

إفصاح الأيون

الطاقة والاداء في السباحة

Energy & Swimming Performance

obeikandi.com

البصائر الأولون

الطاقة والأداء فى السباحة

Energy & Swimming Performance

لا شك أن قدرة الفرد الرياضى على السباحة من بداية حمام السباحة حتى نهايته تعتمد على الانقباضات العضلية، وتحرر الطاقة اللازمة لهذه الانقباضات فى شكل عناصر كيميائية داخل العضلات، فتلك العناصر هى التى تجعلها تنقبض، لذا.. فإن الطاقة تمنح الفرد القدرة على السباحة أو ممارسة أى نشاط أو حركة، وبدونها فإن العضلات لا تستطيع أن تنقبض .

ويطلق على العمليات المعقدة التى تزود جسم الإنسان بالطاقة بعملية التمثيل الغذائى **Metabolism** . وخلال العقود الثلاثة السابقة، كانت المعلومات العلمية التى توفرت عن تمثيل الطاقة هى المسئولة بشكل كبير عن التطورات السريعة التى حدثت فى طرق التدريب الرياضى . وأصبح اهتمام العلماء فى دراساتهم العلمية مركزاً حول عملية التمثيل الغذائى وعلاقتها بالأداء، حتى يتم توجيه التدريب بشكل دقيق، وبالتالي يمكن الارتقاء بمستوى أداء الرياضيين .

مصادر الطاقة Energy Sources

عرف العلماء الطاقة بأنها " القدرة على أداء العمل (الجهد)، وهناك أنواع عديدة للطاقة فى الكون الذى نعيش فيه، فمنها الطاقة الإشعاعية **Radiant Energy** ، الطاقة الحرارية **Heat Energy** ، والطاقة الضوئية **Light Energy** ، الطاقة الكيميائية **Chemical Energy** والطاقة الميكانيكية **Mechanical Energy** . والقانون الأول للديناميكا الحرارية **Thermodynamics** يعرفنا أن كل أشكال الطاقة قابلة للتحويل لأى شكل آخر من أشكال الطاقة عندما تتطلب الحالة ذلك. **Situation Demands** . (ليننجر ١٩٧٣ م **LEHNINGER**) .

ونحن نعرف جميعاً أن المصدر الأساسى **Ultimate Source** لطاقتنا على الأرض هى الشمس، حيث تطلق الطاقة الإشعاعية إلى تربة الأرض. فعندما تنطلق الطاقة إلى المزروعات، فإنها تتحول وتخزن كطاقة كيميائية من خلال عمليات التمثيل الضوئى **Photosynthesis**. وعندما نأكل هذه المزروعات أو لحوم الحيوانات التى تأكل هذه المزروعات، فإننا نأخذ الطاقة منها إلى أجسامنا ونخزنها لاستخدامها فيما بعد، فكلأ من الزرع والحيوانات يخزن الطاقة فى شكل كربوهيدرات ودهون وبروتين، وهذه الأغذية تخزن الطاقة كأجزاء من عناصر كيميائية مختلفة.

وتصبح الطاقة مصدر القدرة للعديد من الميكانيزمات (الآليات) الفسيولوجية عندما تحرر من هذه المواد الكيميائية وتتحول إلى أشكال أخرى. ونحن نحول هذه الطاقة الكيميائية فى أجسامنا إلى طاقة كهربائية لنقل الحركة للاستثارات العصبية **Nerve Impulses**. كما نحولها إلى طاقة ميكانيكية تعطى القدرة للعضلات على الانقباض.

إن سرعة سباحى السرعة وقدرة سباحى المسافات المتوسطة والمسافة تظل عند سرعة محددة اعتماداً على قدرة أجسامهم على تحرير الطاقة الكيميائية وتحويلها إلى طاقة ميكانيكية تحقق الانقباض العضلى المطلوب للأداء الرياضى، وحيث أن الطاقة المتوفرة هى العامل الرئيسى الذى يسيطر على سرعة السباحين، فإن الغرض من التدريب يجب أن ينصب على إنتاج المزيد من الطاقة الكيميائية للعضلات وبمعدلات أسرع وكذلك استعادة الطاقة المفقودة من هذه العناصر الكيميائية بأسرع ما يمكن. فالتدريب يحقق ذلك من خلال عملية التكيف **Adaptation**، فعندما يستمر السباحون فى إنفاق كميات كبيرة من الطاقة وبمعدلات سريعة وفقاً لمتطلبات التدريب، فإن أجسامهم تخزن المزيد من المواد التى تكون الطاقة، وتحرر الطاقة بسرعة أكبر عندما يحتاجون إليها أثناء السباقات، كما

ان هذه الأجسام تكتسب خاصية استعادة تكوين الطاقة بسرعة أكبر بعد نفاذها، بمعنى آخر.. فإن الميكانيزمات الفسيولوجية تتكيف مع المتطلبات الخاصة وفقاً لمتطلبات التدريب حتى يتوفر المزيد من الطاقة لأداء المزيد من المجهود مع تعب أقل.

إن تلك التكيفات التي تؤدي إلى تحرر الطاقة واستعادتها متنوعة ومتشابكة وتختلف من وظيفة إلى أخرى، وتعتمد على المواد التي تحتوي على هذه الطاقة. فتحرر الأكسجين والعناصر الغذائية للعضلات وإعادة نقل ثاني أكسيد الكربون وحمض اللاكتيك من هذه العضلات عن طريق الجهازين الدوري والتنفسي، وكل ذلك يرتبط بحركة هذه المواد داخل العضلات، وعلى تفاعل الأنزيمات داخل هذه العضلات والتي تساعد على تحرر وإعادة تكوين الطاقة.

وتقاس الطاقة بالسعرات Calories. ومحتوى الأغذية التي نتناولها من السعرات يشير إلى مقدار الطاقة التي نستخلصها منها، ومصطلح السعر الحراري هو رمز "c" الصغير ويدل على أن هذه وحدات سعرية حرارية صغيرة، وكل ١٠٠ سعر يعادل واحد كيلو سعر حراري، حيث يعادل ٤٢٦.٨٥ كيلو جرام / متر. ومصطلح سعر حراري بالرمز "C" الكبير، غالباً ما يستخدم كبديل لمصطلح كيلو سعر حراري.

أشكال تخزين الطاقة في الجسم Storage forms of Energy in the Body

تخزين الطاقة في جسم الإنسان متحدة مع المكونات الكيميائية التالية:

١- أدينوزين ثلاثي الفوسفات ATP.

٢- كرياتين الفوسفات CP.

٣- الكربوهيدرات.

٤- الدهون.

٥- البروتين.

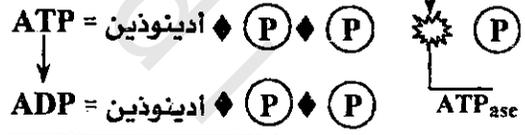
١) ثلاثى فوسفات الأدينوزين:

يتكون الـ ATP من جزئى بروتين، وجزئى أدينوزين وثلاث جزيئات فوسفات، والتركييب الكيميائى تبينه المعادلة التالية:



ويعتبر الـ ATP هو المصدر الوحيد للطاقة التى تحتاجها أجسامنا والتى تستخدم للانقباض العضلى، وجميع المكونات الكيميائية الأخرى تستخدم فقط لإعادة تكوين دورة ATP بعد استخدامه كطاقة للعمل العضلى. والطاقة الناتجة عن الـ ATP تصبح جاهزة لتحقيق الانقباض العضلى وفقاً لما يلى:

عندما تنقبض الألياف العضلية ينشط إنزيم ATP_{ase} Adenosine triphosphates ويؤدى هذا إلى تحرير جزئى فوسفات بعيداً عن مركب الـ ATP، وفى هذه الحالة تتحرر الطاقة ويتكون ثنائى فوسفات الأدينوزين ADP، وهو ذو جزئيين من الفوسفات وجزئى الإدينوزين. والشكل التالى يوضح ذلك.



◆ = رمز الطاقة

☆ = رمز الإنزيم

شكل (١) يوضح انقسام الطاقة وجزئى واحد من الفوسفات من الـ ATP. حيث يتحول إلى ADP.

ويوجد فى الأنزيمات بروتينيات قليلة لها وظيفة خاصة فى الجسم، فكل إنزيم يلعب دوراً فى الآلاف من التفاعلات الكيميائية التى تحدث فى الجسم، فالأنزيمات تسرع من هذه التفاعلات دون استهلاك أو تغير فى هذه العملية.

فالـ ATP لا يمكن انتقاله للألياف العضلية العاملة من أجزاء أخرى من الجسم. ومع ذلك، فإن الكمية الموجودة فى ليفة عضلية معينة تفقد

جزء من طاقتها وفوسفاتها والمصادر الأخرى من الطاقة خلال الليفة العضلية ذاتها وهي التي تعيد تكوينها مباشرة، والآن تكون الليفة قادرة على تحرير الطاقة الكافية لاستمرار الانقباض العضلي. وتحتوى العضلات على القليل من الـ ATP (٦.٢ مللى مول / كيلو جرام من العضلة) (بانجسبو وآخرون ١٩٩٠م BONGSBO, et al.) وهذه الكمية الضئيلة تنضب خلال الثوانى الأولى من التمرين الرياضى، وإذا لم يتم استعادتها بسرعة، فإن التعب الشديد يظهر بوضوح. (بانجسبو وآخرون ١٩٩٠م).

إن إعادة دورة الـ ADP وتحويله إلى ATP مرة أخرى يتطلب جزيء فوسفات آخر وطاقة تجعل ذلك ممكناً. والمصادر الأخرى من الطاقة يمكن استخدامها للحصول على هذا الجزيء وهذه الطاقة، ويتم ذلك وفق أربع مركبات كيميائية داخل العضلة وهي:

١- فوسفات الكرياتين.

٢- الكريوهيدرات.

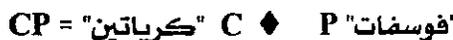
٣- الدهون.

٤- البروتين.

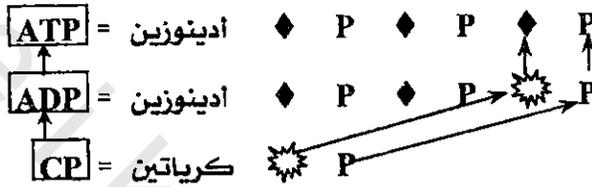
وتعمل الأنزيمات على تكسير هذه المواد مباشرة فى بداية التمرين حتى تستخدم طاقتها مباشرة فى إعادة دورة تكوين الـ ATP. وفيما يلى وصف دور كل من هذه المكونات الكيميائية فى إعادة تكوين دورة الـ ATP.

٢) الفوسفوكرياتين: Creatine Phosphate.

يعتبر الفوسفوكرياتين CP فى شكله الكيميائى هو المصدر السريع للطاقة وجزيء الفوسفات اللازم لإعادة دورة تكوين الـ ATP، فهو يحتوى على جزيء فوسفات، وجزيء كرياتين، والطاقة التى تربط الجزيئين معاً. والتركيب الكيميائى له يكتب كما يلى:



وانزيم كرياتين كينيز (CK) Creatine kinase يعمل على تحفيز Catalyze عملية بانقسام جزيء الفوسفات من الكرياتين، حيث تتحرر الطاقة أيضاً والتي تضم هذين الجزيئين معاً. فالطاقة والفوسفات يتحدا حينئذ مع ثنائي أدينوزين الفوسفات ADP ليتكون الـ ATP. وانزيم الميوكينييز (mk) Myokinase هو الذي يتم هذا الاتحاد. فعملية إعادة تشكيل الـ ATP من الـ CP و ADP يوضحها الشكل التالي:



شكل (٢) إعادة تكوين الـ ATP من خلال انقسام كرياتين الفوسفات

إن عملية إعادة تكوين الـ ATP بالفوسفات والطاقة المأخوذان من الـ CP تتطلب خطوتين فقط هما :

١- تكسير الـ CP.

٢- اتحاد الفوسفات والطاقة الناتجة عنه مع الـ ADP (ثنائي فوسفات الأدينوزين).

إن هاتين العمليتين يمكن أن تتما بسرعة لدرجة لا تحدث تأخير في عملية استعادة الطاقة من الـ ATP. ووفقاً لذلك، فإن الفرد الرياضي يمكنه المحافظة على أقصى معدل للانقباض العضلي لأطول فترة ممكنة تجعل من الممكن إعادة تخزين الطاقة الناتجة من الـ ATP، فالألياف العضلية السريعة (FT) تمتلك تركيزاً أعلى من هذه المكونات الكيميائية بالمقارنة بالألياف العضلية البطيئة (ST).

ومن الملاحظ أن كمية الفوسفو كرياتين التي يمكن تخزينها في أي من الألياف العضلية السريعة أو البطيئة كمية صغيرة جداً، ما بين ١١-٢٣ ملى مول/كيلو جرام من العضلات الرخوة (ليننجر ١٩٧٣م LEHNINGER).

ولكن استخدام الإنسان لهذا المركب يشمل حوالي ٦٠٪ فقط من مخزونها من الفوسفوكرياتين لإعادة تكوين الـ ATP (بانجسبو وآخرون ١٩٩٠م، هينريكسون ١٩٩٢م HENERIKSSON) وذلك قبل أن تحس الأجسام بنقص ويطئ عملية تكوين الـ ATP. ووفقاً لذلك، فإن استخدام الـ CP في إعادة تكوين الـ ATP تستغرق حوالي ٤ - ٥ ث فقط من زمن المجهود الكلى (دي برامبرو ١٩٧١م DI PRAMPERO) وعلى ذلك، فإن الأشخاص نتيجة ذلك يمكنهم المحافظة على أقصى معدل من الانقباض العضلي لمدة من ٤ - ٦ ث فقط.

