس الخطوات التي يتم فيها تحلل الجلايكوجين هوائياً، ويوضح الشكل رقم (٣) عمليات التحلل الهوائي للجلايكوجين والجلوكوز.

ب - أكسدة الدهون (Fat Oxidation)

تكون الدهون في الواقع مخزنة في الأنسجة الشحمية (Adipose Tissues) على هيئة جليسيريدات ثلاثية (TG) حيث يتم تحلل هذه الجليسيريدات الثلاثية لتعطي مركب يدعى جليسرول (Glycerol) وثلاثة أحماض دهنية حرة (FFA)، ويهمننا هنا الأحماض الدهنية الحرة والتي يتم نقلها بعد تحللها من الجليسيريدات الثلاثية إلى جزء خاص بعمليات الأكسدة في داخل الخلية يدعى الميتوكوندريا أو



شكل رقم (٣): التحلل الهوائي للجلوكوز والجلوكوز

بيت الطاقة حيث يتم أكسدتها هوائياً من خلال عمليات كيميائية (مثل أكسدة بيتا) لتعطي طاقة كبيرة جداً مقارنة بالكربوهيدرات، ويوضح الجدول رقم (١) عدد الـ ATP الممكن إنتاجها من مصادر الطاقة المختلفة حيث نرى أن مصادر الطاقة الهوائية تعطي عدداً أكبر من الـ ATP مقارنة بمصادر الطاقة اللاهوائية وتعطي أكسدة الدهون عدداً أكبر من الـ ATP مقارنة بالكربوهيدرات.

جدول رقم (١): عدد الـ ATP الممكن الحصول عليها من العمليات الهوائية واللاهوائية - المصدر (٢٦).

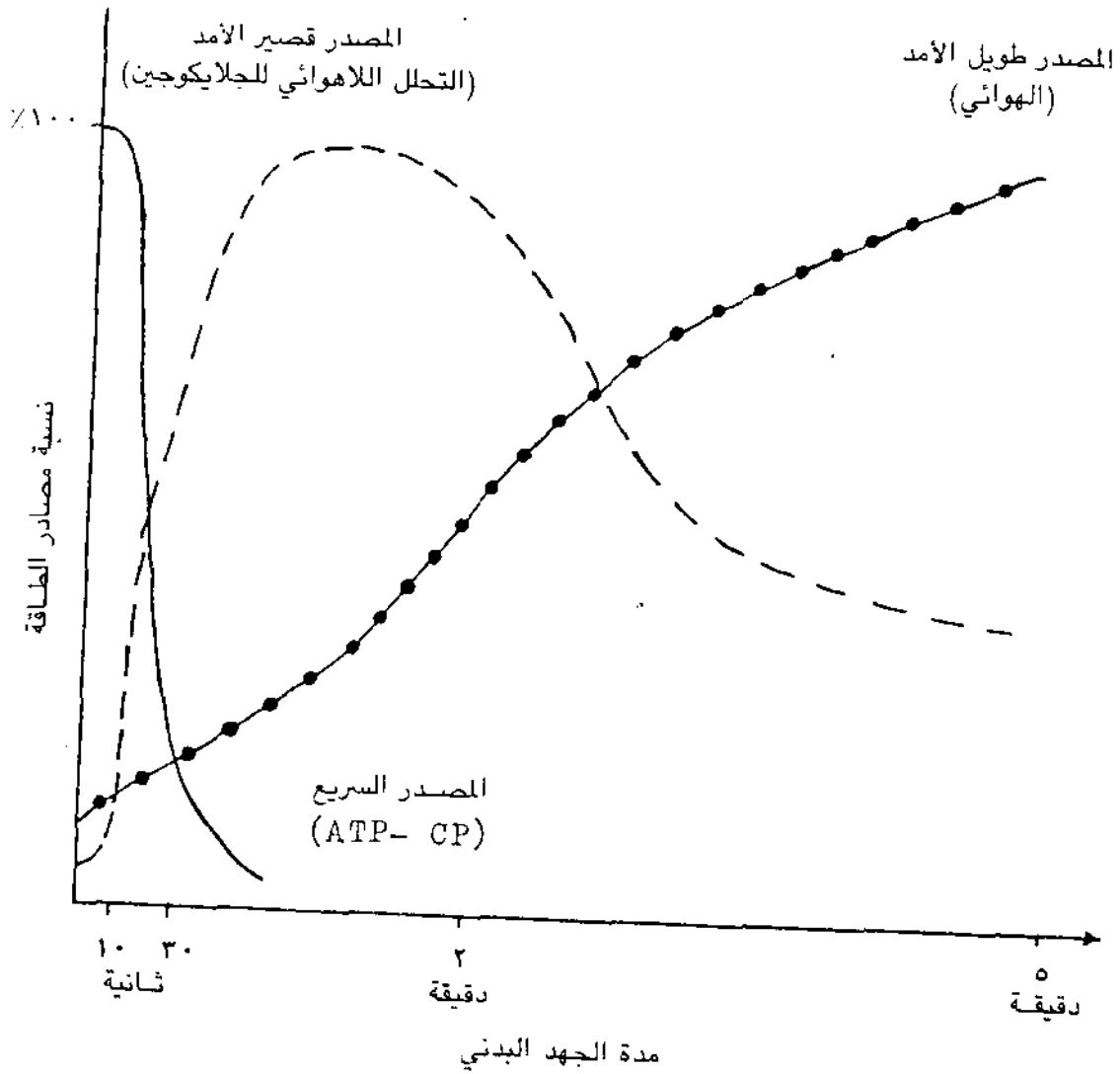
عدد الـ ATP	مصدر الطاقة
٣	التحلل اللاهوائي للجلايكوجين
٢	التحلل اللاهوائي للجلوكوز
٣٩	التحلل الهوائي للجلايكوجين
٣٨	التحلل الهوائي للجلوكوز
١٢٩ (أو أكثر)	تحلل الدهون (هوائي)

مشاركة مصادر الوقود في الرياضات المختلفة:

يجدر أولاً أن نشير إلى أن مصادر الطاقة المختلفة تشارك بنسبة متفاوتة في أغلب الرياضات وذلك حسب شدة الجهد البدني ومدته. وعلى الرغم من أنه لا يوجد ذلك الحد الفاصل بين كل مصدر والآخر حيث تمثل في مجملها وحدة متصلة فعندما تقل مشاركة مصدر نرى أن مصدراً آخر بدأ الاعتماد عليه يزداد تدريجياً وهكذا إلا أننا نستطيع أن نقول أن المصدر السريع والمتمثل في الـ ATP المخزن في العضلات وتحلل فوسفات الكرياتين (CP) يستخدم غالباً في الرياضات التي لا تدوم أكثر من عدة ثوان وتتطلب القدرة المتفجرة كما في رياضات الرمي والوثب ورفع الأثقال. أما المصدر قصير الأمد والمتمثل في التحلل اللاهوائي للجلايكوجين والجلوكوز والذي ينتهي بحمض اللبنيك فيستخدم بشكل رئيسي كمصدر للطاقة في الرياضات التي تدوم مدتها عدداً من الثواني ولا تزيد عن

دقيقة كما في رياضات العدو القصير ١٠٠ م، ٣٠٠ م، ٤٠٠ م، ٤٠٠ م حواجز والكثير من الألعاب المختلفة ككرة القدم، السلة، اليد، الخ...

