الفصل الأول

الطـــاقة والأداء فى السباحـــة

Energy & Swimming Performance

الفصل الأول

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، وتتحرر 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، وبالتالى 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 (لينجر ١٩٧٣م *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، فكلاً من الزرع والحيوانات يخزنا الطاقة فى شكل كربوهيدرات ودهون وبروتين، وهذه الأغذية تخزن الطاقة كأجزاء من عناصر كيميائية مختلفة.

وتصبح الطاقة مصدر القدرة للعديد من الميكانزمات (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، وتتحرر الطاقة بسرعة أكبر عندما يحتاجون إليها أثناء السباقات، كما

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

إن تلك التكيفات التى تؤدى إلى تحرر الطاقة واستعادتها متنوعة ومتشابكة وتختلف من وظيفة إلى أخرى، وتعتمد على المواد التى تحتوى على هذه الطاقة. فتحرر الأكسجين والعناصر الغذائية للعضلات وإعادة نقل ثانى أكسيد الكربون وحمض اللاكتيك من هذه العضلات عن طريق الجهازين الدورى والتنفسى، وكل ذلك يرتبط بحركة هذه المواد داخل العضلات، وعلى تفاعل الأنزيمات داخل هذه العضلات والتى تساعد على تحرر وإعادة تكوين الطاقة.

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

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

تخزين الطاقة فى جسم الإنسان متحدة مع المكونات الكيميائية التالية:

١- أدينوذين ثلاثى الفوسفات ATP.

٢- كرياتين الفوسفات CP.

٣- الكربوهيدرات.

٤- الدهون.

٥- البروتين.

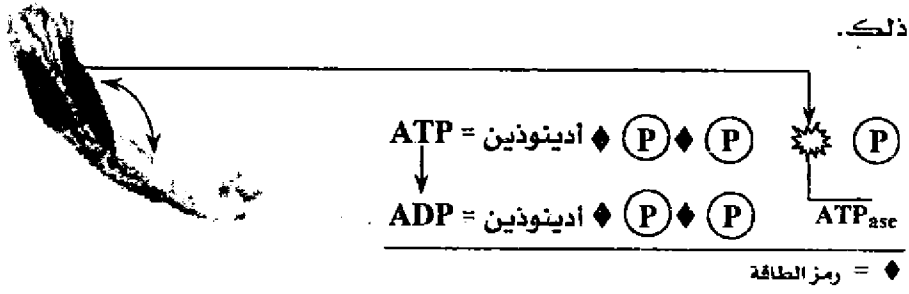
١) ثلاثي فوسفات الأدينوزين:

يتكون الـ ATP من جزيء بروتين، وجزيء أدينوذين وثلاث جزيئات فوسفات. والتركيب الكيميائي تبينه المعادلة التالية:

$$ATP = Adenosine \blacklozenge (P) \blacklozenge (P) (P)$$

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

عندما تنقبض الألياف العضلية ينشط إنزيم ATP_{ase} Adenosine triphosphates ويؤدي هذا إلى تحرير جزيء فوسفات بعيداً عن مركب الـ ATP، وفي هذه الحالة تتحرر الطاقة ويتكون ثنائي فوسفات الأدينوذين ADP، وهو ذو جزئيين من الفوسفات وجزيء الإدينوزين. والشكل التالي يوضح ذلك.



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

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

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

جزء من طاقتها وفوسفاتها والمصادر الأخرى من الطاقة خلال الليفة العضلية ذاتها وهى التى تعيد تكوينها مباشرة، والا لن تكون الليفة قادرة على تحرير الطاقة الكافية لاستمرار الانقباض العضلى. وتحتوى العضلات على القليل من إلـ ATP (٦,٢ ملى 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 وتحويلة 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 كيمائية داخل العضلة وهى:

١- فوسفات الكرياتين.

٢- الكربوهيدرات.

٣- الدهون.

٤- البروتين.

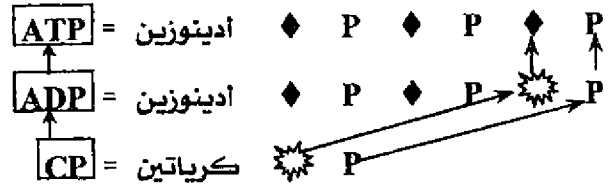
وتعمل الأنزيمات على تكسير هذه المواد مباشرة فى بداية التمرين حتى تستخدم طاقتها مباشرة فى إعادة دورة تكوين الـ ATP . وفيما يلى وصف دور كل من هذه المكونات الكيميائية فى إعادة تكوين دورة الـ ATP.

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:

CP = "كرياتين" C ♦ P "فوسفات"

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



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 (ثنائى فوسفات الادينوذين).