ويمكن استعادة القليل من الـ CP أثناء التمرين الرياضى لأن كل من الفوسفات المتوفر والطاقة سوف يكونا في خدمة إعادة تكوين الـ ATP. ولكن عندما ينتهى التمرين ويتم إعادة تكوين كل الـ ATP، فإن جزيئات الفوسفات سوف تجدد الطاقة وتتحدد مع الكرياتين لاستعادة تخزين الفوسفو كرياتين بالعضلات.

وعندما يستهلك نصف الـ CP من العضلات، فإن الفرد الرياضى يعتمد على التمثيل الغذائى للكربوهيدرات والدهون والبروتين للحصول على الطاقة والفوسفات اللازمان لإعادة تكوين الـ ATP، ونتيجة ذلك، فإن معدل الانقباض العضلي يبطئ لأن هناك العديد من الخطوات الإضافية المطلوبة لتحرير الطاقة من هذه المواد الغذائية. وفي غياب الفوسفوكرياتين الكافى، فإن معظم المصادر السريعة التالية للحصول على الطاقة والفوسفات تكون من الكربوهيدرات فى شكل جليكوجين مخزون فى العضلات.

٢) الكربوهيدرات: Carbohydrates

تتشكل الكربوهيدرات من سكريات ونشويات بسيطة، حيث يمكن استخدامها كمصادر للطاقة حتى تقوم أجهزة الجسم بوظائفها سواء أكان تمريناً بدنياً أو تفكيراً عقلياً. فالجلوكوز هو السكر البسيط المستخدم

لاستعادة دورة الـ ATP، فالأغذية التي تحتوي على السكريات البسيطة والمعقدة والنشويات تقلل الجلوكوز أثناء عملية الهضم **Digestive Process** .

وبعد أن تدخل مجرى الدم بعد تحويلها إلى مركبات كيميائية فإنها تُحمّل لخلايا الجسم وتستخدم مباشرة للحصول على الطاقة أو تخزن لاستخدامها فيما بعد.

إن شكل تخزين الجلوكوز أصطلح على تسميته الجليكوجين. فالجسم يخزن الجليكوجين في كلاً من العضلات والكبد. وكما أشرنا من قبل، فإن بعض من الجلوكوز المنتشر داخل الخلايا في العضلات العاملة يمكن استخدامه أيضاً في استعادة تكوين دورة الـ ATP مباشرة. وفيما يلي نستعرض بالتفصيل دور هذه المصادر الثلاثة للطاقة والتي تلعب دوراً في استعادة تكوين الـ ATP .

أ- جليكوجين العضلة.

ب- جليكوجين الكبد.

ج- الجلوكوز.

أ - جليكوجين العضلة: Muscle Glycogen

يتكون جليكوجين العضلة من سلسلة من جزيئات الجلوكوز، فهو المصدر الرئيسي للطاقة والفوسفات لإعادة تكوين الـ ATP في سباقات السباحة القصيرة جداً (سباقات السرعة القصوى) لأنه يتوفر في خلايا العضلة ولا يتطلب وقت حتى يتم نقله من الدم، ويعتبر جليكوجين العضلة هو المصدر التالي الأسرع للطاقة والفوسفات لاستعادة تكوين الـ ATP عندما يقل المدّ بالـ CP العضلة (الفوسفوكرياتين). وهذه العملية تحدث وفق الأسلوب التالي:

فعندما يبدأ التمرين الرياضى، فإن الجليكوجين المخزون في العضلات يتحول مرة أخرى إلى جلوكوز وهذا الجلوكوز يتم تمثيله غذائياً في

شكل سلسلة طويلة معقدة اصطلاح على تسميتها بالجلوكزة (تحلل السكر) Glycolysis، وتتحرق الطاقة والقوسفات اللازمان لإعادة تكوين الـ ATP بسرعة فى عملية تسمى بالجلوكزة اللاهوائية (تحلل السكر لاهوائياً) Anaerobic Glycolysis، ولا يتطلب إتمام هذه العملية وجود الأوكسجين. والعمليات الأطول اصطلاح على تسميتها بالجلوكزة الهوائية Aerobic glycolysis وهى التى تتطلب وجود الأوكسجين، ويشير (موجان وجليسون ٢٠٠٤ & MAUGHAN GLEESON) أن الجليكوجين يتكسر وتنشط الجلوكزة بسرعة خلال الثوانى الأولى للتمرين الشديد.

ب- جليكوجين الكبد وجلوكوز الدم: Liver Glycogen and Blood Glucose.

يحتوى الكبد على مخزون من الجلوكوز فى صورة جليكوجين والذى يمكن تمثيله وإرساله للعضلات عندما تحتاج للطاقة بعد أن يحوله مرة أخرى إلى جلوكوز قبل إرساله للعضلات، واستخدامه لتكملة الجليكوجين المخزون بها. إن عملية إعادة التحويل تتم حتى يحدث انخفاض فى عملية التزود بجلوكوز الدم لأقل من الحد الطبيعى.

لذا فعندما تنقبض العضلات وينتشر الجلوكوز الوارد من الدم داخلها، فإن جليكوجين الكبد سوف يتحول إلى جلوكوز ويدفع لداخل مجرى الدم ليستكمل Replenish نقص جلوكوز الدم.

ومن الشائع تسمية جلوكوز الدم بسكر الدم Blood sugar. فبعد إتمام عملية هضم الطعام يمتص الجلوكوز ليصب داخل مجرى الدم، وفى حالة الراحة، فإن جلوكوز الدم يرسل إلى العضلات والكبد، حيث يخزن فى صور جليكوجين. وعندما يتدرب السباحون، فإن الجلوكوز الموجود بالدم ينتشر داخل العضلات ويدخل فى عملية التمثيل قبل أن يبدأ فى التحويل إلى جليكوجين.

وهذا يوضح أن الجلوكوز الوارد من الدم أثناء التمرين يساعد الرياضيين فى المحافظة على مستوى الجلوكوز فى العضلات مرتفعاً.

ويشير العلماء أن نسبة مساهمة جلوكوز الدم في الطاقة المستخدمة خلال التدريب تبلغ من ٣٠% - ٤٠% من إجمالي حجم الطاقة المنفقة (فيلينج، وارين ١٩٧١م FELING & WAHREN). إن عملية تحويل جليكوجين الكبد إلى جلوكوز الدم تكون بطيئة لمد العضلات بالطاقة لاستعادة تكوين الـ ATP عند سرعات السباحة السريعة أو حتى المعتدلة.

كما أن انتشار جلوكوز الدم داخل الخلايا العضلية يتطلب أيضاً فترة زمنية كبيرة حتى يمكن المحافظة على سرعات أداء السباحة السريعة، في حين أن هذه العملية من المحتمل أنها تُمَد بمقدار صغير من الطاقة للرياضيين الذين يشاركون في السباقات التنافسية الأطول. لذا فإن كلاً من جليكوجين الكبد وسكر الدم قد يستخدم فقط كإضافات للطاقة، وليس كبديل عن جليكوجين العضلات وذلك أثناء مراحل التدريب الطويلة فقط. ومع ذلك فإنهما يلعبان دوراً جوهرياً في التدريب لأنهما يجعلان السباحون يستطيعون أداء المزيد من المجهود عند مستوى شدة أعلى قبل بداية ظهور التعب الناتج عن فقد الطاقة.

كما أن كلاهما - جلوكوز الدم وجليكوجين الكبد - يلعبان دوراً فاعلاً في تعويض الجليكوجين بالعضلات أثناء فترة الاستشفاء التي تلي التمرين. هذا بالإضافة إلى أن الجلوكوز الموجود بالدم يمكن إعادة تحويله إلى جليكوجين يخزن في الكبد عندما ينخفض مستوى المخزون منه. وهناك وظيفة هامة أخرى لجليكوجين الكبد وجلوكوز الدم وهي أنهما يعملان على المحافظة على مد المخ والأنسجة العصبية الأخرى بالقدر الكافي من جلوكوز الدم، فالخلايا العصبية مثل غيرها من الخلايا الأخرى بالجسم، تستخدم الجلوكوز من أجل الحصول على الطاقة، ولكن على خلاف الخلايا العضلية، التي تستطيع تخزينه كجليكوجين. ومع ذلك، فإنها تحتاج إلى التزود بمقدار ثابت من جلوكوز الدم.

والدهون أيضاً مصدراً هاماً للطاقة اللازمة لإعادة تكوين الـ ATP أثناء التمرين. ويتحرر من الدهون مزيد من الـ ATP بالمقارنة بالعناصر الغذائية الأخرى مثل الكربوهيدرات. حيث أن جزيء الدهون يمكنه أن يعيد تكوين ٤٥٧ جزيء من الـ ATP، بينما جزيء الجلوكوز يمكنه أن يعيد تكوين ٣٦ جزيء فقط من الـ ATP، ومع ذلك، فإن عملية تمثيل الدهون تكون هوائية بشكل تام Entirely، وهذا يعني أن الطاقة المتحررة منها تكون بطيئة، ولا شك أن هذا غير ملائم Unfortunately للأنشطة السريعة أو متوسطة الشدة. هذا بالإضافة إلى أن هذا يتطلب تقريباً ضعف الزمن لتحرير الـ ATP. فهذا التحرر البطيء يجعل السباحون لا يستطيعون المحافظة على السرعة المطلوبة أثناء السباقات إذا ما اعتمدوا على هذا المصدر فقط للحصول على الطاقة، أو اعتبارها المصدر الرئيسي للطاقة لإعادة تكوين الـ ATP .

ونتيجة أن تحرر الطاقة من الدهون يكون بطيئاً - تقريباً ١٢ ملى مول / كيلو جرام - والتي تخزن في العضلات لتكون متيسرة للاستخدام حين الطلب. فالكمية الأكبر من الدهون تخزن تحت الجلد كنسيج دهني، ومعظم أجسام الرياضيون تحتوي على نسيج دهني كاف للتزود بالطاقة للعديد من الأيام. ويشير العلماء أن المقادير الكلية من الطاقة التي توفرها الدهون تكون ما بين ٧٠.٠٠٠ - ١١٠.٠٠٠ كيلو سعر حراري لدى البالغين قليلي الدهن (الأشخاص النحفاء). وعلى النقيض من ذلك، فإن الحجم الكلي من الطاقة التي توفرها كربوهيدرات الجسم المدخرة تكون أقل من ٢٠٠٠ كيلو سعر حراري Kilocalories (مك إردل، كاتش، كاتش ١٩٩٦م).

دعنا عزيزي القارئ نفسر كيف تتم عملية الحصول على الطاقة من الدهون، التي تتحول للشكل الذي يساعد على تحرر الطاقة والفوسفات

اللازمان لإعادة تكوين الـ ATP. فالترای جلسرايد Triglycerides هو الشكل الذى يخزن به الدهون بالجسم، فهو أولاً يتحول إلى جلسرايد Glycerol وثلاث جزيئات من الحمض الدهنى (الأحماض الدهنية الحرة FFA، وتسمى هذه العملية ليبوليسيز Lipolysis (تحلل الدهون) قبل أن تتحرر الطاقة.

إن إنزيم الليبيز Lipase يحفز Catalyze عملية التحويل، وعندما يحدث التحول، فإن الدم ينقل الجلسرايد إلى الكبد، حيث يمكن تحويله إلى جلوكوز وجليكوجين. وفى نفس الوقت، فإن الدم ينقل الأحماض الدهنية للألياف العضلية العاملة، حيث يمكن امتصاصه Absorbed ونقله إلى الميتوكوندريا. وبمجرد وصوله، فإن الأحماض الدهنية التى نقلت إلى داخل الميتوكوندريا بمساعدة أنزيم كارنتين ترانسفيراز (CT) Carnitinetrans ferase تحمل على تحرر أجزاء من الكربون أستيل Carbon acetyl فى عملية تسمى أكسدة بيتا Beta Oxidation ويتحد الأستيل مع إنزيم A Coenzyme (حرف الـ A يرمز إلى حامض الخليك Acetic Acid) ليكون أستيل كوانزيم A (أستيل CoA) Acetyl - Coenzyme, A فإنزيم أستيل CoA هو الذى يحفز تركيب عملية اتحاد الأستيل مع الكوانزيم A وعندئذ يدخل الأستيل CoA إلى دورة كريس، حيث يمكنه أن يساهم فى استعادة دورة الـ ATP بنفس الطريقة التى حدثت للجليكوجين. وبمجرد دخوله دورة كريس، فإن كل جزيء من الحمض الدهنى يمكنه أن يكون ١٤٧ جزيء من الـ ATP (مك أردل، كاتش، كاتش ١٩٩٦م).

إن النسيج الدهنى يمد بحوالى نصف المقدار الدهنى الذى يتم تمثيله للحصول على الطاقة أثناء التمرين. والدهن المخزون فى الخلايا العضلية يمد بالنصف الآخر، فالألياف العضلية البطيئة هى أفضل ما يلائم لتمثيل الدهون بالمقارنة بالألياف السريعة، لأن الألياف البطيئة تحتوى على مزيد من الدهن المخزون فيها، ولديها مخزون دم أكبر، ويمكنها نقل دهون إضافية

من النسيج الدهنى بسرعة أكبر . فالألياف البطيئة أيضاً لديها المزيد من الميتوكوندريا، حيث الدهون فى كلاً من الجهازين الدورى والعضلى يمكن تمثيلهما .