أما عندما يتطلب المجهود البدني انقباضاً عضلياً مستمراً لأكثر من دقيقة فإن الجسم يبدأ في الاعتماد على المصدر الهوائي أو المصدر طويل الأمد للحصول على الطاقة متمثلاً ذلك في التحلل الهوائي للجلايكوجين والجلوكوز وبدرجة أكبر في الأكسدة الهوائية للدهون وعلى الأخص الأحماض الدهنية، ويزداد الاعتماد على المصدر طويل الأمد لإمداد الجسم بالطاقة اللازمة كلما ازداد الوقت اللازم لأداء الرياضة فسباق ٨٠٠ م مثلاً يعتمد على المصدر طويل الأمد بنسبة حوالي ٤٠٪ لكن الاعتماد على المصدر طويل الأمد يزداد في سباقات ٣٠٠٠ م و ٥٠٠٠ م وهكذا ليصبح الاعتماد على أشده في سباق الماراثون الذي يعتبر الاعتماد فيه هوائياً. ويمثل الشكل رقم (٤) رسماً توضيحياً لمساهمة مصادر الوقود المختلفة في الرياضات المتعددة حيث نرى أن المصدر السريع يكون هو المصدر الرئيسي في الرياضات التي تتطلب وقتاً قصيراً جداً (ثواني) ويقبل الاعتماد على هذا المصدر كلما ازداد وقت الجهد البدني المبذول ليزداد بعد ذلك الاعتماد على المصدر قصير الأمد مع زيادة الوقت وهكذا. ومن أجل فهم استعمال هذا الرسم البياني في معرفة نوع المصدر الأكثر استخداماً في رياضة ما فإنه يجب أولاً أن نعرف كم من الوقت أو الزمن يستغرق أداء تلك الرياضة بشكل انقباض عضلي مستمر (حيث أن كثير من الألعاب المختلفة كالقدم والسلة لا تتطلب انقباضاً مستمراً لأكثر من ثواني قد لا تتجاوز ٢٠ - ٣٠ ثانية) ولنضرب مثلاً بسباق ٣٠٠ م والذي يستغرق أداءه في المتوسط ٢٢ ثانية وعند المحور الأفقي المخصص للزمن في الشكل رقم (٤) نرفع عموداً رأسياً ونرى أنه يقطع منحنى المصدر قصير الأمد عند نسبة تساوي حوالي ٥٠ - ٦٠٪ والمصدر السريع عند نسبة حوالي ٤٠ - ٥٠٪ ولهذا نستطيع أن نقول أن سباق ٣٠٠ م يعتمد على المصدر القصير الأمد والمصدر السريع، وهكذا.



الشكل رقم (٤): مصادر الطاقة وعلاقتها بمدة الجهد البدني (المصدر ٢٥).

الوقود المستخدم في المجهود البدني:

إن المقصود بالوقود المستخدم (Fuel Utilization) في إمداد الجسم بالطاقة اللازمة أثناء المجهود البدني لهو نوعية الغذاء الذي يستطيع الجسم استخدامه في إنتاج مصدر الطاقة ادينوسين ثلاثي الفوسفات (ATP)، والمعروف أن هناك ثلاث أنواع من الوقود التي يمكن استخدامها من قبل العضلات لإنتاج الطاقة وهي:

١ - المواد الكربوهيدراتية (Carbohydrates):

على هيئة جلايكوجين العضلات (Muscle Glycogen) وجلوكوز الدم (Blood Glucose).

٢ - المواد الدهنية (FATS):

على هيئة احماض دهنية (FFA) وجليسرول.

٣ - المواد البروتينية (Proteins):

على هيئة أحماض أمينية (Amino Acids).

وتمثل الدهون أكبر مدخر للوقود في الجسم وتلعب الكربوهيدرات دوراً حيوياً لكونها الوقود الوحيد الذي يمكن استخدامه لاهوائياً مما يجعلها تكتسب أهمية في الجهد البدني العالي الشدة، كما ويعتقد أن مشاركة البروتينات المتمثلة في الأحماض الأمينية كمصدر للطاقة أثناء الجهد البدني غير كبيرة مقارنة بالدهون والكربوهيدرات على أن دور البروتينات كمصدر للطاقة يصبح ملموساً في حالة المجاعة عندما يتم استنفاد الدهون والكربوهيدرات.

ما الذي يحدد نوعية الوقود المستخدم؟

إن تحديد مدى مشاركة أنواع الوقود المختلفة أثناء الجهد البدني تخضع لعاملين هما:

١ - شدة ومدة الجهد البدني.

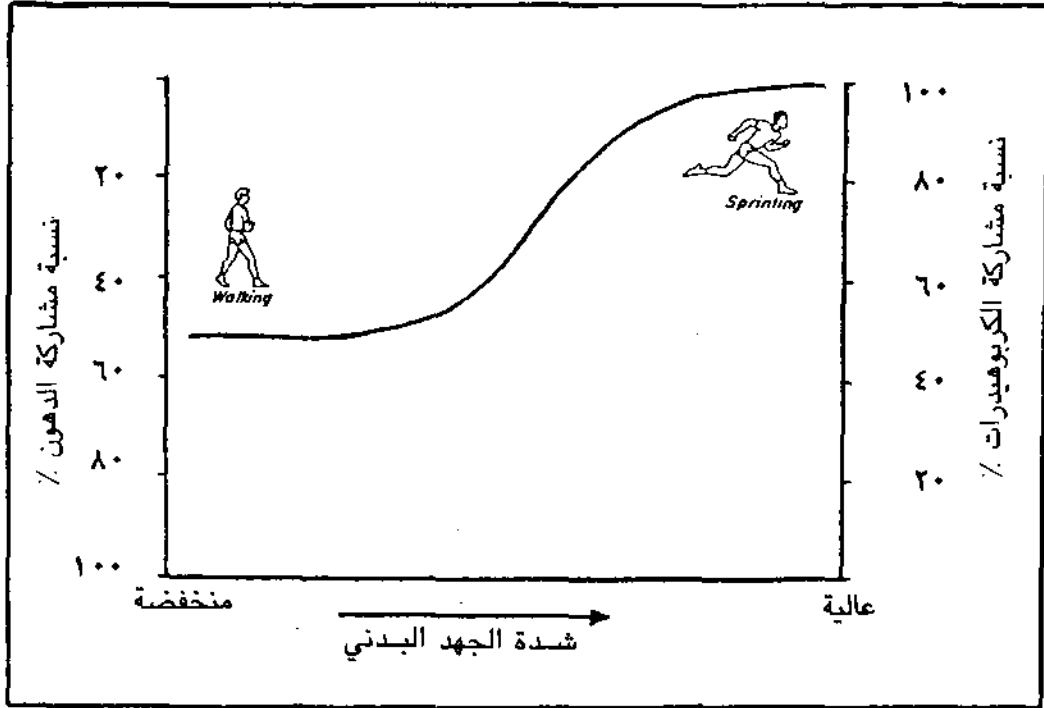
٢ - كمية الوقود المتوفرة.