إن هاتين العمليتين يمكن أن تتما بسرعة لدرجة لا تحدث تأخير فى عملية استعادة الطاقة من الـ ATP . ووفقاً لذلك، فإن الفرد الرياضى يمكنه المحافظة على أقصى معدل للانقباض العضلى 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 كرياتن التى يمكن تخزينها فى أياً من الألياف العضلية السريعة أو البطيئة كمية صغيرة جداً، ما بين ١١- ٢٣ ملى مول/كيلو جرام من العضلات الرخوة (لينجر ١٩٧٣م LEHNINGER).

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

ويمكن استعادة القليل من الـ CP أثناء التمرين الرياضى لأن كل من الفوسفات المتوفر والطاقة سوف يكونا فى 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 العضلى يبطئ لان هناك العديد من الخطوات الإضافية المطلوبة لتحرير الطاقة من هذه المواد الغذائية. وفى غياب الفوسفوكرياتين الكافى، فإن معظم المصادر السريعة التالية للحصول على الطاقة والفوسفات تكون من الكربوهيدرات فى شكل جليكوجين مخزون فى العضلات.

٣) الكربوهيدرات: Carbohydrates

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

لاستعادة دورة الـ ATP، فالأغذية التى تحتوى على السكريات البسيطة والمعقدة والنشويات تقلل الجلوكوز أثناء عملية الهضم Digestive Process .

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

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

أ- جليكوجين العضلة.

ب- جليكوجين الكبد.

جـ- الجلوكوز.

أ- جليكوجين العضلة: Muscle Glycogen

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

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

شكل سلسلة طويلة معقدة اصطلح على تسميتها بالجلكزة (تحلل السكر) Glycolysis، وتتحرر الطاقة والفوسفات اللازمان لإعادة تكوين الـ ATP بسرعة فى عملية تسمى بالجلكزة اللاهوائية (تحلل السكر لاهوائياً) Anaerobic Glycolysis، ولا يتطلب إتمام هذه العملية وجود الأكسجين. والعمليات الأطول اصطلح على تسميتها بالجلكزة الهوائية Aerobic glycolysis وهى التى تتطلب وجود الأكسجين، ويشير (موجان وجليسون ٢٠٠٤م MAUGHAN & GLEESON) أن الجليكوجين يتكسر وتنشط الجلكزة 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 ان 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 إجمالى حجم الطاقة المنفقة (فيلينج، واربن 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 ايضاً فترة زمنية كبيرة حتى يمكن المحافظة على سرعات أداء السباحة السريعة، فى حين أن هذه العملية من المحتمل أنها تمد بمقدار صغير من الطاقة للرياضيين الذين يشاركون فى السباقات التنافسية الأطول. لذا فإن كلاً من جليكوجين الكبد وسكر الدم قد يستخدما فقط كإضافات للطاقة، وليس كبديل عن جليكوجين العضلات وذلك أثناء مراحل التدريب الطويلة فقط. ومع ذلك فإنهما يلعبان دوراً جوهرياً فى 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 فى تعويض الجليكوجين بالعضلات أثناء فترة الاستشفاء التى تلى التمرين. هذا بالإضافة إلى أن الجلوكوز الموجود بالدم يمكن إعادة تحوله إلى جليكوجين يخزن فى الكبد عندما ينخفض مستوى المخزون منه. وهناك وظيفة هامة أخرى لجليكوجين الكبد وجلوكوز الدم وهى أنهما يعملان على المحافظة على مد المخ والأنسجة العصبية الأخرى بالقدر الكافى من جلوكوز الدم، فالخلايا العصبية مثل غيرها من الخلايا الأخرى بالجسم، تستخدم الجلوكوز من أجل الحصول على الطاقة، ولكن على خلاف الخلايا العضلية، التى تستطيع تخزينه كجليكوجين. ومع ذلك، فإنها تحتاج إلى التزود بمقدار ثابت من جلوكوز الدم.

٤) الدهون : Fats

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 يعنى 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 البطئ يجعل السباحون لا يستطيعون المحافظة على السرعة المطلوبة أثناء السباقات إذا ما اعتمدوا على هذا المصدر فقط للحصول على الطاقة، أو اعتبارها المصدر الرئيسى للطاقة لإعادة تكوين الـ ATP .

ونتيجة أن تحرر الطاقة من الدهون يكون بطيئاً – تقريباً ١٢ ملى مول / كيلو جرام – والتى تخزن فى العضلات لتكون متيسرة للاستخدام حين الطلب. فالكمية الأكبر من الدهون تخزن تحت الجلد كنسيج دهنى، ومعظم أجسام الرياضيون تحتوى على نسيج دهنى كاف للتزود بالطاقة للعديد من الأيام. ويشير العلماء أن المقادير الكلية من الطاقة التى توفرها الدهون تكون ما بين ٧٠،٠٠٠ – ١١٠،٠٠٠ كيلو سعر حرارى لدى البالغين قليلى الدهن (الأشخاص النحفاء). وعلى النقيض من ذلك، فإن الحجم الكلى من الطاقة التى توفرها كربوهيدرات الجسم المدخرة تكون أقل من ٢٠٠٠ كيلو سعر حرارى Kilocalories (**مك إردل، كاتش، كاتش ١٩٩٦م**).