إن معدل تمثيل الدهون فى الألياف العضلية البطيئة يعادل ١٠ أضعاف معدل تمثيلها فى الألياف السريعة المناظرة لها بنفس العضلة . (بروكس، فاهى ١٩٨٤ م BROOKS & FAHEY) ووفقاً لذلك، فإن سباحى المسافة الذين لديهم نسبة مئوية أعلى من الألياف العضلية البطيئة يستخدمون دهون أكثر أى جليكوجين عضلة أقل للحصول على الطاقة أثناء التدريب، لذا فسباحى المسافة يستنزفون جليكوجين عضلاتهم ببطء أكبر وهذا يعتبر أحد أسباب أن هؤلاء السباحون لديهم القدرة على تحمل التدريب الشديد للعديد من الأيام والأسابيع بالمقارنة بسباحى السرعة .

إن الدور الرئيسى الذى تلعبه عملية تمثيل الدهون لإعادة تكوين دورة الـ ATP لدى السباحين أثناء التدريب يتمثل فى أن هذه العملية تمد بكمية كبيرة من الطاقة أثناء الأداء لسباحة المجموعات التكرارية الطويلة ذات السرعات المعتدلة، لذا يقل معدل جليكوجين العضلة المستخدم فى عملية التمثيل ويتأخر ظهور التعب . وتشير الدراسات العلمية أن تمثيل الدهون يمد بـ ٣٠ - ٥٠% من إجمالي الطاقة المستخدمة أثناء التدريب الذى يستمر لمدة ساعتين (تدريب تحمل) (البورج، هاجنفيلدر، وارين ١٩٧٤ م (AHLBORG, HAGENFELDER & WAHREN

أما عملية التزود بالطاقة لأداء تكرارات من السرعة وتحمل السرعة فهذا شيء آخر . ونتيجة إن عملية تمثيل الدهون تتم ببطء شديد حتى تمدنا بالطاقة، لذا فإن مقدار صغير من الطاقة الناتجة من تمثيل الدهون يساهم فى أداء السباحة السريعة .

ووفقاً لذلك، فإن مساهمة الدهون فى استعادة تكوين الـ ATP تنخفض كثيراً عندما يسبح السباحون عند سرعات تقترب من أو تتخطى

عتبتهم الفارقة اللاهوائية. ومع ذلك، فإن معظم الطاقة اللازمة لهذه السرعات تأتي من الجليكوجين والجلوكوز.

ويجب أن نتذكر أن مقدار الطاقة الناتجة من الجليكوجين العضلي تقل كلما استمر التدريب، لأن مخزون العضلات من الجليكوجين يقل إلى حد كبير بعد الساعة الأولى من التدريب. ويشير موجان وجلسيون ٢٠٠٤م أن تدريب التحمل يزيد من أكسدة الدهون التي تساهم في مد العضلات بالطاقة أثناء التمرين الأقل من الأقصى وبالتالي يقل تراكم اللاكتيك.

٥) البروتينات: Proteins.

يعتبر البروتين من العناصر البنائية الأساسية Basic structural elements التي ترتبط بشكل أساسي بإصلاح Repair وإعادة بناء الأنسجة، كما يرادف Synonymous استخدام البروتينات لتحسين عنصر القوة في اللياقة البدنية. إن العديد من مكونات بناء العضلات التي ترتبط بالتمثيل الهوائي تعتمد في بنائها على البروتين. ومصدر هذه المكونات هو الميتوكوندريا حيث تحدث عملية التمثيل الهوائي. كما أن الهيموجلوبين والميوجلوبين هما اللذان يحملان الأكسجين للدم والعضلات، كما أن بناء وتكوين الإنزيمات والهورمونات يعتمد أيضاً على البروتينات. كما أن البروتين هو واحد من مكونات معظم المنظمات Buffers الهامة في الجسم.

ووفقاً لذلك، فإن البروتينات تلعب دوراً في تنظيم التوازن بين الأحماض والقلويات في سوائل الجسم خلال أداء الفرد للتمرين الرياضي.

ويدخل في تركيب البروتينات الكربون Carbon والهيدروجين Hydrogen والنيتروجين Nitrogen. وتترتب هذه المكونات في تشكيلة ويطرق معينة لتكون اتحاد كبير من الأحماض الأمينية. والجسم لا يخزن البروتين في مخازن، ولكنها جميعها تتكون في الجسم كأجزاء هامة من الأنسجة والدم والهورمونات والإنزيمات. وهذه المكونات الداخلة في بناء الجسم والتي

تحتوى على هذه الأحماض الأمينية تخضع باستمرار لعملية التفسير وإعادة البناء.

بجانب ذلك، فهناك وظائف أخرى للبروتينات، فالبروتينات يمكنها إعطاء مقدار صغير من الطاقة لإعادة تكوين الـ ATP أثناء التمرين الرياضى. ويحدث ذلك عندما ينتقل بعض من النتروجين من بعض الأحماض الأمينية بشكل مبدئى وتتحول إلى بروتينات أخرى لتكوين أحماض أمينية أخرى جديدة. والبروتينات الكربونية التى تبقى من الأحماض الأمينية القديمة يمكنها عندئذ أن تتحول إلى استيل كولين (CoA) لدرجة أنها يمكنها أن تدخل دورة كريس حيث تمثّل غذائياً لتمد بالطاقة بنفس الطريقة كجلوكوز.

إن استعادة تكوين الـ ATP من البروتين بطيئة، كما هو الحال فى الدهون، فعملية التمثيل الهوائى للبروتينات تتم من خلال العديد من الخطوات قبل أن تتكسر البروتينات الكربونية إلى أحماض أمينية تصل فيما بعد إلى دورة كريس ونتيجة أنها عملية بطيئة إلى حد بعيد، فإن تمثيل البروتين لا يساهم بأى مقادير أساسية للطاقة أثناء المنافسات، ولكنها تساهم وفقاً لما ذكره (مك اردل ، كاتش، كاتش ١٩٩٦م) بنسبة مئوية ما بين ١٠ - ١٥% من إجمالي الطاقة التى تستخدم لفترة تدريبية مدتها ساعتين.

ولذلك، فعلى الرياضيين أن يحافظوا على قدر كاف من الجلوكوز والجليكوجين فى عضلاتهم أثناء التمرين، حتى لا تتجه تلك العضلات إلى استخدام مقادير كبيرة من البروتين للحصول على الطاقة، مما يجعل العضلات تفقد جزء من بروتينها، وبالتالي تفقد جزء من قوتها وقدرتها على التمثيل الغذائى.

ومن الشائع، أنه فى حالة استخدام مقادير ضئيلة من البروتينات للحصول على الطاقة، فإنه بشكل عام يمكن استعادتها خلال فترة الليل، لذا فإن

التكيف مع التدريب لن يكون له تأثيرات عكسية. ولكن عندما يكون تدريب الرياضيين في توقيت يكون فيه مخزون العضلات العاملة من الجليكوجين قليل، فإن التأثيرات العكسية في هذه الحالة تصبح ذات تأثير. ومثال لذلك، إذا كان جليكوجين العضلات قليل نتيجة تدريب سابق، فإن كمية الطاقة المتحررة من تكسير البروتين يمكن أن تزيد من ١٥% إلى ٤٥% (مك إردل، كاتش، كاتش ١٩٩٦م). كما أن الطاقة الناتجة من استعادة تكوين الـ ATP من البروتينات سوف تزيد أيضاً بشكل كبير أثناء التدريب المستمر الطويل إذا كان الجليكوجين المخزون في العضلات والكبد قد نضب.

ويجب أن نعلم أنه عند تمثيل البروتين للحصول على الطاقة، فإن جزيئات النتروجين المتبقية في الأحماض الأمينية إلى استخدمت في التزود بالطاقة لإعادة تكوين الـ ATP يجب أن يتخلص منها الجسم. وفي جسم الإنسان نجد أن النتروجين يظهر (يفرز) في البول كيوربا. ولهذا السبب، فإن بعض الباحثون يعتقدون أنه يمكن استخدام ظهور اليوريا في البول كمؤشر على زيادة استخدام البروتين كطاقة.

مراحل تمثيل الطاقة: Stages of Energy Metabolism

إن الجسم البشري يعيد دورة الـ ATP مستخدماً ثلاث أنظمة بيوكيميائية مختلفة، اثنين منها لا تتطلب الأكسجين وتعتبر لاهوائية، والنظام الثالث هو الذي يستخدم الأكسجين، لذا فإنه يسمى بالنظام الهوائي، وهذه الأنظمة ظهر لها العديد من المسميات. فابسط وأسرع الأنظمة هو النظام اللاهوائي الذي أصطلح على تسميته بنظام الـ ATP - CP أو نظام إعادة دورة الـ ATP أو بالنظام الخالي من الهواء Nonaerobic أو بالنظام اللاكتيكي.

إن هذه المصطلحات المتعددة استخدمت للتفرقة بين هذا النظام والنظام اللاهوائي الآخر، وهو نظام التمثيل اللاهوائي للطاقة، وسمى أيضاً بنظام اللاكتيك، أو بنظام الجلوكزة اللاهوائية. ويفضل ماجلشو ٢٠٠٣ استخدام

مصطلح "التمثيل اللاهوائى Anaerobic Metabolism أما المرحلة الأخيرة من التمثيل الغذائى، والتي تتطلب الأوكسجين، فسميت بالنظام الهوائى أو التمثيل الهوائى أو الجلركة الهوائية، ويفضل ما جملشو مصطلح التمثيل الهوائى.

إن جميع هذه الأنظمة تعيد تكون الـ ATP بمعدلات سرعة مختلفة. وكما ذكرنا من قبل، فإن نظام ATP-CP هو أسرع هذه الأنظمة الثلاثة، والجلركة اللاهوائية هو النظام الأسرع الذى يليه، والتمثيل الهوائى هو أبط هذه الأنظمة. وإن معدل استعادة دورة الـ ATP بالتمثيل اللاهوائى تعادل تقريباً نصف معدل نظام الـ ATP-CP، ومن ناحية أخرى، فإن معدل استعادة الـ ATP بالتمثيل الهوائى يعادل النصف بالمقارنة بالتمثيل اللاهوائى.

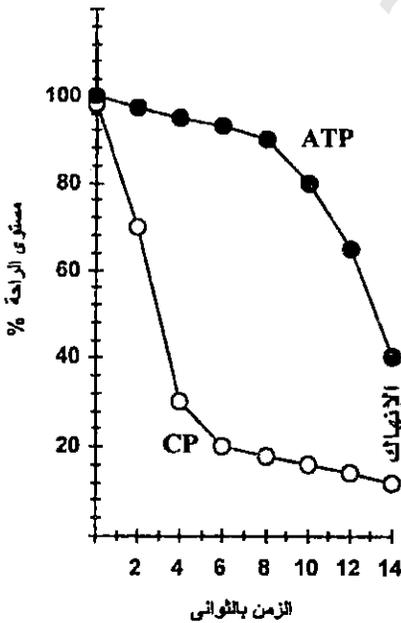
أ - نظام الـ ATP - CP

إن مرحلة الـ ATP - CP من عملية التمثيل تعرف بأنها أسرع عملية لإعادة تكوين الـ ATP من خلال تكسير الـ CP (الفوسفوكرياتين). فعندما تحفز الأعصاب الألياف العضلية لتتقبض، فإن خيوط البروتين Protein filaments لهذه الليفة - المايوسين والأكتين - تتحدد، وهنا ينشط إنزيم ATPase فهذا الإنزيم يساعد فى انشطار جزيء من الفوسفات الرابطة من مركب الـ ATP .

والطاقة المنطلقة من هذه العملية الكيميائية تستخدمها الألياف العضلية لتحقيق عملية الانقباض العضلى، وتتم هذه العملية بسرعة كبيرة لدرجة أن هذا الانقباض يمكن أن يحدث مباشرة، كما يمكن أن يكون هذا الانقباض بأقصى قوة، ومع ذلك، فإن نظام الـ ATP - CP لا يحدد المقادير الإجمالية من القوة التى تخرجها العضلة، عوضاً عن ذلك، فإن عدد الألياف التى تنقبض فى أى فترة زمنية هى التى تحدد المقدار الاجمالى للقوة التى تنتجها العضلات القائمة بالمجهود.

إن إنشطار الـ ATP يحرر 7.3 Liberate سعر حرارى من الطاقة الكيميائية (مك أردل، كاتش، كاتش، ١٩٩٦). فبعض من هذه الطاقة يتحول إلى طاقة كيميائية تستخدمها العضلات في انقباضها، وفي حالة الراحة تتحول إلى طاقة حرارية $Heat Energy$. فالنسبة المئوية من الطاقة الإجمالية المستخدمة للمجهود هي التي تحدد فعالية هذا المجهود، فإذا كانت فعالية السباح في أداء السباحة الحرة تبلغ 14% فإن هذه النسبة فقط من الطاقة الكيميائية تتحرر لتستخدم لأداء الانقباض العضلى، بينما الـ 86% المتبقية تتحول إلى طاقة حرارية (برندرجت وآخرون ١٩٨٦ م PRENDERGAST).