حيث نلاحظ أنه كلما كانت شدة الجهد البدني عالية كلما ازداد الاعتماد على الكربوهيدرات كمصدر للطاقة ليصل إلى الاعتماد الكلي في الشدة القصوى، وعلى العكس من ذلك ففي الجهد البدني المنخفض إلى المتوسط الشدة نجد أن الدهون تلعب دوراً رئيسياً كمصدر للطاقة. ويوضح الشكل رقم (٥) نسبة مشاركة كل من الكربوهيدرات والدهون كمصادر للطاقة وتأثير شدة الجهد البدني على تلك النسبة حيث نلاحظ أنه كلما زادت شدة الجهد البدني كلما

ازداد الاعتماد على الكربوهيدرات وانخفض الاعتماد على الدهون ليصل الاعتماد على الكربوهيدرات في الجهد الأقصى إلى ١٠٠٪ وينخفض الاعتماد على الدهون إلى صفر بالمائة. ومن الأسباب الرئيسية إلى ارتفاع مشاركة الكربوهيدرات كمصدر للطاقة عند الشدة العالية هو الاعتماد على الطاقة اللاهوائية في الشدة العالية وبالتالي ازدياد الاعتماد على تحلل الجلايكوجين اللاهوائي.

الكربوهيدرات كوقود أثناء الجهد البدني:

تعتبر المواد الكربوهيدراتية والتي يتم الحصول عليها عن طريق استهلاك المواد السكرية والنشوية (مثل الحلوى، الخبز، المكرونة، الأرز، الخ...) من مصادر الوقود الهامة للخلايا العضلية أثناء الجهد البدني وخاصة عندما ترتفع شدة الجهد.



الشكل رقم (٥): نسبة مشاركة الدهون والكربوهيدرات

تبعاً لشدة الجهد البدني (المصدر ١٣)

ويتم امتصاص الكربوهيدرات على هيئة مركبات بسيطة تدخل بعد ذلك إلى الدم على هيئة جلوكوز حيث يمكن أن يستخدم هذا الجلوكوز للحصول على الطاقة

في الحال أو يتم تحويله إلى جلايكوجين الكبد في الكبد أو جلايكوجين العضلات في العضلات ويجدر أن نلاحظ أن جلايكوجين العضلات يمكن أن يستخدم (يتحلل) لإنتاج الطاقة (ATP) اللازمة للعضلات ولكن لا يمكن أن يتحول إلى جلوكوز بينما نجد أن جلايكوجين الكبد يتم تحويله إلى جلوكوز ثم يتم نقله عبر الدم إلى الخلايا العضلية ليتم استخدامه كمصدر لإنتاج الطاقة اللازمة للعضلات أو يمكن تحويله (بناءه أو تصنيعه) إلى جلايكوجين في العضلات يستخدم لحين الحاجة له فيما بعد.

جلايكوجين العضلات (Muscle Glycogen):

يعتبر تخزين الكربوهيدرات بصفة عامة على هيئة جلايكوجين من قبل الجسم طريقة اقتصادية ومناسبة جداً حيث من المعروف أن الجلايكوجين يتكون من سلسلة طويلة من جزيئات الجلوكوز والتي يمكن إطلاقها (تحللها) متى ما تطلب الأمر ذلك، وقد يتبادر إلى الذهن في الحال لماذا لا يحتفظ الجسم بالكربوهيدرات على هيئة جلوكوز بدلاً من تحويلها إلى جلايكوجين وتخزينه ثم إطلاقه متى دعت الحاجة له؟ لكن متى عرفنا أنه بالإضافة إلى سهولة تخزين كمية كبيرة من الجلوكوز على هيئة جلايكوجين فإن جزيء الجلوكوز يعتبر غير مستقر وقابل للتفاعل (Reactive) حيث يؤدي التركيز العالي للجلوكوز في الدم إلى إحداث ضرر للبروتينات التي على جدار الأوعية الدموية مؤدياً إلى جعلها أكثر سماكة وكثافة مما يؤدي بالتالي إلى خفض معدل دخول الأوكسجين والوقود للخلايا.

ويتراوح محتوى العضلات من الجلايكوجين بين ٩ - ٢٠ جراماً لكل كيلو جرام من العضلات ويعني ذلك أن الفرد الشاب الذي يزن ٧٠ كجم يصل حجم جلايكوجين العضلات لديه في المتوسط إلى حوالي ٢٥٠ جم من الجلايكوجين، على أن هذا الرقم يرتفع لدى الفرد المدرب ليتجاوز ٥٠٠ جم وتشير التجارب المختبرية التي تم فيها أخذ عينات متكررة من العضلات (Muscle Biopsy) قبل وأثناء ثم بعد تمرين طويل ومجهد إلى أن محتوى الجلايكوجين في العضلات العاملة ينخفض من الرقم الاعتيادي (٩ - ٢٠ جم لكل كجم من العضلات) إلى

أقل من جرام واحد لكل كجم من العضلات مما يشير إلى إمكانية حدوث استنفاد لجلايكوجين العضلات أثناء التمرين العنيف الطويل الأمد. ولقد أظهرت التجارب العلمية كذلك أن معدل استخدام جلايكوجين العضلات يتناسب تناسباً طردياً وشدة المجهود البدني ففي الشدة التي تتجاوز ٩٠٪ من الاستهلاك الأقصى للأوكسجين يعتبر الجلايكوجين أكثر الوقود أهمية في تزويد العضلات بالطاقة وعند شدة جهد تتراوح بين ٧٠ - ٨٥٪ من الاستهلاك الأقصى للأوكسجين نجد أن الجلايكوجين هو الوقود الرئيسي، على أنه كلما انخفضت شدة الجهد البدني بعد ذلك فإن الاعتماد على الجلايكوجين ينخفض بمعدل يتناسب والانخفاض في شدة الجهد.