دعنا عزيزى القارئ نفسر كيف تتم عملية الحصول على الطاقة من الدهون، التى تتحول للشكل الذى 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 ونقلة إلى الميتوكوندريا. وبمجرد وصوله، فإن الأحماض الدهنية التى نقلت إلى داخل الميتوكوندريا بمساعدة أنزيم كارنتين ترانسفيراز (CT) Carnitinetrans ferase تعمل 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 الاستيل مع الكوانزيم A وعندئذ يدخل الاستيل CoA إلى دورة كربس، حيث يمكنه أن يساهم فى استعادة دورة الـ ATP بنفس الطريقة التى حدثت للجليكوجين. وبمجرد دخوله دورة كربس، فإن كل جزيء من الحمض الدهنى يمكنه أن يكون ١٤٧ جزيء من الـ ATP (**مكاردل، 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 الأخر، 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** ١٩٨٤م 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 ان تمثيل الدهون يمد بـ ٣٠٪ - ٥٠٪ من إجمالى الطاقة المستخدمة أثناء التدريب الذى يستمر لمدة ساعتين (تدريب تحمل) (**البورج، هاجنفيلدر، واربن** ١٩٧٤م 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 تأتى من الجليكوجين والجلوكوز.

ويجب ان نتذكر أن مقدار الطاقة الناتجة من الجليكوجين العضلى 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 التى تساهم فى مد العضلات بالطاقة أثناء التمرين الأقل من الأقصى وبالتالى يقل تراكم اللاكتيك.

٥) **البروتينات**: Proteins .

يعتبر البروتين من العناصر البنائية الأساسية **Basic structural elements** التى ترتبط بشكل أساسى بإصلاح **Repair** وإعادة بناء الأنسجة، كما يرادف **Synonymous** استخدام البروتينات لتحسين عنصر القوة فى اللياقة البدنية. إن العديد من مكونات بناء العضلات التى ترتبط بالتمثيل الهوائى تعتمد فى بنائها على البروتين. ومصدر هذه المكونات هو الميتوكوندريا حيث تحدث عملية التمثيل الهوائى. 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 فى الجسم.

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

ويدخل فى تركيب البروتينات الكربون **Carbon** والهيدروجين **Hydrogen** والنتروجين **Nitrogen**. وتترتب هذه المكونات فى تشكيلة وبطرق معينة لتكون اتحاد كبير من الأحماض الأمينية. والجسم لا يخزن البروتين فى مخازن، ولكنها جميعها تتكون فى الجسم كأجزاء هامة من الأنسجة والدم والهرمونات والأنزيمات. وهذه المكونات الداخلة فى بناء الجسم والتى

تحتوى على هذه الأحماض الأمينية تخضع باستمرار لعملية التكسير 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 تتبقى من الأحماض الأمينية القديمة يمكنها عندئذ أن تتحول إلى استيل كولين (CoA) لدرجة أنها يمكنها أن تدخل دورة كربس 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 كربس ونتيجة أنها عملية بطيئة إلى حد بعيد، فإن تمثيل البروتين لا يساهم بأى مقادير أساسية للطاقة أثناء المنافسات، ولكنها تساهم وفقاً لما ذكره (**مكاردل ، كاتش، كاتش** ١٩٩٦م) بنسبة مئوية ما بين ١٠٪ - ١٥٪ من إجمالى 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، وبالتالى تفقد جزءً من قوتها وقدرتها على التمثيل الغذائى.

ومن الشائع، أنه فى حالة إستخدام 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 فى توقيت يكون فيه مخزون العضلات العاملة من الجليكوجين قليل، فإن التأثيرات العكسية فى 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 فى العضلات والكبد قد نضب.

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

مراحل تمثيل الطاقة: Stages of Energy Metabolism.

إن الجسم البشرى يعيد دورة الـ ATP مستخدماً ثلاث أنظمة بيوكيميائية مختلفة، اثنين منها لا تتطلب الأكسجين وتعتبر لاهوائية، والنظام الثالث هو الذى يستخدم الأكسجين، لذا فإنه يسمى بالنظام الهوائى، وهذه الأنظمة ظهر لها العديد من المسميات. فابسط وأسرع الأنظمة هو النظام اللاهوائى الذى أصطلح على تسميته بنظام الـ ATP – CP أو نظام إعادة دورة الـ ATP أو بالنظام الخالى من الهواء **Nonaerobic** أو بالنظام اللالكتيكى.