وتقرب بعض الدراسات أن الألياف العضلية لدى الإنسان تتضمن قدرًا كافيًا من الفوسفوكرياتين لإعادة دورة الـ ATP لمدة من ١٠ - ١٥ ث، وهذا يوضح أن حوالى نصفه فقط يمكن استخدامه فى التحول السريع



شكل (٣) يوضح نموذج للـ CP، ATP، المستخدم خلال سباقات السرعة القصيرة

للـ ADP (ثنائى فوسفات الأدينوزين) إلى ATP (ثلاثى فوسفات الأدينوزين) قبل أن يتكون حمض اللاكتيك (دى برامرو ١٩٧١ م DI-PRAMERO). ومع ذلك وكما ذكرنا من قبل، فإن الألياف العضلية تستطيع أن تنقبض عند أقصى معدل من السرعة لمدة ٤-٦ ث فقط، لأن الـ CP الموجود بالعضلة يقل على مرحلتين، حيث ينخفض بسرعة خلال ٤-٦ ث الأولى من المجهود، ثم تكون أكثر بطئاً فيما تبقى من السباق (هاسون، بارنز ١٩٨٦ م HASSON BARNES) والشكل التالى يوضح هذه العملية.

إن معظم الطاقة التي تعيد تكوين الـ ATP يتم التزود بها عن طريق الـ CP خلال الثواني الأولى فقط من التمرين الرياضى. ثم يصبح جليكوجين العضلة هو المصدر الأكبر والأكثر مساهمة فى المد بالطاقة. ففى خلال ١٠ ث من المجهود، فإن إعادة تكوين الـ ATP يشارك فيها بالتساوى كلاً من الـ CP وجليكوجين العضلة، ثم بعد حوالى (٥ث) اخرى من المجهود يصبح جليكوجين العضلة هو المصدر الرئيسى للطاقة اللازمة لإعادة تحرير الـ ATP، مع استمرار مساهمة الـ CP بمعدل ثابت. وبعد ٢٠ ث من التمرين، فإن مساهمة الـ CP فى إعادة تحرر الـ ATP تصبح ضئيلة Negligible (جرنيهاف، تيمونز ١٩٩٨م GREERIHAF & TIMMONS) ويشير (رون موجان، ميشيل جليسون ٢٠٠٤م RON MAUGHAN & MICHAEL GLEESON) أن تدريب السرعة لا يزيد من تركيز مركب الـ ATP - CP فى العضلات.

ب - التمثيل اللاهوائى: Anaerobic Metabolism.

بعد بداية السباق بـ ٥ ث تقريباً وحتى يستمر السباق، فإن جليكوجين العضلة يصبح هو المصدر الأساسى للفوسفات والطاقة اللازمان لاستعادة تكوين الـ ATP. وتمر هذه العملية بمرحلتين المرحلة الأولى لاهوائية ويتحرر فيها الطاقة والفوسفات بسرعة، بينما المرحلة الثانية هوائية وفيها يكون استعادة دورة الـ ATP بمعدل أبطء. ويمكننا أن نستعرض المرحلة الأولى بالتفصيل خلال السطور التالية.

إن مصطلح التمثيل اللاهوائى هو مصطلح شائع الاستخدام عندما نرجعها إلى مرحلة التمثيل. ومع ذلك فميكانيزم هذه العملية يشير إلى الجلوكزة اللاهوائية، لأنها تمر من خلال الخطوات الأولى من عملية التمثيل الغذائى والتي تبلغ إحدى عشر خطوة لتمثيل جليكوجين العضلة وتحوله إلى جلوكوز، وفى النهاية إلى بيروفيك أو حمض لاكتيك.

ومع ذلك، فعندما يكون الأكسجين المزود به غير كاف، وهذا ما يحدث دائماً في حالة أداء السباحة الشديدة، فإن بعض من حمض البيروفيك وإيونات الهيدروجين سوف تتحد لتكون حمض اللاكتيك.

ويأتى إنزيم لاكتيك دي هيدروجينيز Lactate Dehydrogenase (لاكتات نازعة الهيدروجين) وعلى الأخص الشكل العضلى من هذا الأنزيم حيث أن هذا الأنزيم له شكلان عضلى وقلبي، لتحفيز هذه العملية.

وحمض اللاكتيك هذا، يجعل الـ PH فى الخلايا العضلية يقل عن مستواه الطبيعى فى حالة الراحة وهو ٧.٠، ويجعل ما بداخل الخلية حمضى، وعندما يتراكم اللاكتيك فى العضلات، وهو حمض، فتحدث حالة تعرف بالحمضية Acidosis ويعتقد أن عملية الحمضية هى السبب الرئيسى للتعب فى جميع السباقات التى تستغرق فترة زمنية أطول من ٢٠ - ٣٠ ث. ويشير رون موجان وميشيل جليسون ٢٠٠٤م أن تدريب السرعة يحدث تغيرات فى نشاط الإنزيمات العضلية الخاصة بعملية التمثيل اللاهوائى تصل ما بين ٤٠-٥٠%.

ج- التمثيل الهوائى: Aerobic Metabolism.

عندما يكون الأكسجين المتوفر كافياً، فإن الناتج النهائى للجلوكزة اللاهوائية وهو البيروفيك وإيونات الهيدرجين، سوف يدخل المرحلة الهوائية لنفس هذه العملية، حيث يمكن تمثيلهما للحصول على الطاقة اللازمة لتحرير الـ ATP. فأيونات الهيدروجين يمكنها المساهمة بالمد بالطاقة لإعادة دورة الـ ATP عندما تنقلها الأكسدة فى سلسلة الانتقال الإلكتروني Electron Transport Chain، والبيرفيك يمكن أن يمد بالفوسفات عند تمثيله فى دورة كريس.

وفى الغالب، فإن الجلوكزة الهوائية تعتبر طريقة فعالة لاستعادة دورة الـ ATP لأنها لا تنتج أى نواتج نهائية حمضية تسبب التعب لأن التمثيل

الجلوكوز ينتج ٣ جزيئات فقط من الـ ATP عندما يتم عملية التمثيل لا هوائيا مع تكوين البيروفيك وأيونات الهيدروجين (شفيد ١٩٨٢م SHEPHERD). ومن عيوب المرحلة الهوائية من الجلوكزة أن هذه العملية لها مئات من الخطوات الطويلة بالمقارنة بالعملية اللاهوائية ولذلك فهي أبطء. فتحرر الطاقة من الجلوكوز خلال هذه العملية يتطلب ضعف الفترة الزمنية التي تستغرقها الجلوكزة اللاهوائية لتحقيق نفس الغرض.

وكما أشرنا من قبل، فإن الجسم يمكنه أيضاً تمثيل الدهون والبروتينات هوائياً. وعموماً فعملية التمثيل الهوائى تتكون مبدئياً من عمليتين هما:-

١- دورة كريس.

٢- سلسلة الانتقال الإلكتروني.

فالبيروفك يتم تمثيله إلى ثانى أكسيد الكربون فى دورة كريس، وأيونات الهيدروجين والكترولواته يتم تمثيلها إلى ماء فى سلسلة التبادل الإلكتروني، فكلتا العمليتين يحررا كمية كبيرة من الطاقة والفوسفات لاستعادة تكوين الـ ATP.

١- دور الميولوجلوبين وميتوكوندريا العضلة فى التمثيل الهوائى:

Roles of Myoglobin and Muscle Mitochondria in Aerobic Metabolism.

يؤثر التمثيل الغذائى اللاهوائى على سيتوبلازم Cytoplasm (البروتوبلازم) الخلايا العضلية. أما التمثيل الهوائى فيؤثر فى ميتوكوندريا الخلايا العضلية، والتي عرفت بمولد الطاقة Powerhouses (بيت الطاقة) للخلية، لأن أكثر من ٩٠% من الـ ATP الذى يتم استعادة تكوينه أثناء تمرين التحمل كان نتيجة عمليات حدثت فى الميتوكوندريا.

وتنتج عملية التمثيل اللاهوائى البيروفيك وأيونات الهوائى. فالأكسجين المنتشر داخل غشاء الخلية ينقله الميوجلوبين إلى الميتوكوندريا، إن

تدريب التحمل يزيد من كمية الميوجلوبين فى العضلات لدرجة أن الأكسجين ينقل عن طريقه إلى خلايا العضلة. هذا بالإضافة إلى أن تدريب التحمل سيزيد كلاً من (حجم Size وعدد Number) الميتوكوندريا داخل الخلايا العضلية لدرجة أن مناطق أكبر وأوسع منها تتأثر بالتمثيل الهوائى.

ونظراً للدور الهام الذى يلعبه الأكسجين فى عملية التمثيل الهوائى فى أنشطة التحمل، يمكننا أن نستعرض هذا الدور من خلال السطور التالية:

٢- دور الأكسجين فى التمثيل الهوائى:

Role of Oxygen in Aerobic Metabolism

يعتبر الأكسجين هو المنظم الرئيسى لمعدلات الطاقة المتحررة من عملية التمثيل الهوائى، لأنه المحول النهائى للهيدروجين فى سلسلة التبادل الإلكترونى. ووفقاً لذلك، فعندما يتوفر الأكسجين فى الميتوكوندريا، فإن العديد من أيونات الهيدروجين الناتجة أثناء عملية التمثيل اللاهوائى تمنعه من الإتحاد مع البيروفيك لتكوين حمض اللاكتيك.

فإذا زاد استهلاك الأكسجين لدى سباحى المسافات المتوسطة والمسافة، فإن السباح سيكون قادراً على المحافظة على السرعة الخاصة به والتى تنتج حمض لاكتيك أقل، لذا، فإن السباح يمكنه أن يؤخر من تأثير الأحماض على الأداء حتى الجزء الأخير السريع من السباق. كما يمكن أيضاً لسباحى السرعة أن يستفيدوا من الزيادة فى استهلاك الأكسجين، ولكن ليس للمدى الذى يصل إليه سباحى المسافة المتوسطة والمسافة، نظراً لقصر المسافة وزمن أداؤها مما يوفر المزيد من الأكسجين، كما أن السباح يستطيع أن يستفيد من عملية التمثيل اللاهوائى عند أدائه للسباحة بمعدلات سريعة دون زيادة فى إنتاج حمض اللاكتيك.

٢- دور حمض اللاكتيك والتعادل الحمضي القلوي العضلي (الأس الهيدروجيني) في حالة التعب Role of Lactic Acid and Muscle PH in Fatigue

إن النقص في PH العضلة (الحمضية) يعتبر هو السبب الرئيسي للتعب في كل سباقات السباحة بدءاً من ٥٠م والمسافات الأطول، فالحمضية تؤثر على التركيز العقلي Mental Focus وعلى تمثيل الطاقة في العديد من الحالات التي تجعل من المستحيل على السباحين المحافظة على سرعتهم.

١) حمض اللاكتيك والتعب: Lactic Acid and Fatigue

إن مستويات حمض اللاكتيك بالعضلات في حالة الراحة تكون ما بين ١.٠ - ٢.٠ مللي مول / كيلو جرام من نسيج العضلات الرخوة، ويمكن أن يزيد ليصل إلى ٢٥-٣٠ مللي مول / كيلو جرام مع المجهود الذي يستغرق دقيقة فأكثر (بانجسبو وآخرون ١٩٩٠ BONGSBO, et al). وكذلك فإن تركيز حمض اللاكتيك بالدم يكون أيضاً ما بين ١-٢ مللي مول / لتر أثناء الراحة، وقد يزيد ليكون ما بين ١٠-٢٠ مللي مول / لتر أثناء المجهود (*). وعادة ما يصل سباحي السرعة لمستويات حمض اللاكتيك بالعضلات لأعلى من ١٠ - ٢٠ مللي مول كيلو جرام أثناء المجهود، في حين أن سباحي المسافة عادة ما يكون حمض اللاكتيك لديهم في المستوى الأقل من هذا المدى.

وعندما يكون الأكسجين المتوفر غير كافياً، فإن عملية التمثيل اللاهوائي ستؤدي إلى تراكم حمض اللاكتيك في العضلات. وكما ذكرنا من قبل، فإن بعض من البيروفيك الزائد سوف يتحد مع الأمونيا ليكون اللانين. بينما معظمه يتحد مع ايونات الهيدروجين التي لم تدخل سلسلة الانتقال الإلكتروني لتكون حمض اللاكتيك. والذي بالتالي ينقسم مباشرة إلى لاكتات وايونات هيدروجين. ونظراً لحمضيهما، فإن تراكم

(*يراعى هل تقدير حمض اللاكتيك بالمللي مول / كيلو جرام أم بالمللي مول / لتر)

أيونات الهيدروجين في العضلات سيجعل الـ PH فيها اقل، وبالتالي فإن النقص في الـ PH سوف يسبب فقد العضلات لقوتها وسرعتها.

وأعتقد العلماء لفترة من الوقت أن حمض اللاكتيك لا ينتج إلا عندما ينضب الـ CP من العضلات. ولكننا نعرف الآن أن عملية التمثيل اللاهوائي تحدث بالتزامن Concurrently مع عملية تكسير الـ CP، حتى أن حمض اللاكتيك يبدأ في الظهور منذ الثواني الأولى من التمرين. فتظهر زيادة حمض اللاكتيك في العضلات والدم لدى الأفراد خلال ثانيتين بعد بداية التمرين (مارجرسيا، سريتيلى، مـانجيل، MARGARIA, CERRETELLI & MENGILL) وإنتاج هذه المادة تقدر بـ ٥٠% تقريباً من الطاقة المتحررة لاستعادة تكوين الـ ATP خلال ثانيتين بعد بداية التمرين الرياضى (هولتمان، سجوهورم ١٩٨٦ م HULTMAN & SJOHOLM).