وبالرغم من عدم الوضوح التام في تفسير أسباب العلاقة بين شدة الجهد واستخدام الجلايكوجين إلا أنه يعتقد أن مرد ذلك لعدة أسباب أهمها أن يكون بسبب زيادة توظيف الألياف العضلية سريعة الخلجة (Fast Twitch) أو ما يسمى بنوع ٢ حيث يتم توظيف تلك الألياف بشكل أكبر مع زيادة شدة الجهد البدني والمعروف أن هذا النوع من الألياف العضلية يعتمد بشكل أكبر في الحصول على الطاقة عن طريق التحلل اللاهوائي للجلايكوجين، ومن الأسباب الأخرى لتفسير العلاقة بين شدة الجهد البدني واستخدام الجلايكوجين زيادة التنبيه الهرموني مع زيادة الجهد البدني حيث أن زيادة التنبيه الهرموني (زيادة تركيز الابيينفرين والنورايبينفرين)، تساعد على تحفيز عملية التحلل الجلايكوجيني (Glycogenolysis).

وتتضح العلاقة الوثيقة بين محتوى الجلايكوجين وشدة الجهد البدني إذا عرفنا أنه لا بد من وجود محتوى كاف من الجلايكوجين لدى العضلات إذا كانت شدة الجهد ستستمر بنفس المستوى وإلا فلزماً على الفرد أن يخفض من شدة أدائه حيث أوضح العالمان كارلسون وسالتن أنه عند شدة جهد تعادل ٧٠٪ من الاستهلاك الأقصى للأوكسجين فإن الخطوة أو السرعة لا يمكن الحفاظ عليها عندما ينخفض محتوى الجلايكوجين إلى أقل من ٣ - ٥ جم لكل كيلو جرام من العضلات، وفي الواقع فإن الشعور بالتعب العضلي أثناء أداء جهد بدني تحملي (Endurance Type) يتزامن ويرتبط مع حدوث استنفاد لجلايكوجين العضلات.

وعند التطرق إلى استنفاد الجلايكوجين يجدر بنا أن نشير إلى أن الدراسات والتجارب المختبرية توضح لنا أن حدوث استنفاد للجلايكوجين أثناء أداء جهد بدني هوائي (تحملي) يتبع نمطاً مرتبطاً بنوع الألياف العضلية حيث وجد عند أداء جهد بدني بشده تعادل ٧٠٪ من الاستهلاك الأقصى للأوكسجين إن استنفاد الجلايكوجين يحدث أولاً في الألياف العضلية بطيئة الخلجة (Slow Twitch) أو نوع ١ ومن ثم يحدث استنفاد للجلايكوجين في الألياف العضلية السريعة الخلجة (Fast Twitch) أو نوع ٢ فيما بعد وذلك عندما يتم توظيفها بشكل كامل في الشدة العالية.

وعند التمعن في شكل منحني استنفاد الجلايكوجين نجد أن حجم الاستنفاد يكون كبيراً في بداية الجهد البدني حيث تشير بعض الدراسات إلى أن حوالي ٣٠٪ من محتوى الجلايكوجين يكون قد تم استخدامه في الخمس دقائق الأولى من التمرين أو الجهد البدني ويعزي ذلك في واقع الأمر إلى كثافة الاعتماد على التحلل اللاهوائي للجلايكوجين في أية التمرين قبل أن يتمكن الجهاز القلبي - الدوري من توفير الدم والأوكسجين الكافي إلى العضلات العاملة، ومما يؤكد الاعتماد على التحلل اللاهوائي للجلايكوجين ذلك الارتفاع في تركيز حمض اللبنيك في بداية التمرين.

سكر الجلوكوز في الدم (Blood Glucose)

تعتبر كمية الجلوكوز في الدم قليلة نسبياً حيث تصل من ٥ - ٦ جرامات من حجم الدم الكلي في الجسم ورغم ذلك فإن مستوى الجلوكوز في الدم يبقى ثابتاً إلى حد ما طوال فترة الجهد البدني المنخفض إلى المتوسط الشدة لدى الأفراد الأصحاء وهذا في الواقع ضروري جداً لأن هناك أجهزة حيوية في الجسم تعتمد كلياً على الجلوكوز في الحصول على الطاقة (مثل خلايا الدماغ والخلايا الدموية الحمراء والبيضاء) ويعتمد مدى استخدامها للجلوكوز على مستوى تركيزه في الدم، أما في حالة الجهد البدني العالي الشدة فالملاحظ ارتفاع تركيز جلوكوز الدم بمقدار ١٥ - ٢٥٪ تبعاً لشدة الجهد البدني ويعتقد أن مرد ذلك إلى

الانخفاض في تركيز هرمون الأنسولين في بلازما الدم وارتفاع تركيز هرمون الجلوكاجون (Glucagon) مما يؤدي إلى ارتفاع في عمليات هدم جلايكوجين الكبد (تحويل جلايكوجين الكبد إلى جلوكوز في الدم).

وبالإضافة إلى ما سبق فإن الملاحظ أن أخذ (Uptake) أو امتصاص العضلات لجلوكوز الدم يعتمد كذلك على شدة الجهد البدني ففي الشدة العالية يبلغ أخذ الجلوكوز أشده، وتشير الدراسات التي أجريت بغرض مقارنة الأفراد المتدربين بغير المتدربين إلى أن الأفراد المتدربين والذين يظهرون قدرة عالية على تجهيز واستخدام الأحماض الدهنية كمصدر للوقود يعتمدون بشكل أقل على استخدام الجلوكوز مقارنة بغير المتدربين على الرغم من أن استخدامهم للجلوكوز قد يغطي ٢٠٪ من احتياجاتهم للطاقة.

الدهون كوقود أثناء المجهود البدني:

بالإضافة إلى الكربوهيدرات تعتبر الدهون المصدر الآخر للطاقة وهي في الحقيقة مخزنة على هيئة جليسيريدات ثلاثية (Triglycerides) والتي تتكون من جزيئات أصغر حجماً من الجلايكوجين وهي غير قابلة للذوبان وغير قابلة للتفاعل (Not Reactive) ولهذا يمكن تخزينها بتركيز عال في الأنسجة الشحمية (Adipose Tissues) وتتكون الجليسيريدات الثلاثية من الناحية الكيميائية من جزيء يسمى جليسرول ومتصل به ثلاث جزيئات من الأحماض الدهنية الحرة (Free Fatty Acids) وتحتوي الأحماض الدهنية الحرة على أكبر جزء من الطاقة الكيميائية وتلعب دوراً كبيراً كمصدر للطاقة أثناء الجهد البدني ولهذا سوف نتطرق لها بشيء من التفصيل.