إن هذه المصطلحات المتعددة استخدمت للتفرقة بين هذا النظام والنظام اللاهوائى الأخر، وهو نظام التمثيل اللاهوائى للطاقة، وسمى أيضاً بنظام اللاكتيك، أو بنظام الجلكزة اللاهوائية. ويفضل **ماجلشو** ٢٠٠٣م استخدام

مصطلح "التمثيل اللاهوائى Anaerobic Metabolism اما المرحلة الأخيرة من التمثيل الغذائى، والتى تتطلب الأكسجين، فسميت بالنظام الهوائى أو التمثيل الهوائى أو الجلكزة الهوائية، ويفضل **ماجلشو** 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، والجلكزة اللاهوائية هو النظام الأسرع الذى يلية، والتمثيل الهوائى هو أبطء 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.

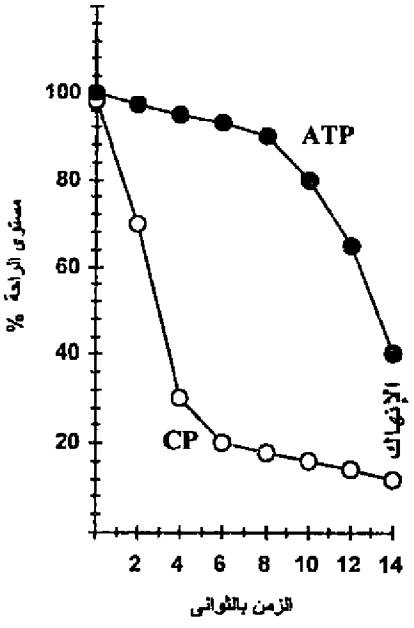
أ ـ نظام الـ ATP – CP

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 لتنقبض، فإن خيوط البروتين Protein filaments لهذه الليفة – المايوسين والأكتين – تتحدد، وهنا ينشط إنزيم ATPase فهذا الإنزيم يساعد فى انشطار جزيء من الفوسفات الرابط 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، وعوضاً 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 Liberate ٧.٣ سعر حرارى من الطاقة الكيميائية (**مك أردل، كاتش، كاتش ١٩٩٦**). فبعض من هذه الطاقة يتحول إلى طاقة كيميائية تستخدمها العضلات فى انقباضها، وفى حالة الراحة تتحول إلى طاقة حرارية Heat Energy. فالنسبة المئوية من الطاقة الإجمالية المستخدمة للمجهود هى التى تحدد فعالية هذا المجهود، فإذا كانت فعالية السباح فى أداء السباحة الحرة تبلغ ١٤٪ فإن هذه النسبة فقط من الطاقة الكيميائية تتحرر لتستخدم لأداء الانقباض العضلى، بينما الـ ٨٦٪ المتبقية تتحول إلى طاقة حرارية (**برندرجت وآخرون** ١٩٨٦م PRENDERGAST).

وتقر بعض الدراسات أن الألياف العضلية لدى الإنسان تتضمن قدراً كافياً من الفوسفوكرياتين لإعادة دورة الـ ATP لمدة من ١٠ – ١٥ث، وهذا يوضح أن حوالى نصفه فقط يمكن أستخدمه فى التحول السريع للـ ADP (ثنائى فوسفات الأدينوذين) إلى ATP (ثلاثى فوسفات الأدينوذين) قبل أن يتكون حمض اللاكتيك (**دى برامرو** ١٩٧١م DI-PRAMERO). ومع ذلك وكما ذكرنا من قبل، فإن الألياف العضلية تستطيع أن تنقبض عند أقصى معدل من السرعة لمدة ٤-٦ث فقط، لأن الـ CP الموجود بالعضلة يقل على مرحلتين، حيث ينخفض بسرعة خلال ٤-٦ث الأولى من المجهود، ثم تكون أكثر بطئاً فيما تبقى من السباق(**هاسون، بارنز** ١٩٨٦م HASSON BARNES) والشكل التالى يوضح هذه العملية.



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

إن معظم الطاقة التى تعيد تكوين الـ ATP يتم التزود بها عن طريق الـ CP خلال الثوانى 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، تيموتز ١٩٩٨م GREERIHAFF & 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 ـ 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. ويمكنا أن نستعرض المرحلة الأولى بالتفصيل خلال السطور التالية.