أ - العوامل المؤثرة في معدل تراكم حمض اللاكتيك:

Factors that Affect the Rate of Lactic Acid Accumulation

إن مقدار حمض اللاكتيك الذي يتراكم في العضلات يتحدد وفقاً للتوازن بين معدل إنتاج اللاكتيك ومعدل انتقاله. وهذين المعدلين يكونا في حالة توازن Equilibrium أثناء التمرين الرياضى ذو الشدة ما بين المنخفضة والمتوسطة. ومع ذلك، فإن معدل إنتاجه سوف يزيد عن معدل انتقاله لدرجة أن حمض لكتيك إضافي سوف يتراكم في الألياف العضلية. ويعتمد معدل حمض اللاكتيك الناتج في الألياف العضلية على ما يلي:

١- سرعة السباحة.

٢- معدل استهلاك الأكسجين.

٣- نوع الليفة العضلية للسباح.

لأنك أن السرعات السريعة تتطلب انقباض المزيد من الألياف العضلية، وحتى يكون الفرد قادراً على أداء تلك الانقباضات، فإن ذلك يتطلب

تحرر الطاقة اللازمة لاستعادة تكوين الـ ATP بصورة سريعة. لذا، فإن البيروفيك وأيونات الهيدروجين يتحددان بمعدل أسرع مما يستطيع التمثيل الهوائى أن يؤديه، وهذا يؤدي إلى زيادة معدل إنتاج اللاكتيك.

وفيما يتعلق بالقدرة الهوائية، فإن استهلاك الألياف العضلية للأكسجين يرتبط مباشرة بمعدل حمض اللاكتيك المنتج، ومع توفر الأكسجين، فإن المزيد من البيروفيك وأيونات الهيدروجين الناتجة أثناء عملية التمثيل اللاهوائى يمكن أكسدته تاركاً القليل ليكون حمض اللاكتيك.

لذا، فعندما يستهلك المزيد من الأكسجين، فإن حمض اللاكتيك سوف يتراكم بمعدل أبطء عند أى شدة تمرين. ولهذا السبب، فإن التحسن فى استهلاك الأكسجين هام فى أداء التحمل فى الرياضات المختلفة.

وفيما يتعلق بنوع الليفة العضلية، فإن الألياف العضلية البطيئة لديها المزيد من الميتوكوندريا والمزيد من الشعيرات المحيطة حولها، لذا فإنها تستطيع أن تستخدم المزيد من الأكسجين الذى يمكن استهلاكه. ومن ناحية أخرى، فإن الألياف العضلية السريعة تمتلك ميتوكوندريا أقل وشعيرات دموية أقل. ونتيجة لذلك، فإنها تستهلك أكسجين أقل وينتج المزيد من حمض اللاكتيك بالمقارنة بالألياف العضلية البطيئة عن أى شدة تمرين..

ومن العوامل الأخرى المؤثرة على معدل تراكم حمض اللاكتيك هى القدرة على نقله أثناء التمرين الرياضى. واعتقد العلماء خلال السنوات الأخيرة أن حمض اللاكتيك لا يمكن التخلص منه **Eliminates** أثناء التمرين، وأن إنتاجه يتوقف فى الألياف العضلية حتى يتم استكمال التمرين، ثم بعد ذلك ينتشر خارج هذه الألياف، ويدخل الدم الذى يحمله للتخلص منه، ولكن خلال السنوات الأخيرة أكدت الدراسات العلمية أن حمض اللاكتيك يمكن أن ينقل من الألياف العضلية بينما التمرين الرياضى

اللاكتيك ينقل إلى القلب حيث يمكن أيضاً استخدامه مباشرة كمصدر للطاقة للألياف العضلية القلبية **Cardiac Muscle Fibers**.

إن الألياف العضلية البطيئة أيضاً تنتج حمض اللاكتيك أثناء التمرين الشديد، ولكن معدل إنتاجها يكون أقل كثيراً بالمقارنة بالألياف السريعة. ومع ذلك، فإن بعض من اللاكتيك في الألياف العضلية البطيئة يمكنه أيضاً الانتقال من الألياف إلى مجرى الدم، حيث تؤخر بداية الحمضية **Acidosis**. وتشير العديد من الدلائل أن التدريب الرياضى يمكنه زيادة حمض اللاكتيك المنقول لدرجة أن المتراكم منه في الألياف العضلية العاملة سوف يقل على الرغم من شدة التمرين (بونين، باكر، هاتا ١٩٩٧م).

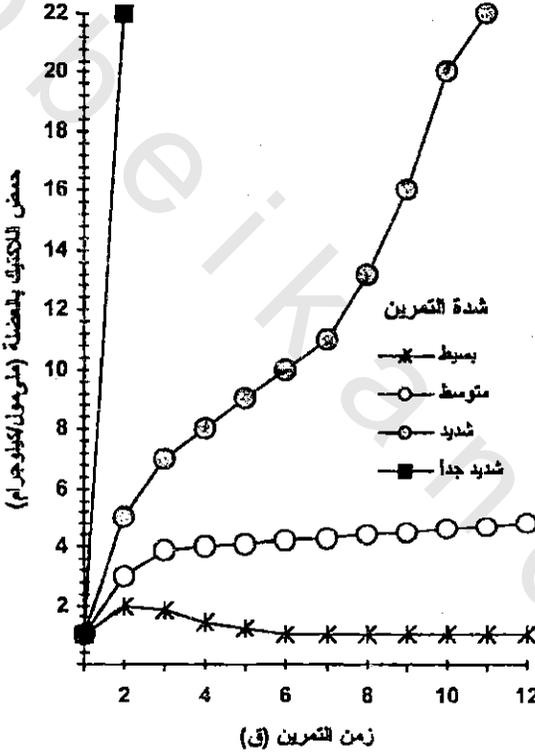
وعلى الرغم من حقيقة أن آلية استهلاك الأوكسجين والتخلص من حمض اللاكتيك يقلل من معدل تراكم حمض اللاكتيك، فإن معدل إنتاجه سوف يظل أعلى من المعدل المحدد أثناء التمرين الشديد. ولكن هناك مقدار ضئيل من حمض اللاكتيك سوف يتحول مرة أخرى إلى حمض بيروفيك وأيونات هيدروجين أثناء فترة الاستشفاء التى تلى التمرين مباشر. وهناك يمكن تمثيله هوائياً إلى ثانى أكسيد الكريون وماء أو يتحول إلى جليكوجين ويخزن داخل الألياف العضلية.

جـ- شدة التمرين وعلاقته بتراكم حمض اللاكتيك:

Exercise Intensity and Lactic Acid Accumulation

يوضح الشكل التالى تأثير التمرين الرياضى والشدات المختلفة على تراكم حمض اللاكتيك في العضلات. وعادة ما يكون في العضلات بعض من حمض اللاكتيك، فتركيز حمض اللاكتيك في حالة الراحة في العضلات ما بين ١-٢ ملى مول / كيلو جرام، فالفرد الرياضى يبدأ في إنتاج كمية لكتيك إضافية منذ لحظة بداية التمرين، حتى عندما تكون عملية التمثيل الغذائى الهوائية هى التى تزود اللاعب بالطاقة. وحتى أثناء التمرين البسيط، فإن الرياضيين يحتاجون إلى ١-٢ دقيقة

زيادة معدلاتهم من استهلاك الأكسجين بدرجة تكفي عملية التمثيل الزائدة لحمض البيروفيك وأيونات الهيدروجين. ومع ذلك ففي حالة زيادة استهلاك الأكسجين، فإن معدل إنتاج اللاكتيك سوف يقل ومعظم المقادير الزائدة منه في العضلات سوف تنتقل ويصبح مستوى الحمض بالعضلات قرب مستواه الطبيعي.



ومن خلال هذا الشكل نجد أن شدة التمرين الرياضى المعتدلة تجعل تراكم حمض اللاكتيك يزيد بمعدل من ٢-٤ أضعاف مستوياته في الراحة وذلك خلال الدقائق القليلة في بداية التمرين الرياضى. ولكن بعد أن يستهلك الفرد الرياضى الكمية المقبولة من الأكسجين، فإن معدل حمض اللاكتيك الناتج سوف يقل لدرجة ثابتة نسبياً، وكذلك فقد يظل هذا الارتفاع حتى نهاية التمرين

شكل (٤) نموذج نموذج لتراكم حمض اللاكتيك في العضلات العاملة أثناء أداء شدات مجهود مختلفة

في بعض الأحيان. وعادة ما يكون هذا الارتفاع في مستوى حمض اللاكتيك ما بين ٢-٤ ملي مول / كجم. كما أن الأحماض المتكونة في مثل هذه الحالة من التمرين لا تسبب التعب لأن معدل تراكم حمض اللاكتيك ليس كبيراً بدرجة كافية حتى تؤثر على PH العضلات.

ويمكن للفرد الرياضى أن يحافظ على سرعة أداء التمرين الرياضى لفترة طويلة كافية تجعل الجلوكوز الموجود بالعضلات هو مصدر الطاقة.

أما عندما يكون التمرين الرياضى شديداً، فإن معدل حمض اللاكتيك الناتج سيكون كبيراً بدرجة تؤدي إلى تراكمه في العضلات حتى انه في بعض الأحيان يقل الـ PH في هذه العضلات بدرجة كبيرة تسبب التعب للفرد الرياضى. وفي هذه الحالة، فإن زمن أداء التمرين الرياضى سيصل إلى ١٠ دقائق، كما أن أعلى مستوى لحمض اللاكتيك بالعضلات العاملة والذي يمكن أن يحققه الفرد الرياضى في هذه الحالة هو ٢٢ مللى مول/كجم، وذلك يؤدي إلى ظهور حمضيه شديدة. أما في السباقات الأقصر، فإن الفرد الرياضى يمكنه أن يؤديها بسرعة سريعة ولكنه يصل لقيمة اللاكتيك وتظهر الأحماض لديه مبكراً.

كما يبين الشكل السابق استجابة حمض اللاكتيك بالعضلات والناتج عن سباحة ١٠٠م سرعة، وفي هذه الحالة، فإن سرعة أداء هذه المسافة تكون قريبة من الأقصى. كما أن معدل حمض اللاكتيك الناتج يتزايد تراكمه حتى يصل لمستوى الـ ٢٢ مللى مول/كجم في أقل من دقيقة. كما أن أقصى لاكتات بالدم، وربما أيضاً تراكمه، قد تكون عند نفس المستوى تقريباً في السباقات التي يستغرق أداؤها ما بين ٤٠ - ٨٠ ق. وفي بعض الأحيان، قد يكون تراكم حمض اللاكتيك في السباقات الأطول أكثر انخفاضاً، وقد يكون ذلك نتيجة أن الفرد الرياضى يستغرق وقتاً أكثر حتى يتخلص eliminate من حمض اللاكتيك المتكون في عضلاته في المسافات الأطول. وتشير دراسة أجراها (هيرمانسن ١٩٧١ HERMANSEN) إلى أن قيمة تركيز لاكتيك الدم كانت تقريباً هي نفسها لدى أحد الأشخاص الرياضيين بعد أدائه مجهود أقصى تطلب أدائه ٣٠ - ٨٠ ق.

وتشير نتائج هذه الدراسة أن حمض اللاكتيك لدى هذا الفرد بلغ ما بين ١٨ - ٢٢ مللى مول/لتر عندما كانت استمرارية أداء التمرين من ٣٠ - ٨٠ ق. أما في السباقات التي يستمر أداؤها حتى ١٠ ق، انخفض أقصى تراكم لحمض اللاكتيك بالدم إلى ١٥ مللى مول / لتر تقريباً.

وفى جميع السباقات باستثناء سباق الـ ٥٠م سرعة، فإن الرياضيون يجب أن يسبحوا الجزء الأول من السباق عند سرعة أقل من الأقصى، والتي عادة ما يكون معدل التمثيل اللاهوائى فيها أبطء مما يجعل تراكم حمض اللاكتيك فى العضلات لا يحدث انخفاض سريع فى مستوى الـ PH . ويجب أن يستمروا فى سباحة الجزء الأول من السباق بالسرعات الكافية التى تصل بهم إلى نهاية السباق قبل أن يتراكم حمض اللاكتيك والذي يكون شديداً فى السباقات الأطول ويؤثر بالتالى على سرعة الأداء.

ويشير موجان وجليسون ٢٠٠٤م أن تراكم اللاكتيك داخل العضلات يصل لأقصى مستوى له عند نهاية التمرين حتى الإتهاك والذي يستمر من ٣-٧ق.

٢. الحمضية والتعب: Acidosis and Fatigue

من المتعارف عليه أن حمض اللاكتيك فى معظم الأحوال هو سبب التعب لدى الرياضيين عند أداء المجهود الرياضى، وعلى الرغم من ذلك، يجب أن نعلم أن أسباب التعب ليس حمض اللاكتيك فى حد ذاته ولكن تأثير أيونات الهيدروجين فى الألياف العضلية هو سبب التعب، حيث تؤثر هذه الأيونات على الـ PH الألياف العضلية التى يتراكم فيها حمض اللاكتيك أثناء التمرين الرياضى. فايونات الهيدروجين تخفض الـ PH مسببة الحمضية (بروكس، فاهى ١٩٨٤م BROOKS & FAHEY) لذا، فإن معظم خبراء علم فسيولوجيا الرياضة يؤكدون أن الحمضية هى السبب الرئيس للتعب فى جميع سباقات السباحة عدا سباقات الـ ٥٠م، بالإضافة إلى السباقات الطويلة التى لا تنتج حمض لكتيك نتيجة أدائها.