الأحماض الدهنية (FFA)

تعتبر الأحماض الدهنية مصدراً هاماً للطاقة أثناء الجهد البدني وخاصة في الجهد المنخفض إلى المتوسط الشدة وتعتمد عملية أخذ وأكسدة الأحماض الدهنية (أي امتصاصها) من قبل العضلات على مستوى تركيز هذه الأحماض في الدم حيث هنالك علاقة طردية بين التركيز وعملية الأخذ والأكسدة. ولهذا يتضح

أن الذي يحدد استخدام الأحماض الدهنية هو في الواقع تجهيزها (Mobilization) أي تحللها من الأنسجة الشحمية ونقلها عبر الأوعية الدموية إلى الخلايا العضلية حيث يمكن أكسبتها هناك. وتخضع عملية تجهيز الأحماض الدهنية للتنبيه الهرموني من قبل هرمون الأبينيفرين حيث يؤثر ذلك التنبيه على الجليسيريدات الثلاثية لتعطي جليسرول وثلاث أحماض دهنية ولهذا نجد أنه مع استمرار التمرين أو الجهد البدني يرتفع تركيز الأحماض الدهنية في الدم بسبب زيادة التنبيه الهرموني على الجليسيريدات الثلاثية.

ومن الملاحظ أن العلاقة بين معدل استخدام الأحماض الدهنية وشدة الجهد البدني هي علاقة عكسية وعلى النقيض من الجلايكوجين ففي الراحة والجهد البدني المنخفض الشدة تمثل الأحماض الدهنية المصدر الرئيسي (٨٠-٩٠%) لعمليات الأكسدة التي تحتاجها العضلات بغرض إنتاج الطاقة لكن هذه النسبة تنخفض بعد ذلك كلما ازدادت شدة الجهد البدني وعليه ترتفع مشاركة الكربوهيدرات. وبالإضافة إلى ذلك فلقد أظهرت التجارب العلمية أن عملية أكسدة الأحماض الدهنية ترتبط بمدى المحتوى الجلايكوجيني في العضلات فكما انخفض محتوى العضلات من الجلايكوجين كلما ازداد الاعتماد على الأحماض الدهنية ففي تجربة تم فيها إخضاع أحد السائقين للتمرين والإبقاء على الساق الأخرى بدون تمرين (ضابطه) أشارت النتائج إلى أنه في حالة الساق ذات المحتوى الاعتيادي من الجلايكوجين (التي بدون تمرين) تم أكسدة الأحماض الدهنية بمعدل يصل إلى حوالي ٣٣٪ من الطاقة الكلية بينما في حالة الساق ذات المحتوى المنخفض من الجلايكوجين تم أكسدة الأحماض الدهنية بمعدل يصل إلى حوالي ٥٠٪ من الطاقة الكلية.

العلاقة بين الكربوهيدرات والدهون أثناء الجهد البدني،

تطرقنا فيما سبق إلى أن الكربوهيدرات ممثلة بجلايكوجين العضلات وجلوكوز الدم (الذي يعتمد بالطبع على تحلل جلايكوجين الكبد) والدهون ممثلة بصفة رئيسية بالأحماض الدهنية تساهم وينسب متفاوتة في توفير الطاقة اللازمة للانقباض العضلي. هذه المساهمة يحددها إلى درجة كبيرة مدى شدة الجهد

البدني وطول مدته حيث ترتفع مساهمة الكربوهيدرات وبالتالي تنخفض مساهمة الدهون بزيادة شدة الجهد البدني والعكس صحيح.

وعلى الرغم من أن حجم المخزون من الدهون يعد كبيراً جداً مقارنة بالكربوهيدرات وإن كل جرام واحد من الدهون سوف يعطي طاقة تزيد على ٩ كيلو كالوري عند أكسدته (حرقه في وجود الأوكسجين) بينما نجد أن أكسدة واحد جرام من الكربوهيدرات سيعطي طاقة تقدر بحوالي ٤ كيلو كالوري، على الرغم من ذلك إلا أن الجسم يبدأ في الاعتماد على الكربوهيدرات كوقود مع ارتفاع شدة الجهد البدني ويعود سبب ذلك إلى أنه عند زيادة شدة الجهد البدني فإن الحاجة للأوكسجين ترتفع ويصبح العامل الحاسم هو استخدام هذا الأوكسجين المحدود نسبياً بشكل فعال في حرق الوقود الأكثر كفاءة وفعالية ولهذا نجد أن الكربوهيدرات تصبح هي الوقود المفضل في هذه الحالة لأنها أكثر كفاءة في إنتاج مصدر الطاقة (ATP) عندما تكون كمية الأوكسجين محدودة والطلب على الطاقة عالي كما في حالة الجهد البدني العالي الشدة حيث نجد أنه لكل لتر واحد من الأوكسجين المستهلك (العامل المحدد هنا هو كمية الأوكسجين وليست كمية الوقود) يمكن إنتاج ٥ كيلو كالوري عندما تستخدم الكربوهيدرات بينما تعطي أكسدة الدهون حوالي ٤,٧ كيلو كالوري، ويوضح الجدول رقم (٢) كمية الطاقة التي يمكن الحصول عليها من جراء أكسدة كل من الكربوهيدرات والدهون.

جدول رقم (٢): كمية الطاقة الممكن الحصول عليها عند أكسدة كل من الكربوهيدرات والدهون - المصدر (٣٧,٢٥)

نوع الوقود	كمية الطاقة بالكيلو كالوري عند حرق ١ جم من الوقود	كمية الأوكسجين المستهلك عند حرق ١ جم من الوقود	كمية الطاقة بالكيلو كالوري عند استهلاك واحد لتر من الوقود
الكربوهيدرات	٤,١	٠,٨	٥, -
الدهون	٩,٣	٢, -	٤,٧

ومن مظاهر العلاقة بين الكربوهيدرات والدهون ما تشير إليه الدراسات حول قدرة الدهون على توفير الجلايكوجين حيث من المعروف أن ارتفاع تركيز الأحماض الدهنية في الدم يؤدي إلى زيادة استخدامها وبالتالي إلى تقليل الاعتماد على جلايكوجين العضلات أو بمعنى آخر إلى توفير استخدام جلايكوجين العضلات مما يقلل من احتمال استنفاده (أي استنفاد الجلايكوجين)، ولقد أثبتت التجارب التي أجريت على بعض الأفراد الذين تم إعطائهم غذاء يحتوي على كمية كبيرة من الدهون قبل أداء مجهود بدني على السير المتحرك بحوالي ٥ ساعات ثم جرى حقنهم بمادة الهيبارين (Heparin) والتي تعمل على تجهيز الأحماض الدهنية وتؤدي إلى رفع تركيزها في الدم ثم بعد ذلك اختبارهم لمدة ٣٠ دقيقة عند ٧٠٪ من الاستهلاك الأقصى للأوكسجين ووجد أن استهلاكهم للجلايكوجين قد انخفض بحوالي ٤٠٪ من جراء المعاملة السابقة مقارنة بدونها. والمعروف كذلك أن مادة الكافين (Caffeine) الموجودة في القهوة والشاي وبعض المشروبات الغازية تؤدي إلى زيادة تركيز الأحماض الدهنية في الدم ويعتقد أن لها تأثير منشط للأداء البدني التحملي فقد وجد كوستيل وزملاؤه أن إعطاء مجموعة من المفحوصين مادة الكافين ٦٠ دقيقة قبل إجراء اختبار الجري عند شدة تعادل ٨٠٪ من الاستهلاك الأقصى للأوكسجين قد أدت إلى تأخير حدوث التعب بحوالي ٣٠ دقيقة.