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

إن معدل استعادة دورة الـ ATP بهذه العملية يمثل حوالى نصف نظام الـ CP – ATP ، لذا، فإن السرعة والقوة العضلية ستصبح بالضرورة أبطء وسيكون الفرد الرياضى غير قادر على المحافظة على السرعة القصوى عندما تصبح هى المصدر الرئيسى للطاقة مما يجعل بشكل جوهرى قدرة الفرد المنطلقة تقل بنسبة ٣٥٪ بعد الـ ٥ ث الأولى من التمرين الرياضى عندما تكون الجلكزة اللاهوائية قد أصبحت هى المصدر الرئيسى للطاقة اللازمة لاستعادة تكوين الـ ATP (**هولتمان، سجوهولم ١٩٨٦م** HULTMAN & SJOHOLM).

وهناك مجموعة من الأنزيمات تلعب دوراً فى عملية تحفيز الجلكزة اللاهوائية وتتحكم فى معدلاتها. فتدريب السرعة يزيد من نشاط هذه الأنزيمات وبالتالى زيادة معدل الجلكزة اللاهوائية.

وفى معظم الحالات، فإن عملية الجلكزة تبدأ بتحول جليكوجين العضلة إلى جلوكوز، ويُحَفَّز هذا الإجراء عن طريق إنزيم منشط وهو فوسفوريليز Phosphorylase وبعد ذلك تتم عملية تمثيل الجلوكوز خلال ١٠ خطوات مرحلية، تنتهى بتكوين حمض البيروفيك من الفوسفوفينيل بيروفات Phosphophenyl pyruvate. ثم يتحول هذا المركب مباشرة إلى بيروفات Pyruvate (C_3 H_4 O_3) وذلك عن طريق فقد أيون واحد من أيونات الهيدروجين. ويقوم إنزيم بيروفيك كينيز Pyruvate Kinase بتحفيز هذه العملية. وتؤثر هذه العمليات فى البروتوبلازم (كيتوبلازم Cytoplasm) فى الخلية العضلية، وكما أشرنا من قبل، فهذه العمليات لا تتطلب أكسجين.

إن أيونات الهيدروجين (H^+) تتحرر أيضاً باستمرار من الجلوكوز فى مرحلة مبكرة فى عملية الجلكزة اللاهوائية. فالمرحلة اللاهوائية فى الجلكزة تنتهى مع تكوين البيروفيك وأيونات الهيدروجين. وعند هذه النقطة، فإن كلاً من تلك المواد سوف تستمر فى عملية التمثيل فى المرحلة الهوائية للجلكزة إذا كان الأكسجين المتوفر كافياً لإتمام هذه العملية.

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

ويأتى إنزيم لاكتيك دى هيدروجينيز Lactate Dehydrogenase (لاكتات نازعة الهيدروجين) وعلى الأخص الشكل العضلى من هذا الأنزيم حيث أن هذا الأنزيم له شكلان عضلى وقلبى، 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 – ٣٠ث. ويشير رون موجان وميشيل جليسون ٢٠٠٤م أن تدريب السرعة يحدث تغيرات فى نشاط الإنزيمات العضلية الخاصة بعملية التمثيل اللاهوائى تصل ما بين ٤٠-٥٠٪.

جـ – التمثيل الهوائى: Aerobic Metabolism.

عندما يكون الأكسجين المتوفر كافياً، فإن الناتج النهائى للجلكزة اللاهوائية وهو البيروفيك وأيونات الهيدرجين، سوف يدخلا 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 الإلكترونى Electron Transport Chain، والبيرفيك يمكن أن يمد بالفوسفات عند تمثيله فى دورة كريس.

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

الهوائى ينتج ثانى أكسيد الكربون والماء، وكلاهما يتم التخلص منهما بسهولة من الجسم أثناء التمرين الرياضى وتتطلب هذه العملية الأكسجين، ولذلك فهذه العملية تعتبر عملية هوائية فى طبيعها. وعندما يتم التزود بالقدر الكافى من الأكسجين، فإن المزيد من البيروفيك وأيونات الهيدروجين سوف تتأكسد والقليل الذى سوف يتحد ليكون حمض اللاكتيك. ووفقاً لذلك، فإن من حمض اللاكتيك الذى سوف ينتج سيؤدى إلى تأخر عملية الحمضية.

إن كل فرد رياضى لديه حداً أعلى من قدرته على تمثيل البيروفيك وأيونات الهيدروجين، والذى يتحدد وفقاً لقدرته القصوى على استهلاك الأكسجين فى الدقيقة (Vo_2 max) ويمكن للفرد الرياضى أن يسبح لفترة طويلة دون المعاناة من الأحماض مادام التزود بالأكسجين كافياً لإمداد عملية التمثيل لكل من البيروفيك وأيونات الهيدروجين التى أنتجها السباحون أثناء الأداء وتحولهما إلى ثانى أكسيد الكربون والماء وهناك هدفين تكيفيين رئيسيين للتدريب لتنمية كفاءة السباح فى أداء طرق السباحة وزيادة الأكسجين الذى تزود به العضلة. أولهما تنمية كفاءة أداء طرق السباحة مما يقلل من الطاقة المنفقة فى الأداء حتى أن السباحون يمكنهم السباحة بصورة أسرع دون زيادة كبيرة فى مقدار الأكسجين الذى يحتاجون إليه. وثانيهما، هو زيادة الأكسجين الذى تزود به العضلات، مما يجعل عملية التمثيل الغذائى للبروفيك وأيونات الهيدروجين تزيد لدرجة تسمح للسباحين بالسباحة بشكل أسرع دون إنتاج مقادير أكبر من حمض اللاكتيك.