ولا شك أن نقص الـ PH العضلات سوف يؤدي إلى فقد السرعة للسباحين أثناء السباقات وذلك لأسباب عدة، ويلاحظ أن معظمها يرتبط بحمضية السوائل التى توجد داخل الخلايا التى تستثير مستقبلات الألم Pain

Receptors مسببة ألم شديد للضرد الرياضى، وتختلف هذه الألام من فرد رياضى لآخر، فالبعض يتحمل هذا الألم، بينما البعض الآخر تبطئ سرعتهم عندما يصل الألم لحد معين، والبعض الآخر يبطئون من سرعتهم قبل أن يصلون لهذا الحد نتيجة أنهم يخافون من أنهم لن يستطيعوا أن ينهوا سباقاتهم بالسرعة المطلوبة إذا ما حافظوا على سرعتهم بشكل مؤقت **Temporarily**. لذا فإن قدرة الرياضى على المثابرة أثناء الأداء على الرغم من وجود الألم تسمى بتحمل الألم **Pain Tolerance**.

ويجب أن يعلم المدربون أن السباحون مهما تعاضم تحملهم للألم الناتج عن نقص الـ **PH**، فإنهم يقللون من سرعة أدائهم اضطرارياً **Necessity** عندما تصبح السوائل التى تدخل العضلات حمضية. وكلما زادت درجة الحمضية سيكون الألم أكثر شدة. وهذه الحالة **circumstance** تحدث نتيجة أن معدل استعادة دورة الـ **ATP** يقل عندما ينخفض **PH** العضلة لأقل من ٧.٠، ويستمر هذا الانخفاض حتى يصبح من المستحيل أن تستمر عضلات السباحين فى الانقباض بسرعة وقوة كافية للمحافظة على سرعة أداء السباق. فمعدل التمثيل اللاهوائى للطاقة قد ينخفض كثيراً عندما يصبح مستوى **PH** العضلات ما بين ٦.٥ - ٦.٨، حيث يزيد حمض اللاكتيك المتكون. وعندما يحدث ذلك، فإن الرياضيون لن يكونوا قادرين على السباحة عند أى سرعة أعلى من قدرتهم لتوليد الطاقة المتوفرة هوائياً، مما يؤدي إلى الانخفاض الشديد فى مستوى الأداء عند التنافس فى أى سباق.

وعندما يكون الأداء بالسرعة الفائقة (الشديدة جداً)، فإن تراكم حمض اللاكتيك فى العضلة ينخفض إلى ٦.٦ - ٦.٤ فى أقل من ٦٠ ث. فمسافة الـ ١٠٠م تعتبر الحد الأعلى لكل سباقات السرعة. وبالتالي فإداء المسافات الأطول سيكون بسرعات أبطء، ويكون معدل انخفاض الـ **PH** بالعضلة أبطء. وعلى ذلك، فإن الأحماض سوف تسبب التعب فى النهاية عندما يتراكم حمض

اللاكتيك بشكل يتخطى معدل انتقاله من العضلات، مما يؤدي إلى انخفاض PH العضلات لأقل من ٦,٨ .

وتدرجياً، فإن الأحماض تقلل من معدل التمثيل اللاهوائي لعدة أسباب. إحداها. أن العضلات تحتاج لمزيد من الكالسيوم لتحقيق الانقباض العضلي الذي يظهر عندما ينخفض توازنها الحمض القلوي، فالكالسيوم ينشط عملية الربط **Coupling** بين خيوط **Filaments** الميوسين واللاكتين داخل ألياف العضلة مسببة الانقباض. كما أن معدل الانقباض العضلي سوف يقل إذا كان المطلوب المزيد من الكالسيوم وفي نفس الوقت فهو غير متيسر بشكل مباشر. كما أن معدل نشاط إنزيم **ATP_{ase}** سيقل أيضاً خلال عملية حدوث الحمضية، مما يجعل الطاقة المحررة من الـ **ATP** تكون بمعدل أبطء، وتشير الدراسات العلمية أن نشاط هذا الإنزيم يقل بنسبه ٢٥% عندما يقل PH العضلات العاملة من ٧,١ إلى ٦,٥ أثناء التمرين الرياضي (بورتزيل، زاورالك، جودين PORTZEHL, ZAORALEK, & GAUDIN).

كما أن معدل نشاط إنزيمات الفوسفوريلاز والفوسفوفركتوكيتيز **Phosphorylase, Phosphfructokinase (PFK)** سوف يقل كثيراً عندما ينخفض PH العضلة لأقل من ٧,٠ (هولتمان وآخرون ١٩٩٠ م. HULTMAN, et al.) فهذه الإنزيمات هي المنظم الرئيسي لعملية التمثيل اللاهوائي والتي سوف يتوقف نشاطها تماماً عندما ينخفض PH العضلات إلى ٦,٤ (دانفورث DAN FORTH).

كما أن معدل انتقال حمض اللاكتيك يبطئ عندما ينخفض PH العضلة لأقل من ٧,٠ (هيرك وآخرون ١٩٧٥ م. HIRCHE, et al.)، مسبباً زيادة فترة بقائه في الألياف العضلية، مما يقلل الـ PH بشكل أكبر .

ويعتقد بعض المدربين والسباحون خطأً **Mistakenly** أن السباحون يمكنهم أثناء التنافس في البطولات التغلب على التعب الناتج عن زيادة

الحمضية وذلك بالاهتمام بالقوة، فهذه القوة تعطى الرغبة لدى السباحين لتحقيق الفوز، وهذه الرغبة قد تسمح لبعضهم بالاستمرار فى الأداء على الرغم من الألم الناتج عن الحمضية. ولكن تحمل الألم فى حد ذاته لا يكون كافياً لتأكيد النجاح فى السباقات. ولكن يجب على السباحين التدريب بجدية لإحداث التكيفات الفسيولوجية التى تؤدى إلى تأخر ظهور الأحماض الشديدة للدرجة التى تمكنهم من الأداء بمدى سرعة أسرع خلال منتصف سباقاتهم.

وعندئذ، فى الجزء الأخير من السباقات، فإنه يمكنهم استخدام رغبتهم وتحفزهم للمحافظة على سرعتهم السريعة التى يؤدونها على الرغم من ظهور الأحماض الشديدة.

إن معدل وحجم الأحماض يعتمد على ثلاثة عوامل نذكرها فيما

يلى:-

- ١- معدل حمض اللاكتيك الناتج فى داخل الألياف العضلية.
- ٢- المقدار المتبقى من حمض اللاكتيك فى هذه الألياف بعد إنتاجه.
- ٣- تنظيم هذا الجزء المتبقى من حمض اللاكتيك فى هذه الألياف بعد إنتاجه.

فالعاملين الأولين يؤثران على PH العضلات بنفس الطريقة التى تؤثر بها تراكم حمض اللاكتيك، أما المنظمات **Buffers** فهى مواد فى العضلات يمكنها الاندماج مع أيونات الهيدروجين، وبالتالي تضعف هذه المنظمات، لدرجة أن تأثيرها على الـ PH يصبح غير فعال. فعندما تظهر المنظمات، فإن الكمية المنتجة من حمض اللاكتيك تقلل من PH العضلات بدرجة كبيرة. فالمنظمات تجعل السباحين يسبحون عند السرعة الخاصة المحددة لهم لفترة زمنية طويلة قبل أن يصلوا للتعب أو يسبحوا بصورة أسرع مع عدم حدوث زيادة فى مقدار هذا التعب فالرياضيون تزيد لديهم

المنظمات مع التدريب المناسب، وتتلخص تأثيرات التدريب على المنظمات فيما يلي:

- ١- زيادة الكالسيوم اللازم لانقباض العضلات.
- ٢- تقليل معدل نشاط إنزيم ATPase.
- ٣- تقليل معدل نشاط إنزيم CPK.
- ٤- تقليل معدل انتقال حمض اللاكتيك من العضلات العاملة.
- ٥- زيادة الألم.

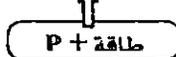
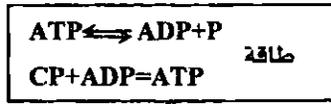
٣- ملخص تمثيل الطاقة: Energy Metabolism Summarized

الشكل التالي يوضح ثلاثة أنظمة لتمثيل الطاقة، والتي تحدث في كل ليفة عضلية عاملة، فالعمليات اللاهوائية تحدث في البروتوبلازم بالخلايا العضلية، أما التمثيل الهوائي فيحدث في ميتوكوندريا تلك الخلايا.

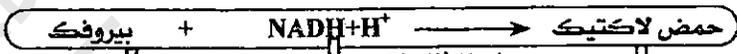
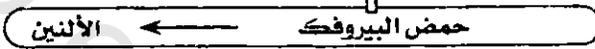
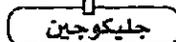
فنظام الـ CP - ATP المبين في الجزء العلوي من الشكل - فإنه يمد العضلات المنقبضة بالطاقة ثم يستعاد تكوينه عن طريق تكسير الفوسفوكرياتين ثم تمثيل جليكوجين العضلة. أما الجزء الأوسط من الشكل فيبين عملية تكسير الجليكوجين إلى بيروفيك في برتوبلازم الليفة العضلية - النظام اللاهوائي - ومع تحرر ذرات الهيدروجين، فإن بعض منها يتحد مع NAD^+ (وهو عامل مساعد للإنزيم) لتكوين الـ NADH (وهو مساعد إنزيم) وأيونات الهيدروجين (H^+).

والنظام الهوائي - الذي يوضحه الجزء السفلي من الشكل، فإن البيروفك سوف يدخل إلى الميتوكوندريا داخل الألياف العضلية ومنها إلى دورة كريس، حيث يتم تمثيله إلى ثنائي أكسيد الكربون. وفي داخل الميتوكوندريا، فإن الـ NADH ومساعد الأنزيم ($FADH_2$) سوف ينقل إلى داخل سلسلة التبادل الإلكتروني حيث تستخدم ذرات الهيدروجين في تكوين الماء. ففي هذه العملية، فإن الطاقة الموجودة في الكترولونات هذه الذرات الهيدروجينية، سوف تستخدم في استعادة تكوين الـ ATP من الـ ADP.

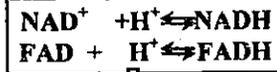
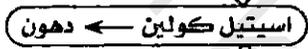
1- نظام ATP-PC



2- النظام اللاهوائي



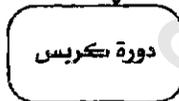
مساعداً أنزيمات



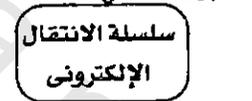
دم

عضلات

3- النظام الهوائي



ك_٢ ATP



أيونات هيدروجين ATP

عضلات

القلب والكبد

شكلاً (٥) شكلاً تخطيطياً لتمثيل الطاقة

يوضح الشكل رقم (٥) مراحل أنظمة ATP-CP، اللاهوائي، الهوائي

التي سوف تستخدم في استعادة الـ ATP من الـ ADP .

فإذا كانت السرعة سريعة عند مستوى ما بين ٧٠٪ - ٨٠٪ تقريباً من الحد الأقصى، فإن ذلك لن يوفر القدر الكافي من الأكسجين لتعزيز إنتاج ذرات الهيدروجين أثناء عملية التمثيل اللاهوائي لتدخل النظام الهوائي، فذرات الهيدروجين المتبقية سوف تتحد مع البيروفك لتكوين حمض اللاكتيك. وهذه العملية يظهرها الجزء الأوسط الأيمن من الشكل.

وأيضاً، فإن بعض من حمض اللاكتيك سوف يتبقى في الألياف العضلية، كما ينقل جزء كبير منه إلى خارج الألياف العضلية العاملة

إلى الألياف العضلية الغير عاملة أو الألياف التي لم تستخدم كثيراً، حيث يمكن أكسدته مرة أخرى إلى حمض بيروفيك ومن ثم Thence إلى جليكوجين، أما الكميات الزائدة من حمض اللاكتيك فسوف تدخل إلى مجرى الدم، حيث يحمله إلى القلب وإلى الكبد وإلى الألياف العضلية الهيكلية الغير عاملة، حيث يمكن أكسدته واستخدامه كوقود Fuel. وجزء صغير من المتبقى من البيروفيك يمكن أن يدخل إلى دورة (الجلوكوز Glucose - الالانين Alanine)، حيث يتم تمثيله هوائياً وتحويله مرة أخرى إلى جلوكوز في الكبد - والجزء الأيمن السفلى من الشكل يبين ذلك.

تمثيل الطاقة أثناء السباقات والتدريب:

Energy Metabolism During Races and Training

من الشائع في سباقات السباحة أنها تكون إما هوائية أو لا هوائية، وهذا يعطى انطباع زائف False impression أن هذه المراحل من التمثيل الغذائي منفصلة عن بعضها البعض وأنها متعاقبة Separately & Sequence، فمع بداية واحدة من هذه المراحل تكون المرحلة الأخرى قد انتهت. وفي الواقع، فإن جميع هذه المراحل الثلاثة من عملية تمثيل الطاقة تعمل منذ اللحظة الأولى من التمرين الرياضى والاختلاف فقط يكون في نسبة مساهمة كل مرحلة. فنجد في سباقات السرعة أن المساهمة الرئيسية للطاقة تكون من استعادة دورة الـ ATP ضمن نظام الـ ATP- CP والتمثيل اللاهوائى، لأن هذه العمليات هي فقط التي يمكنها أن تستجيب لمتطلبات الطاقة بسرعة أثناء أداء سباقات السباحة السريعة. وأيضاً فإن التمثيل الهوائى يعمل، فهو يمد ببطء شديد بالطاقة لمواجهة المتطلبات الكثيرة من الطاقة في هذه السباقات. وعلى ذلك، فإنه يمد بكمية صغيرة من الطاقة المطلوبة للسرعة، وتصبح المساهمة الهوائية أكبر كلما زادت مسافة السباق أو كلما سبح السباح بسرعات أبطء ومسافات أطول.