التعبئة الجلايكوجينية (الكربوهيدراتية) : Glycogen Loading

إن الكثير من الدراسات العلمية لتدل على أن المخزون الجلايكوجيني للعضلات مهم جداً كمصدر لإمداد العضلات بالطاقة اللازمة لعملها، وتشير كثيراً من الأبحاث كذلك إلى أن زيادة هذا المخزون الجلايكوجيني ترفع من مستوى الأداء في مسابقات تتطلب عنصر التحمل أو المطاولة كالمسافات الطويلة والمارثون وبذلك يستطيع المتسابق تحمل جهداً أعلى وقطع مسافة أطول قبل أن يحل به التعب من جراء نقص جلايكوجين العضلات.

كيفية زيادة جلايكوجين العضلات:

هناك طريقتان في الواقع لرفع مخزون الجلايكوجين في العضلات وهما:

١ - الطريقة الأولى: ويتم فيها استنفاد المخزون الجلايكوجيني في العضلات العاملة أولاً عن طريق تمرين مجهد ومن ثم فإن على الفرد أن يتناول غذاءً غنياً بالمواد الكربوهيدراتية (رز، مكرونه، خبز، الخ...) لعدة أيام (٣، ٤ أيام) مع مراعاة عدم أداء تدريب مجهد في تلك الأيام.

٢ - أما الطريقة الثانية: فإن على الفرد أولاً أن يستنفذ المخزون الجلايكوجيني في العضلات العاملة كلياً عن طريق القيام بتمرين مجهد ويعقب ذلك تناول غذاءً غنياً بالدهون والبروتينات لمدة ٣ أيام مع الاستمرار في التدريب البدني كالمعتاد وبعد ذلك فإن عليه أن يتناول غذاءً غنياً بالمواد الكربوهيدراتية لمدة ٣ أيام أخرى مع محاولة التقليل من شدة التدريب البدني في تلك الأيام الثلاثة التي يتناول فيها الكربوهيدرات. ولقد لوحظ أن الطريقة الثانية ترفع كمية المخزون الجلايكوجيني بدرجة أكبر من الأولى مما يصل أحياناً إلى ٥٠ جم لكل كيلو جرام من العضلات.

على أن البحوث في السنوات الأخيرة تشير إلى أنه من غير الضروري تناول غذاءً غنياً بالدهون والبروتينات قبل تناول الكربوهيدرات (كما في الطريقة الثانية) من أجل رفع المخزون الجلايكوجيني في العضلات حيث من المهم جداً أن يتم استنفاد جلايكوجين العضلات أولاً ثم يتناول الفرد غذاءً غنياً بالكربوهيدرات فقط.

ومن ملاحظة وتتبع المراحل الزمنية لاستعادة المخزون الجلايكوجيني وجد أن ٦٠٪ من المخزون الجلايكوجيني تتم استعادته خلال العشر ساعات الأولى بعد الاستنفاد أخذين في الاعتبار أن الفرد يتناول غذاءً غنياً بالكربوهيدرات ثم يصل المخزون الجلايكوجيني إلى المحتوى الاعتيادي في خلال ٢٤ ساعة ويعقب ذلك زيادة المخزون أو حدوث التعبئة خلال الأيام الثلاثة التالية.

كيف يمكن للتعبة الجلايكوجينية من رفع الأداء البدني؟

على الرغم من أن الدهون هي المصدر الأساسي أثناء الجهد البدني المنخفض إلى المتوسط الشده إلا أن الوضع يبدأ في التغير عندما ترتفع شدة المجهود البدني حيث يزداد الاعتماد على الكربوهيدرات وذلك لأن الكفاءة في استخدام نوع معين من الوقود تصبح مرهونة بمدى قدرة ذلك الوقود على إنتاج عدداً أكبر من الكيلو كالوري عند استهلاك لتر واحد من الأوكسجين ومن المعروف أنه عند استهلاك لتر واحد من الأوكسجين فإن الجسم يستطيع أن يحصل على ٥ كيلو كالوري إذا استخدمت الكربوهيدرات كوقود بينما يحصل على ٤,٧ كيلو كالوري عندما تستخدم الدهون كوقود، ولهذا تصبح الكربوهيدرات الوقود المفضل والأكثر استخداماً عندما ترتفع شدة الجهد البدني.

هل من أعراض جانبية للتعبة الجلايكوجينية؟

يجب الإشارة أولاً أن التعب الجلايكوجينية ليست دائماً ناجحة عند بعض الأفراد لسبب لا يمكن معرفته، ويجب أن نذكر كذلك أن التعب الجلايكوجينية تعطي الفرد الشعور بالثقل والامتلاء من جراء زيادة المخزون الجلايكوجيني ذلك لأن المخزون المائي في العضلات يزداد بزيادة مخزون الجلايكوجين في تلك العضلات حيث أن كل جرام من الجلايكوجين يتطلب ما يقارب ٣ جرامات من الماء (٢,٧ بالتحديد) وبالتالي فإن زيادة ٠,٥ كيلو جرام من جلايكوجين العضلات تؤدي إلى ارتباط كمية من الماء معه تقدر بحوالي ١,٥ كيلو جرام، وبالرغم من أن هذه الزيادة في الوزن قد لا يكون مرغوب فيها في بعض المسابقات كالملاكمة أو المصارعة أو بعض الألعاب المختلفة إلا أن هذه الكمية المصاحبة من الماء تساعد في التقليل من أثر فقد الماء (Dehydration) في مسابقات كالمسافات الطويلة والماراثون حيث يفقد الجسم الكثير من الماء نتيجة للتعرق الغزير.

وعلى الرغم من أهمية التعب الجلايكوجينية من الناحية النظرية في المساعدة على رفع الأداء البدني في مسابقات التحمل وعلى الرغم من شيوع ممارستها لدى الكثير من المتسابقين إلا أنها لا تخلو من بعض الأعراض الجانبية

الذي يجدر بنا هنا أن نشير إليها حيث لا ينصح بالاكثار من استعمال هذه الطريقة بكثرة أو في فترات متقاربة جداً فقد أشارت بعض التقارير الطبية إلى حدوث ما يسمى بميجلوبين يوريا (Myoglobinuria) عند الرياضيين الذين يستخدمون التعبئة الجلايكوجينية باستمرار وذلك دالة على حدوث تمزق وضرر في العضلات التي تمت تعبئتها وبالإضافة إلى ذلك هناك بعض الدراسات التي تشير إلى حدوث الألم في الصدر مع تغيرات في رسم القلب تشبه تلك التي تحدث لدى مرضى القلب عند بعض الرياضيين الذين يستعملون التعبئة الجلايكوجينية بشكل مكثف .