إن المرحلة الهوائية من الجلكزة تكون أكثر فعالية بالمقارنة بالمرحلة اللاهوائية، لإنها عادة ما تعطى عدد أكبر كثيراً من جزيئات الـ ATP الذى يتم تكوينه مرة أخرى. فكل جزيء من الجلوكوز ينتج ٣٩ جزيء من الـ ATP عندما يتم تمثيل الجلوكوز هوائياً، بينما كل جزيء من

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

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

١- دورة كريس.

٢- سلسلة الانتقال الإلكترونى.

فالبيروفك يتم تمثيله إلى ثانى أكسيد الكربون فى دورة كريس، وأيونات الهيدوجين والإلكتروناته يتم تمثيلها إلى ماء فى سلسلة التبادل الإلكترونى، فكلا العمليتين يحررا كمية كبيرة من الطاقة والفوسفات لاستعادة تكوين الـ ATP.

١ـ دور الميلوجلوبين 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، والتى 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 الى 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:

٢ـ 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 أدائها 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.

٣- دور حمض اللاكتيك والتعادل الحمضى القلوى العضلى (الأس الهيدروجينى) فى حالة التعب Role of Lactic Acid and Muscle PH in Fatigue

إن النقص فى PH العضلة (الحمضية) يعتبر هو السبب الرئيسى للتعب فى كل سباقات السباحة بدء من ٥٠م والمسافات الأطول، فالحمضية تؤثر على التركيز العقلى Mental Focus وعلى تمثيل الطاقة فى العديد من الحالات التى تجعل من المستحيل على السباحين المحافظة على سرعتهم.

١) حمض اللاكتيك والتعب: Lactic Acid and Fatigue

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

وعندما يكون الأكسجين المتوفر غير كافياً، فإن عملية التمثيل اللاهوائى ستؤدى إلى تراكم حمض اللاكتيك فى العضلات. وكما ذكرنا من قبل، فإن بعض من البيروفيك الزائد سوف يتحد مع الأمونيا ليكون الالنين. بينما معظمه يتحد مع ايونات الهيدروجين التى لم تدخل سلسلة الانتقال الإلكترونى لتكون حمض اللاكتيك. والذى بالتالى ينقسم مباشرة إلى لاكتات وايونات هيدروجين. ونظراً لحمضيتهما ، فإن تراكم

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

أيونات الهيدروجين في العضلات سيجعل الـ PH فيها أقل، 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 ثانيتن بعد بداية التمرين (مارجريا، سريتلي، مانجيل MaRGARIA, CERRETELLI & MENGILL) وإنتاج هذه المادة تقدر بـ ٥٠٪ تقريباً من الطاقة المتحررة لاستعادة تكوين الـ ATP خلال ثانيتين بعد بداية التمرين الرياضي (هولتمان، سجوهولم ١٩٨٦م HULTMAN & SJOHOLM).

أ ـ 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 الرياضي ذو الشدة ما بين المنخفضة والمتوسطة. ومع ذلك، فإن معدل إنتاجه سوف يزيد عن معدل انتقاله لدرجة أن حمض لاكتيك 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.

لاشك 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 يتحدداً بمعدل أسرع مما يستطيع التمثيل الهوائى أن يؤديه، وهذا يؤدى 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 ميتوكندريا 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 نقلة أثناء التمرين الرياضى. واعتقد العلماء خلال السنوات الأخيرة أن حمض اللاكتيك لايمكن 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

مستمر. وأشارت الأبحاث الحديثة أن عملية انتقال حمض اللاكتيك من العضلات أثناء التمرين قد تقلل من معدل تراكمه في تلك العضلات أو يعادل بدرجة كبيرة ما يمكن أن يحدثه استهلاك الأكسجين من نقص في تقليل معدل تراكمه في العضلات (**بروكس وآخرون ١٩٩٦م** BROOKS, et al).