إن جليكوجين العضلة هو المادة الغذائية الأساسية
 Principal foodstuff التي يتم تمثيلها أثناء السباحة ما بين المعتدلة
 والسريعة، لأنها متوفرة في العضلات ويمكن تمثيلها هوائياً ولا هوائياً. كما أن
 جلوكوز الدم والدهون والبروتينات يمكنها أيضاً أن تمد الجسم بالطاقة
 لاستعادة تكوين دورة الـ ATP، فالطاقة التي تساهم بها هذه المواد تصبح
 أكبر عندما تكون السرعة بطيئة أو عندما ينخفض مد العضلات
 بالجليكوجين، وجلوكوز الدم هو أفضل مصدر للطاقة بعد جليكوجين
 العضلات لأنه يمكن تمثيله هوائياً ولا هوائياً. ومع ذلك، فإن عملية تحرر
 الطاقة من الجلوكوز تكون في بعض الأحيان بطيئة، لأنه ينتشر أولاً
 داخل العضلات من الدم قبل استخدامه. كما يمكن أن تساهم الدهون بالطاقة
 في حالة السرعات البطيئة فقط لأنها يمكن تمثيلها هوائياً فقط، ولأن كميات
 صغيرة منها فقط يمكن تخزينها في العضلات. كما أن البروتين متيسر
 بسهولة في العضلات، ولكن عملية تحرر الطاقة منه هي الأبطء، وأن بعض من
 الجلوكوز يجب أن يتوفر في العضلات لإتمام هذه العملية.

١. مساهمات مراحل تمثيل الطاقة الثلاثة في السباق والتدريب:

Contributions of the three Metabolism phases to Racing and Training.

من الشائع Commonly لدينا جميعاً أن نسمى سباقات السرعة
 بالسباقات اللاهوائية وسباحة المسافة أو التحمل بالسباقات الهوائية، ولكن هذه
 الخاصية لم تكن بالدقة الكاملة، وكما فسرنا من قبل، فإن جميع مراحل
 عمليات التمثيل تتم داخل عملية واحدة متداخلة في وقت واحد عندما
 يبدأ الفرد الرياضى السباق أو يؤدي تكرارات التدريب. والجدول التالي
 يوضح مساهمات المراحل الثلاثة لتمثيل الطاقة أثناء السباقات أو أداء
 مجموعات تكرارية لمسافات متنوعة وسرعات مختلفة. فالمرحلة الهوائية من
 تمثيل الطاقة تقسم إلى قسمين فرعيين هما تمثيل الجلوكوز وتمثيل الدهون،

وذلك نتيجة للاختلافات في دور كل من هاتين المادتين في التزود بالطاقة أثناء المجهود.

جدول (١)

المساهمات النسبية لمراحل تمثيل الطاقة وفقاً لزمه السباق ومساقته

تمثيل الدهون %	التمثيل الهوائي		نسبة ATP - CP %	مسافة السباق	زمن أداء السباق
	تمثيل الجلوكوز %	التمثيل اللاهوائي %			
-	-	٥٠	٥٠	٢٥م	١٥-١٠ ث
-	٢٠	٦٠	٢٠	٥٥م	٣٠-١٩ ث
-	٣٥	٥٥	١٠	١٠٠م	٤٠-٦٠ ث
-	٥٣	٤٠	٧	٢٠٠م	٣٠-١:٢٠ ق
-	٥٥	٤٠	٥	٢٠٠م	٢-٣ ق
-	٦٥	٣٥	-	٤٠٠م	٤-٦ ق
٢	٧٣	٢٥	-	٨٠٠م	٧-١٠ ق
٥	٧٥	٢٠	-	٩٠٠م	١٠-١٢ ق
٧	٧٨	١٥	-	١٥٠٠م	١٤-٢٢ ق

جدول (٢)

المساهمات النسبية لمراحل تمثيل الطاقة وفقاً للمجموعات التدريبية وزمنها

تمثيل الدهون %	التمثيل الهوائي		نسبة ATP - CP %	الوقت المستغرق للمجموعة	النوع والمسافة
	تمثيل الجلوكوز %	التمثيل اللاهوائي %			
-	-	٥٠	٥٠	١-٢ ق	السرعة ١٥-١٠م
-	-	٨٠	٢٠	١-٢ ق	٢٥م
-	٢٥	٦٠	١٥	٣-٥ ق	اللاهوائي ٥٥م
-	٤٠	٥٠	١٠	٥-١٠ ق	١٠٠م
-	٦٣	٣٥	٢	٨-١٢ ق	٢٠٠م
٥	٨٠	١٥	-	١٥-٢٠ ق	الهوائي طول المجموعة
٢٠	٧٥	٥	-	٣٠-٤٠ ق	
٢٨	٧٠	٢	-	٥٠-٦٠ ق	
٧٠	٣٠	١	-	٩٠-١٠٠ ق	

إن النسب المثوية لمختلف السباقات والمسافات التكرارية المذكورة في الجدول السابق طبقت على السباحين ذوى المستوى العالى الكبار أصحاب الخبرات. ونلاحظ من الجدول أن هذه النسب وضعت وفقاً لزمناً أداء المجهود.

ويجب أن نعلم أن تمثيل الجسم للطاقة يعتمد على الزمن الذى يستغرقه الأداء وليس المسافة دون النظر للمرحلة العمرية، ومثال لذلك، فالسباح الذى عمرة ١٠ سنوات ويؤدى سباحة الـ ١٠٠م فى ١:٥٠.٠٠ ق، من المحتمل أن يحصل على الطاقة الناتجة من عملية التمثيل بما يعادل تقريباً السباح الذى عمره ٢٢ سنة ويسبح مسافة الـ ٢٠٠م فى نفس الزمن.

إن نظام الـ ATP-CP والتمثيل اللاهوائى يمدا بمعظم الطاقة لمسافات من ٢٥ - ٥٠م (وهى المسافة التى تتطلب لأدائها من ١٠-٣٠ ث). والتمثيل اللاهوائى هو المساهم الأول فى سباقات المسافات الـ ١٠٠م، ٢٠٠م (وهى السباقات التى يستغرق أدائها من ١-٣ ق). وكذلك فإن دور التمثيل الهوائى يصبح بازدياد أكثر أهمية فى مسافة الـ ٢٠٠م. كما أن كلاً من التمثيل الهوائى واللاهوائى يساهما بشكل جوهري فى المد بالطاقة فى سباقات الـ ٤٠٠م (وهى المسافة التى تستغرق فى أدائها من ٤-٦ ق) والتمثيل الهوائى هو المصدر الرئيسى للطاقة فى سباقات الـ ٨٠٠م حتى الـ ١٥٠٠م، وكذلك، فإن التمثيل اللاهوائى يساهم بـ ٣/١ - ٤/١ الطاقة لهذه المسافات. فى حين أن حجم الطاقة التى يمد بها الجسم من خلال تمثيل الـ ATP-CP تصبح تدريجياً أقل أهمية فى سباقات الـ ٢٠٠م والمسافات الأطوال حتى أنها لا تأخذ فى الاعتبار أى تهمل فى السباقات الأطول.

إن جليكوجين العضلة والفوسفوكرياتين كلاهما يعتبران مصادر هامة للطاقة لاستعادة تكوين الـ ATP لسباقات الـ ٢٥م حتى ٥٠م. وبعد ذلك، يصبح الجليكوجين بالعضلة هو المصدر الرئيسى للطاقة أما تمثيل الدهون والبروتين فلا يساهما بشكل كبير فى الطاقة المستخلصة من استعادة تكوين الـ ATP عند أى مسافات للسباحة فى القائمة التى بداخل الجدول.

وعند حساب الطاقة بالنسبة للمجموعات التكرارية فإن نظام الـ CP - ATP والتمثيل اللاهوائى يبدأ بمعظم الطاقة لمسافات السرعات الشديدة (٢٥م فأقل) والتمثيل اللاهوائى هو المصدر الرئيسى أثناء أداء تكرارات مسافات الـ ٥٠م و ١٠٠م. أما الطاقة اللازمة لأداء تكرارات مسافة الـ ٢٠٠م فتعتمد غالباً بدرجة متعادلة تقريباً، على المصادر الهوائى واللاهوائى بالإضافة إلى جليكوجين العضلة كمصدر رئيسى للطاقة.

٢- العوامل المحددة للأداء: Factors That Limit Performance

تتغير العوامل التى تحدد الأداء فى السباقات والتدريب وفقاً لمسافة السباق والوقت الذى يقضيه الفرد الرياضى فى أداء المجهود المستمر أو القريب من المستمر وسرعة سباحة هذه المسافة. ففى مسافات الـ ٢٥م، ٥٠م فإن الاستجابات ترتبط بعمل نظام الـ CP - ATP، والتمثيل اللاهوائى، أما فى مسافات السباقات الأطول فإن الأحماض تعتبر هى العامل المحدد للأداء. كما إن حجم الجليكوجين المخزون فى العضلات لا يحدد الأداء فى السباقات إلا إذا كانت المقادير المخزونة قليلة إلى حد بعيد قبل بداية السباق. ومع ذلك فإن مخزون العضلة المنخفض من الجليكوجين يمكن أن يكون محدداً للأداء فى التدريب.

وعلى ذلك، فإن تكتيك الأداء الجيد فى السباحة يلعب دوراً فاعلاً فى الأداء عند أداء أى مسافة سباق. فالسباحين الذين يسبحون بقوة دفع جيدة مع تقليل تأثير المقاومات التى تواجه السباح داخل الماء، فإن حاجتهم للطاقة ستكون أقل عند أدائهم لأى سرعة أقل من الأقصى. كما يمكنهم تحقيق سرعات أكبر عندما يصلون لأقصى معدلاتهم من الطاقة المستهلكة **Energy Expenditure**. وسوف نتناول فيما يلى بالتفصيل التعرف على محددات تمثيل الطاقة عند أداء مسافات السباقات المختلفة.

أ - سباقات الـ ٢٥م، ٥٠م: 25m & 50m Events

إن الأداء في هذه السباقات يتقيد بالقدرة على تحقيق والمحافظة على المعدل العالى من السرعة. فالأداء يرتبط بمعدل استعادة دورة الـ ATP من خلال كلاً من نظامى الـ ATP-CP والتمثيل اللاهوائى، وربما الكمية القصوى من الفوسفوكرياتين المخزون فى الألياف العضلية. فالحمضية تحدد الأداء فى بعض الأحيان، وعلى الأخص فى سباقات الـ ٥٠م، ولكن ليس بسبب أن PH العضلة الذى أصبح منخفضاً بشكل كبير. والسباقات القصيرة جداً ممكن أن يحدث فيها ذلك. ومع ذلك، فالحمضية المعتدلة قد تكون هى المحدد للسرعة فى الأجزاء المتأخرة من السباق لأنها تقلل من معدل انقباض العضلات (نتيجة زيادة متطلباتها من الكالسيوم)، ولذا يجب أن يركز التدريب على تنمية قدرة أداء السباحات المختلفة وتحسين معدلات التمثيل اللاهوائى. ويشير موجان وجليسون ٢٠٠٤م MAUGHAN & GLEESON إن برامج تدريب السرعة تزيد من حجم العضلات وتحسن من زمن رد الفعل والقدرة اللاهوائية.

ب - سباقات الـ ١٠٠م، ٢٠٠م: 100m & 200m Events

فى الثوان القليلة الأولى من هذه السباقات يكون نظام الـ ATP - CP هو المزود الرئيسى بمعظم الطاقة، وبعد ذلك يصبح التمثيل اللاهوائى هو المصدر الرئيسى للطاقة والذى يؤدى إلى إنتاج حمض اللاكتيك بسرعة واستعادة تكوين الـ ATP. وتعتبر الحمضية هى سبب التعب فى هذه السباقات.

إن معظم الرياضيين لا يستطيعون السباحة عند المجهود الأقصى لأكثر من ٤٠ث قبل أن تصبح الحمضية الشديدة هى السبب فى بطء الأداء إلى حد بعيد. ومع ذلك، فالزيادة المتدرجة فى الحمضية تقلل من معدلات التمثيل وبالتالي تقل سرعة السباحة. وعادة ما يسرع السباحين فى الجزء الأول من سباق الـ ١٠٠م والذى خلاله تكون معدلات إنتاج حمض اللاكتيك قليلة

وبالتالى لا تؤثر الحمضية على سرعتهم بشكل ملحوظ حتى يقتربوا بشكل كبير من نهاية السباق، ويحدث ذلك أيضاً فى سباق الـ ٢٠٠م.

وبالنسبة لمعدلات استهلاك الأوكسجين، فإن السرعة السريعة منذ بداية سباق الـ ١٠٠م وزمن أداؤها القصير جداً لن يصل باستهلاك الأوكسجين إلى حدة الأقصى، ولكن قد يصل إلى هذا الحد فى سباقات الـ ٢٠٠م قرب نهاية مسافة السباق. ووفقاً لذلك، فإن التمثيل الهوائى يلعب دوراً ثانوياً فى السباقات القصيرة، وتصبح مساهمته هامة جداً فى الجزء الأخير من سباق مسافة الـ ٢٠٠م. ولكن الدور الأكبر يكون لمعدلات انتقال حمض اللاكتيك من العضلات العاملة والمنظمات التى بداخلها.