الجلوكوز قبل وأثناء المسابقة:

لعل الكثير منا يتساءل عن مدى فعالية تناول بعض السكريات (قطعة حلوى أو أي محلول سكري مثلاً) قبل المسابقة مباشرة على الأداء البدني؟ وفي محاولتنا للإجابة على هذا السؤال سوف نتطرق لتأثير هذا الإجراء (تناول السكريات) على توازن الوقود أثناء الجهود البدني الطويل الأمد . فتناول السكريات (قطعة من الشوكولاته مثلاً) قبل السباق الطويل الأمد كاللأثرن مثلاً قد لا يكون ذو تأثير إيجابي على توازن الوقود أثناء السباق بل ويعتقد من الناحية النظرية أن له تأثير سلبي، ولتوضيح ذلك يجدر أن نتذكر أن تجهيز الأحماض الدهنية (Mobilization) يخضع لتأثير هرمون ايبينيفرين الذي يؤدي إلى المساعدة على تجهيز تلك الأحماض الدهنية بينما يؤدي هرمون الانسولين إلى تثبيط تجهيز الأحماض الدهنية وفي الواقع فإن التوتر العصبي والإثارة التي تسبق السباق تؤدي إلى إفراز هرمون ايبينيفرين مما يجعل تجهيز الدهون أمر وارد لكن تناول محلول سكري مثلاً قبل السباق سوف يؤدي إلى زيادة إفراز هرمون الانسولين الذي يستجيب لارتفاع تركيز الجلوكوز في الدم ويؤدي إلى منع تجهيز الدهون والحصول بالمبلغ هي أن المتسابق سوف يعتمد بشكل أكبر على الكربوهيدرات وخاصة جلايكوجين العضلات أثناء السباق لانخفاض تركيز الأحماض الدهنية في الدم مما يؤدي إلى زيادة احتمال استنفان الجلايكوجين قبل إنتمام السباق .

ولكن هل من الممكن تناول السكريات أثناء السباق الطويل الأمد؟

في هذه الحالة يمكن للمتسابق من أن يتناول محلولاً سكرياً غير مركزاً ولن يؤدي ذلك إلى زيادة إفراز هرمون الأنسولين حيث أن التركيز العالي لهرمون ايبينيفرين الناتج عن الجهد البدني سوف يمنع ارتفاع تركيز الأنسولين ولكن يجب ملاحظة أن لا يكون المحلول ذو تركيز عالي من السكر بحيث لا يزيد عن ٥٪. وعلى النقيض من الجهد البدني الطويل الأمد نجد أنه في حالة الجهد البدني المتوسط الأمد فإن تناول كمية بسيطة من الكربوهيدرات ٣٠ - ٦٠ دقيقة قبل السباق قد تساعد على رفع مستوى الجلوكوز في الدم وبالتالي تؤدي إلى منع تجهيز الدهون حيث ليس من الضروري لتسابق المسافات المتوسطة أن يتم تجهيز الدهون لديه وذلك لأن شدة الجهد البدني في تلك المسافات تعتبر عالية نسبياً وتتطلب معدل عال من استهلاك الاوكسجين وكما هو معروف فإن أكسدة الدهون تتطلب حوالي ١٠٪ زيادة في استهلاك الاوكسجين مقارنة بالكربوهيدرات ولذلك فعند تجهيز الأحماض الدهنية وتوفرها في الدم فإن نسبة أعلى منها سوف يتم أكسدتها على حساب الكربوهيدرات.

وجبة ما قبل المسابقة:

على الرغم من أن التعليمات والإرشادات العامة المتعلقة بوجبة ما قبل المسابقة توصي وتحث على أن تكون تلك الوجبة خفيفة ومحتوية على كمية كبيرة من الكربوهيدرات ونسبة قليلة من الدهون (لا تستغرقه الدهون من وقت في عملية الهضم والامتصاص) مع الإكثار من السوائل، وعلى أن يكون تناول تلك الوجبة في حدود ٣ ساعات قبل المسابقة، على الرغم من ذلك تظل تلك التعليمات والنصائح مجرد إرشادات عامة عاجزة عن توفير الغذاء الأمثل والمحدد لما قبل المسابقة.

ففي الحقيقة أنه لا يوجد ذلك الغذاء المثالي (أو السحري) لما قبل المسابقة والذي سوف يوفر التسابق أو اللاعب التفوق والنصر بل إنه في كثير من المسابقات فإن الوجبة التي تسبق المسابقة قد لا يكون لها أي أثر أو دور في تلك المنافسة، والواقع أيضاً أن ما يناسب لاعباً ما قد لا يكون صالحاً بتاتاً للاعب آخر.

وتشير أغلب الدراسات العلمية إلى أن التأثير المزعوم لكثير من أنواع الأغذية مرده إلى إحساس نفسي لدى اللاعب في أن ذلك الغذاء سوف يساعد في رفع مستوى أداءه أثناء المسابقة، لذلك فإننا نرى أن أهم شي - يجب أن يؤخذ في الاعتبار في وجبة ما قبل المسابقة هو رغبة وميول اللاعب نحو غذاء معين وارتياحه وتعوده وعليه قد يكون من الأفضل عدم إجراء أي تغيير على الغذاء المعتاد للاعب إذا كان ذلك الغذاء يفي باحتياجاته.

ولكن بالرغم مما سبق ذكره فإن هناك بعض الحقائق الفسيولوجية والملاحظات التجريبية التي يجب أن تؤخذ بعين الاعتبار، فمثلاً في المسابقات التي تتطلب عنصر التحمل كالمسافات الطويلة والماراثون أو الرياضات التي تستغرق وقتاً طويلاً قد يكون من الأفضل أن تحتوي وجبة ما قبل المسابقة على كمية عالية من الكربوهيدرات لما لها من تأثير في رفع المخزون الجلايكوجيني في الكبد والمحافظة على مستوى عال إلى حد ما لسكر الجلوكوز في الدم في بداية السباق مما يؤدي إلى تقليل الضغط على استهلاك جلايكوجين العضلات في بداية المسابقة وادخار الكمية القصوى منه لاستعمالها في فترة نهاية السباق حيث يشتد الطلب على جلايكوجين العضلات عندما ترتفع شدة الأداء في نهاية السباق.

أما فيما يتعلق بالفترة التي يجب أن يتم فيها تناول تلك الوجبة قبل المسابقة فإن كثير من المختصين قد لا يرى مبرر في أن تكون الفترة فيما بين تناول الوجبة ووقت بدء المسابقة فترة طويلة (٣ - ٤ ساعات) ما عدا في حالة الاشتراك في مسابقات يرتفع فيها معدل الإصابة، فتبرز هنا فائدة أن تكون المعدة خالية من الطعام في حالة اللجوء إلى التخدير عندما يتطلب الأمر عملية جراحية. أما في حالة المسابقات الأخرى فيفضل أن لا يكون الوقت طويلاً بين الوجبة والمسابقة (ما بين ٢ - ٣ ساعات).