ب ـ التخلص من حمض اللاكتيك: Lactic Acid Removal

يعتقد بعض العلماء أن الألياف العضلية لدى الإنسان تحتوى على نظام ناقل البروتين System Of Protein Transporters الذى يقوم بوظيفة نقل حمض اللاكتيك من الألياف العضلية(**بونين، باكر، هاتا ١٩٩٧م** BONEN, BAKER & HATTA)، (**بونين وآخرون ١٩٩٨م**)، (**ويلسون وآخرون ١٩٩٨م** WILSON, et al). وهذا الناقل يمكنه نقل حمض اللاكتيك من بروتوبلازم الألياف العضلية العاملة حيث أنها تنتجة داخل الميتوكوندريا الموجودة بنفس الألياف العضلة لدرجة أنه يقوم بتحويله مرة أخرى إلى حمض بيروفيك ويأكسده (**بروكس وآخرون ١٩٩٦م**). كما أنه أيضاً ينقل حمض اللاكتيك لخارج الألياف العضلية والذى أنتج داخلها وهى التى تعتبر أفضل مكان لتمثيله. وهذا يعنى أن هناك تنظيم سائد بين الألياف العضلية البطيئة والسريعة. فالألياف البطيئة لديها قدرة أفضل على تمثيل حمض اللاكتيك. ووفقاً لذلك، فإن بعض من حمض اللاكتيك المنتج في الألياف السريعة يمكن نقلة مباشرة عبر أغشية الخلية لداخل الألياف العضلية البطيئة المجاورة Adjacent حيث يدخل إلى الميتوكوندريا ويتأكسد وهذا ما يعرف بنظرية **بروكس** أو نظرية الانتقال المكوكى لحمض اللاكتيك. وأخيراً، فإن حمض اللاكتيك يمكنه أيضاً أن يترك الألياف العضلية البطيئة التى لا تعمل (التى فى حالة راحة) وكذلك يحمله إلى الكبد والقلب حيث يتم فى نهاية الأمر Eventually أكسدته إلى ثانى اكسيد كربون وماء أو يتحول إلى جليكوجين يتم تخزينه. وبعض من حمض

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 فى 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 فى الألياف العضلية العاملة سوف يقل على الرغم من شدة التمرين (بوذين، باكر، هاتا ١٩٩٧م).

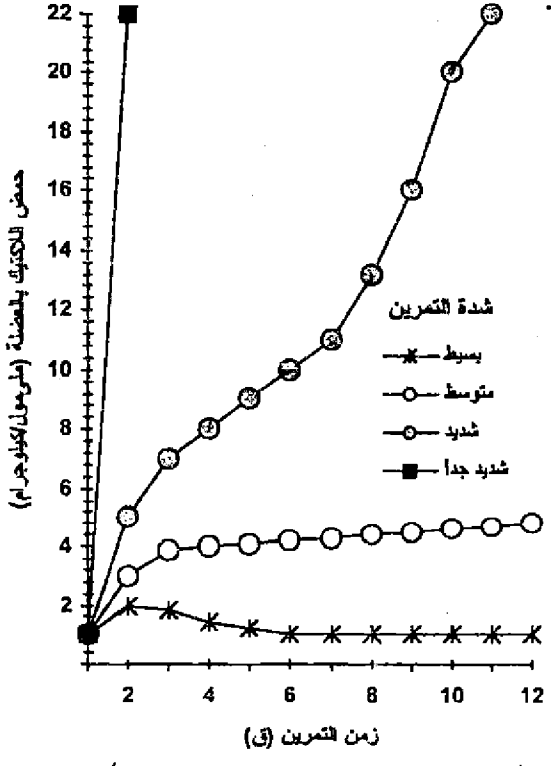
وعلى الرغم من حقيقة أن آلية استهلاك الأكسجين والتخلص من حمض اللاكتيك يقلل من معدل تراكم حمض اللاكتيك، فإن معدل إنتاجه سوف يظل أعلى من المعدل المحدد أثناء التمرين الشديد. ولكن هناك مقدار ضئيل من حمض اللاكتيك سوف يتحول مرة أخرى إلى حمض بيروفيك وأيونات هيدروجين أثناء فترة الاستشفاء التى تلى التمرين مباشر. وهناك يمكن تمثيله هوائياً إلى ثانى أكسيد الكربون وماء او 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 فى العضلات. وعادة ما يكون فى العضلات بعض من حمض اللاكتيك، فتركيز حمض اللاكتيك فى حالة الراحة فى العضلات ما بين ١-٢ ملى مول / كيلو جرام،فالفرد الرياضى يبدأ فى إنتاج كمية لاكتيك 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

لزيادة معدلاتهم من استهلاك الأكسجين بدرجة تكفى عملية التمثيل الزائدة لحمض البيروفيك وأيونات الهيدروجين. ومع ذلك ففى حالة زيادة استهلاك الأكسجين، فإن معدل إنتاج اللاكتيك سوف يقل ومعظم المقادير الزائدة منه فى العضلات سوف تنتقل ويصبح مستوى الحمض بالعضلات قرب مستواه الطبيعى.