ويعتبر التمثيل اللاهوائى بمعدلاته القصوى هو العامل المحدد لهذين السباقين ولكنه لا يلعب نفس الدور فى السباقات الأقصر. المهم أن يعى السباحون معنى السرعة العالية فى الأجزاء المبكرة من هذه السباقات مع متطلبات أقل من الطاقة وهذا ما يطلق عليه الخبراء السرعة السهلة . Easy Speed.

إن معدل تمثيل الـ CP - ATP، وحجم المخزون فى الألياف العضلية من الفوسفوكرياتين يعتبراً محدداً جزئياً للأداء. فى هذين السباقين. ولا يمكننا أن نغفل معدل التمثيل الهوائى، فهو هام أيضاً حتى لسباحى الـ ١٠٠م، ولكنه يلعب دوراً ثانوياً بالمقارنة بالعوامل الثلاثة الأخرى السابقة، وهو مهم جداً لسباحى الـ ٢٠٠م، ولكن التدريب لتنميته يجب ألا يتعارض مع Interfere with أو يتخطى المقادير الكافية من تدريب السرعة.

جـ - سباقات المسافات المتوسطة والطويلة:

Middle Distance & Distance Races.

تعتبر الحمضية هى السبب الرئيسى فى التعب فى سباقات المسافة المتوسطة والمسافة . فنظام الـ ATP-CP والنظام اللاهوائى يتحملا العبء

الأكبر للتزود بالطاقة خلال اثوان العديدة الأولى من سباقات هذه المسافات. والتي خلالها - بلا شك - سيقل الفوسفوكرياتين، ويصبح التمثيل اللاهوائى هو المحدد الرئيسى لاستعادة تكوين دورة الـ ATP.

ولا شك أن سباحة هذه المسافات يتطلب المزيد من الأكسجين، وهذا يتطلب الوصول بالسباحين بشكل عام للمستويات القصوى من استهلاك الاكسجين وانتقال اللاكتيك بعد الدقيقة الأولى من هذه المسافات، وبعد ذلك يستمر تراكم حمض اللاكتيك فى العضلات. ولذا، فالسباحين لا يستطيعون المحافظة على سرعتهم لأكثر من ٤ - ١٢ دقيقة قبل أن تتراكم الأحماض الشديدة التى تتكون. ففى هذه السباقات وسباقات الـ ١٥٠٠ م كذلك، فإن قدرة السباحين على المحافظة على سرعة السباق الخاصة بهم تعتمد على:-

١- مقدار حمض البيريفيك وأيونات الهيدروجين التى يمكن للسباح تمثيلها هوائياً أثناء السباق.

٢- مقدار حمض اللاكتيك الذى يمكن نقله من الألياف العضلية العاملة أثناء السباق.

٣- مقدار حمض اللاكتيك الذى يمكن أن تؤثر عليه المنظمات Buffers أثناء السباق.

ويجب أن يركز التدريب على تحسين معدلات كلاً من التمثيل الهوائى واللاهوائى لسباحى هذه السباقات. وكما ذكرنا من قبل - فإن معدلات تمثيل الـ CP - ATP ومقدار المخزون من الفوسفوكرياتين فى العضلات لا يمكن أن يكون محدداً للأداء لمثل هذه السباقات.

د - التدريب على مدى الأيام: Day - to - Day Training.

من المهم بمكان أن تشمل فترات التدريب اليومية على مزيج من سرعات السباحة المختلفة. بعضها سهلة جداً وتشمل أنشطة مثل الإحماء

والتهدئة، والبعض الآخر خفيفة وتشمل تمارينات أداء السباحة Stroke Drills والسباحة الإستشفائية، وضربات الرجلين وحركات الذراعين، والسباحات الطويلة أو المجموعات الطويلة لتكرارات معتدلة السرعة. والجزء الرئيسى من الجرعات التدريبية يشمل بعض من تدريب الشدة والتحمل أو بعض من تدريب السرعة السريعة جداً Very Fast Sprint Training. كما أن معظم الجرعات التدريبية تشمل أيضاً على مسافات قصيرة ذات سرعات عالية.

ففى السرعات البطيئة، فإن معظم الطاقة تأتي من تمثيل الدهون، لأن الدهون تمثل معظم المصدر الوفير Plentiful لإعادة دورة الـ ATP بالمعدل المطلوب للأداء. بينما الفوسفوكرياتين وجليكوجين العضلة والجلوكوز والبروتينات تكون مساهمتها فى المد بالطاقة قليل وبمقادير صغيرة، وبالتالي سيكون حمض اللاكتيك المنتج بكمية صغيرة أثناء السباحة، بينما يزيد استهلاك الفرد الرياضى للأكسجين بدرجة كبيرة تسمح للتمثيل الهوائى للقيام بدورة فى تزويد العضلات العاملة بالطاقة لإعادة تكوين الـ ATP. والأحماض الناتجة عند هذه السرعات البطيئة لا تسبب التعب. ويمكن للسباحين الاستمرار فى السباحة طالما لديهم بأجسامهم القدر الكافى من الدهون.

فعندما يزيد السباحون من سرعتهم إلى السرعة المعتدلة (الأقل من الأقصى) ما بين ٧٠% - ٨٥% من المجهود الأقصى، فإن جليكوجين العضلة سوف يزود بمزيد من الطاقة، وتظل هذه العملية هوائية غالباً. ويلاحظ تراكم بعض من حمض اللاكتيك خلال الدقائق المبكرة من السباحة، ولكن سيتم تمثله بعد مرور هذه الدقائق للقليلة الأولى عندما يزيد الأكسجين الذى تزود به العضلات العاملة. والحمضية ليست هى سبب التعب هنا عند هذه السرعات.

أما السرعة الأسرع والتي تتخطى الـ ٧٠% - ٨٥% من المجهود الأقصى، فإن المطلوب من الطاقة فيها لمعظم السباحين سيكون أكبر من

الاعتماد على التمثيل الهوائى بمضردة. لذا فإن معظم البيروفيك وايونات الهيدروجين الزائدة سوف تندمج لتكوين حمض اللاكتيك. وسوف يصبح المصدر الرئيسى للتزود بالوقود هو جليكوجين العضلة، أما مساهمة الجلوكوز والدهون والبروتين بالطاقة تكون ثانوية . وتعتبر الأحماض بشكل عام هى سبب التعب عند التدريب بهذه السرعات. وتكون معدلات استخدام جليكوجين العضلة عالية، وعلى الأخص أثناء أداء المجموعات التكرارية حيث يمكن للسباح تأخير ظهور الحمضية عن طريق أخذ فترات راحة قصيرة بعد كل تكرار داخل المجموعات.

ويعتبر جليكوجين العضلة والفوسفوكرياتين هما المصدران الرئيسيان للوقود اللازم للسرعات القصيرة . ومع ذلك، فإن جليكوجين العضلة الذى يستخدم سيكون قليلاً. فكل مسافة سباحة أو كل مجموعة تكرارية ستكون قصيرة جداً لدرجة أن تمثيل الجليكوجين بالمعدل المطلوب سيكون سريعاً، ولكن إجمالى هذا المعدل الذى يتم تمثيله سيكون صغيراً. كما إن التزود بفوسفوكرياتين العضلة سيقبل إلى حد بعيد وذلك خلال الدقائق القليلة الأولى بعد أداء المجموعة التكرارية.

وكما نرى، فإن التدريب الذى يستمر ساعتين أو أكثر بأداء سباحة بمجهود يتخطى ٧٠٪ من سرعة السباق يستخدم فيها إلى حد بعيد جليكوجين العضلة. فعندما يكون المتوفر من هذه المادة منخفضاً داخل الألياف العضلية، فإن الرياضيون سيجدون أنفسهم غير قادرين على التدريب بالشدة التى يرغبون فى أدائها. ونتيجة لذلك، فإن السبب الشائع للتعب الناتج عن التدريب يوم بعد آخر هو النقص فى جليكوجين العضلة. وقد يقرب الرياضيون من نضوب هذه المادة لديهم بعد جرعة أو جرعتين تدريبيتين أو أكثر ذو شدة عالية زمن ادائها ساعة أو أكثر (هوستون ١٩٧٨م HOUSTON)، (بيلتز وآخرون ١٩٨٨م BELTZ, et al). ويؤكد كوستل وآخرون ١٩٨٨م أن الدليل الحاسم Conclusive إن الأيام المتتابعة من

التدريب الشديد تسبب في الغالب النضوب الكامل لهذه المادة، حتى لو تم التزود بالقدر الكافي المتوفر من الدهون والبروتين وجلوكوز الدم.

وتظهر مشكلة الرياضيين بعد استخدامهم كمية كبيرة من جليكوجين العضلة للحصول على الطاقة، حيث أنه يتطلب من ٢٤-٤٨ ساعة من الراحة التامة أو التدريب منخفض الشدة لإعادة تكوينه. ووفقاً لذلك، فإن قدرة السباحين على أداء مجموعات تكرارية من التحمل الطويل ذو الشدة العالية تتحدد وتتغير بشكل كبير ودقيق عندما يكون التزود بجليكوجين العضلة منخفضاً. فقدرة السباحين على سباحة مجموعة تكرارية طويلة وسريعة مثل تكرارات من الـ ٥٠م، ١٠٠م في شكل مجموعات (٦ مجموعات أو أكثر). قد تكون حلاً وسطاً وأكثر مناسبة لذلك ويمكن للسباحين تطبيقها.

وتظهر علامات التعب في معاناة السباحين من نضوب جليكوجين العضلة الذي يختلف عن التعب الناتج عن الأحماض، فالألم لا يكون حاداً أو شديداً. بل تكون الشكوى **Complain** من الشعور بالكسل **Dull** وثقل العضلات وعدم القدرة على أداء حركات الذراعين وضريرات الرجلين بالشكل المعتاد. فقد يعتقد هؤلاء السباحون أنهم غير متعبون ولكن الشعور السائد هو الإحساس بالكسل والوهن. ولكنهم سيكونون قادرين على سباحة مجموعات طويلة ببطء وبسرعات معتدلة أثناء التدريب مع يؤدي إلى عدم ظهور علامات التعب، وذلك نتيجة استخدام الجسم لمخزونه من الدهون وجلوكوز الدم والبروتين لاستعادة تكوين الـ **ATP** والحصول على الطاقة المطلوبة. ولكن إذا حاولوا السباحة بالسرعات العالية فسيكون الإجهاد هو المحصلة، نتيجة عدم كفاية **Insufficient** الجليكوجين في العضلات العاملة لاستعادة تكوين الـ **ATP** بالسرعة الكافية لتدعيم هذه السرعات **To sustain those speeds**.

إن خطط التدريب الأسبوعية يجب أن تشمل على بعض التدريب الذى يساعد فى إعادة تكوين جليكوجين العضلة وذلك عن طريق وضع مجموعة سرعات قصيرة وسباحة طويلة بطيئة بعد كل جرعة أو جرعتين تدريبيتين من الجرعات ذات تدريبات السرعة أو التحمل الطويلة الشديدة داخل جدول التدريب الأسبوعى.

إن جليكوجين العضلة المنخفض عادة لا يعد عاملاً مقيداً فى منافسات السباحة، وخاصة إذا كانت تغذية السباحين جيدة، ويحصلون على يوم أو اثنين من التدريب الخفيف قبل المنافسة. فكفاية جليكوجين العضلة هو المطلوب عادة لكل مسافات السباقات، حتى عندما يكون المخزون منه فى العضلات غير كاف، والحالة الوحيدة التى يكون فيها نضوب الجليكوجين مؤثراً فى المنافسات عندما تكون الكمية المتوفرة منه فى العضلات منخفضة قبل المنافسة مباشرة نتيجة التدريب الشديد لعدة أيام قبل المنافسة.

وهناك عامل محدد أساسى آخر هو تلف Damage الأنسجة من الأحماض الناتجة، حيث يشير جولستراند ١٩٨٥م GULLSTRAND أن الجرعات اليومية من التدريب الشديد تجعل ميتوكوندريا العضلة تفقد تركيبها ووظيفتها. حيث يعتقد أن تلك العضلات لدى الرياضيين قد تتطلب ٢٤-٤٨ ساعة من التدريب قليل الشدة حتى تستشفى وتتكيف مرة أخرى عن طريق أداء فترات تدريبية طويلة وبطيئة.

وأخيراً... يمكننا تلخيص العوامل المحددة للأداء فى سباقات السباحة (سرعة، مسافة متوسطة، مسافة) والتى تعد مجالاً خصباً للأبحاث العلمية فى وطننا العربى، فيما يلى:

❖ فى سباقات الـ ٢٥ م ٥٠ م.

١- الأداء الميكانيكى الجيد لطرق السباحة المختلفة.

٢- معدل التمثيل اللاهوائى للطاقة.

٣- حجم الـ CP المخزون فى الألياف العضلية العاملة.

❖ في سباقات الـ ١٠٠م، ٢٠٠م.

- ١- تكتيك السباحة الجيد.
- ٢- القدرة على تأخير ظهور الأحماض.
- ٣- معدل التمثيل اللاهوائي للطاقة.
- ٤- مقدار الـ CP المخزون في الألياف العضلية العاملة.

❖ في سباقات المسافة المتوسطة والطويلة

- ١- تكتيك السباحة الجيد.
 - ٢- القدرة على تأخير ظهور الأحماض.
 - ٣- معدل التمثيل اللاهوائي.
- ❖ التدريب على المدى الطويل Day – to Days Training .
- ١- نضوب جليكوجين العضلة.
 - ٢- تضرر الأنسجة العضلية من الأحماض.