خلاصة القول أنه في كثير من المسابقات الرياضية يظل غذاء اللاعب المعتاد في أيام التمرين (إذا كان مناسباً لذلك اللاعب) هو الغذاء الأمثل لما قبل المسابقة ويفضل أن يكون تناول تلك الوجبة من ٢ - ٣ ساعات قبل بدء المسابقة.

المراجع

- 1 - Astrand, P.O., Diet and athletic performance. Fed. Proc. 1967, 26: 1772-1777.
- 2 - Astrand, P.O., and K. Rodahl: Textbook of work physiology. New York: McGraw-Hill Book Comp., 1987: 12-14.
- 3 - Bank, W. J.: Myoglobinuria in marathon runners: Possible relationship to carbohydrate and lipid metabolism. Ann. N. Y. Acad. Sci., 1977, 301: 942-948.
- 4 - Bergstrom, J., E. Hermansen, E. Hultman, and B. Saltin: Diet, muscle glycogen, and physical performance. Acta physiol. Scand. 1967, 71: 140-150.
- 5 - Brooks, G. and T. Fahey. Exercise physiology. New York: John Wiley & Sons, 1984.
- 6 - Costill, D. L.: Energy supply in Endurance activities, Int. J. Sports Med. (suppl.), 1984, 5: 19-21.
- 7 - Costill, D., G. Dalsky, and W. Fink: Effects of caffeine ingestion on metabolism and exercise performance, Med. Sci. sports. 1978, 10: 155-158.
- 8 - Costill, D. L., E. Coyle, G. Dalsky, W. Evans, W. Fink, and D. Hoopes: Effects of elevated Plasma FFA and insulin on muscle glycogen usage during exercise. J. Appl. Physiol., 1977, 43: 695-699.
- 9 - Di Prampero, P.E.: Energetics of Muscular Exercise, Rev. Physiol. Biochem. Pharmacol., 1981, 89: 143-222.
- 10 - Essen, B.: Intramuscular substrate Utilization during prolonged Exercise, Ann. N. Y. Acad. Sci., 1977, 301: 30-44.
- 11 - Essen, B., E. Jansson, J. Henriksson A. Taylor, and B. Saltin: Metabolic characteristics of fiber types in human skeletal muscle. Acta physiol. scand., 1975, 95: 153-165.
- 12 - Foster, C., D. Costill and W. Fink: Gastric emptying characteristics of glucose and Glucose polymer solutions. Res. Quart., 1980, 51: 299-305.
- 13 - Fox, E.L.: Sports physiology. Philadelphia: W. B. Saunders Comp., 1979.
- 14 - Galbo, H.: Endocrinology and metabolism in exercise, Int. J. sports Med., 1981, 4: 203-211.
- 15 - Gollnick, P. D.: Metabolism of substrates: Energy substrate metabolism during exercise and as modified by training. Fed. Proc., Feb. 1985, 44: 353-357.
- 16 - Gollnick, P.D. and L. Hermansen: Biochemical adaptation to exercise: Anaerobic metabolism. In J. H. Wilmore (ed.) Exercise and sports sciences Reviews. New York: Academic press, 1973: 1-43.
- 17 - Gollnick, P., K. Piehl, and B. Saltin: selective glycogen depletion pattern in human muscle fibers after exercise of various intensity and at varying pedalling rates. J. physiol., 1977, 241: 45-75.

- 18 - Hermansen, L., E. Hultman and B. Saltin: Muscle glycogen during prolonged severe exercise. *Acta physiol. Scand.*, 1967, 71: 129-139.
- 19 - Jansson, E.: Diet and Muscle Metabolism in Man. *Acta physiol. Scand.*, 1980 (suppl.) 487: 1-24.
- 20 - Karlsson, J.: Lactate and phosphagen concentration in working muscle of man. *Acta physiol. Scand. (suppl.)* 358, 1971.
- 21 - Karlsson, J. and B. Saltin: Diet muscle glycogen, and Endurance performance. *J. Appl. physiol.* 1971, 31: 203-206.
- 22 - Keller, K. And R. Schwarzkopf: Pre-exercise snacks may decrease exercise performance. *The phys, and sports Med.*, 1984, 12 (4): 89-91.
- 23 - Locksley, R.: Fuel utilization in marathons: Implications for performance. *The Western J. Med.*, 1980, 133: 493-502.
- 24 - MacDougall, J., G. Ward, D. Sale, and J. Sutton: Muscle glycogen repletion after high - intensity intermittent exercise. *J. Appl. physiol.*, 1977, 42: 129-132.
- 25 - McArdle, W., F. Katch, and V. Katch: *Exercise physiology: Energy, Nutrition, and performance.* Philadelphia: Lea & Febiger, 1981.
- 26 - Newsholme, E. A.: Application of principles of Metabolic Control to the Problem of Metabolic Limitations in Sprinting, Middle - Distance, and Marathon Running. *Int. J. Sports Med. (suppl)* 1986, 7: 66-70.
- 27 - Newsholme, E. A.: The regulation of intracellular and extracellular fuel supply during sustained exercise, *Ann. N. Y. Acad. Sci.*, 1977, 301: 81-91.
- 28 - Newsholme, E. A. and A. R. Leech: *The Runner: Energy and Endurance.* New Jersey, Fitness Book, 1983.
- 29 - Saltin, B.: Metabolic fundamental in exercise. *Med. Sci. Sports*, 1973, 5: 137-146.
- 30 - Saltin, B. and J. Karlsson: Muscle glycogen Utilization during work of different intensities. In B. Pernow and B. Saltin (eds.) *Muscle Metabolism during Exercise.* New York, Plenum Press, 1971: 289-300.
- 31 - Saltin, B., and J. Karlsson: Muscle ATP, CP, and lactate during exercise after physical conditioning. In B. Pernow and B. Saltin (eds.) *Muscle metabolism during Exercise* New York: Plenum Press, 1971: 395-400.
- 32 - Sharman, I. M.: Glycogen Loading: Advantages but possible Disadvantages. *Brit. J. Sports Med.*, 1981, 15 (1): 46-67.
- 33 - Sherman, W. M.: Carbohydrate, Muscle Glycogen, and Improved performance. *The phys. & sports Med.*, 1987, 15 (2): 157-164.
- 34 - Skinner, J., and T. McLellan: The transition from aerobic to anaerobic metabolism. *Res. Quart. Exer. sports.*, 1980, 51: 234-238.
- 35 - Wahren, J.: Glucose turnover during exercise in man. *Ann. N. Y. Acad. Sci.* 1977, 301: 45-55.