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

ومن خلال هذا الشكل نجد أن شدة التمرين الرياضى المعتدلة تجعل تراكم حمض اللاكتيك يزيد بمعدل من ٢-٤ أضعاف مستوياته فى الراحة وذلك خلال الدقائق القليلة فى 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 فى بعض الحيان. وعادة مايكون هذا الارتفاع فى مستوى حمض اللاكتيك ما بين ٢-٤ ملى مول / كجم. كما أن الأحماض المتكونة فى 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 تؤدى إلى تراكمه فى العضلات حتى أنه فى بعض الأحيان يقل الـ PH فى هذه العضلات بدرجة كبيرة تسبب التعب للفرد الرياضى. وفى هذه الحالة، فإن زمن أداء التمرين الرياضى سيصل إلى ١٠ دقائق، كما أن أعلى مستوى لحمض اللاكتيك بالعضلات العاملة والذى يمكن أن يحققه الفرد الرياضى فى هذه الحالة هو ٢٢ ملىمول/كجم، وذلك يؤدى إلى ظهور حمضيه شديدة. أما فى السباقات الأقصر، فإن الفرد الرياضى يمكنه أن يؤديها بسرعة سريعة ولكنه يصل لقمة اللاكتيك وتظهر الأحماض لديه مبكراً.

كما يبين الشكل السابق استجابة حمض اللاكتيك بالعضلات والناتج عن سباحة ١٠٠م سرعة، وفى هذه الحالة، فإن سرعة أداء هذه المسافة تكون قريبة من الأقصى. كما أن معدل حمض اللاكتيك الناتج يتزايد تراكمه حتى يصل لمستوى الـ ٢٢ ملىمول/كجم فى أقل من دقيقة. كما أن أقصى لاكتات بالدم، وربما أيضاً تراكمة، قد تكون عند نفس المستوى تقريباً فى السباقات التى يستغرق أدائها ما بين ٤٠ث – ٨ق. وفى بعض الأحيان، قد يكون تراكم حمض اللاكتيك فى السباقات الأطول أكثر انخفاضاً، وقد يكون ذلك نتيجة أن الفرد الرياضى يستغرق وقتاً أكثر حتى يتخلص eliminate من حمض اللاكتيك المتكون فى عضلاته فى المسافات الأطول. وتشير دراسة أجراها (هيرمانسين ١٩٧١م HERMANSEN) إلى أن قمة تركيز لاكتيك الدم كانت تقريباً هى نفسها لدى أحد الأشخاص الرياضيين بعد أدائه مجهود أقصى تطلب أدائه ٣٠ث – ٨ق.

وتشير نتائج هذه الدراسة أن حمض اللاكتيك لدى هذا الفرد بلغ ما بين ١٨-٢٢ ملىمول/لتر عندما كانت استمرارية أداء التمرين من ٣٠ث – ٨ق. أما فى السباقات التى يستمر أدائها حتى ١٠ق، انخفض أقصى تراكم لحمض اللاكتيك بالدم إلى ١٥ ملى 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، والتى 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 والذى 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 الإنهاك والذى يستمر من ٣-٧ق.

٢ـ 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 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 لاكتيك نتيجة أدائها.

ولا شك أن نقص PH العضلات سوف يؤدى 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 للفرد الرياضى، وتختلف هذه الآلام 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 تعاظم تحملهم للألم الناتج عن نقص الـ PH، فإنهم يقللون من سرعة أدائهم اضطراريا 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 قادرون على السباحة عند أى سرعة أعلى من قدرتهم لتوليد الطاقة المتوفرة هوائياً، مما يؤدى 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 ٦٠ث. فمسافة الـ ١٠٠م تعتبر الحد الأعلى لكل سباقات السرعة. وبالتالى فأداء 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 يؤدى إلى انخفاض PH العضلات لأقل من ٦,٨.

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

كما أن معدل نشاط إنزيمات الفوسفوريليز، والفوسفوفركتوكيتيز Phosphorylase, Phosphfructokinase (PFK) سوف يقل كثيراً عندما ينخفض PH العضلة لأقل من ٧,٠ (**هولتمان وآخرون** ١٩٩٠م HULTMAN,et al.) فهذه الأنزيمات هى المنظم الرئيسى لعملية التمثيل اللاهوائى والتى 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** ١٩٧٥م HIRCHE, et al.)، مسبباً زيادة فترة بقائه فى الألياف العضلية، مما يقلل الـ PH بشكل أكبر.

ويعتقد بعض المدربون والسباحون خطأ Mistakenly أن السباحون يمكنهم أثناء التنافس فى 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، ففى 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، وبالتالى 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.

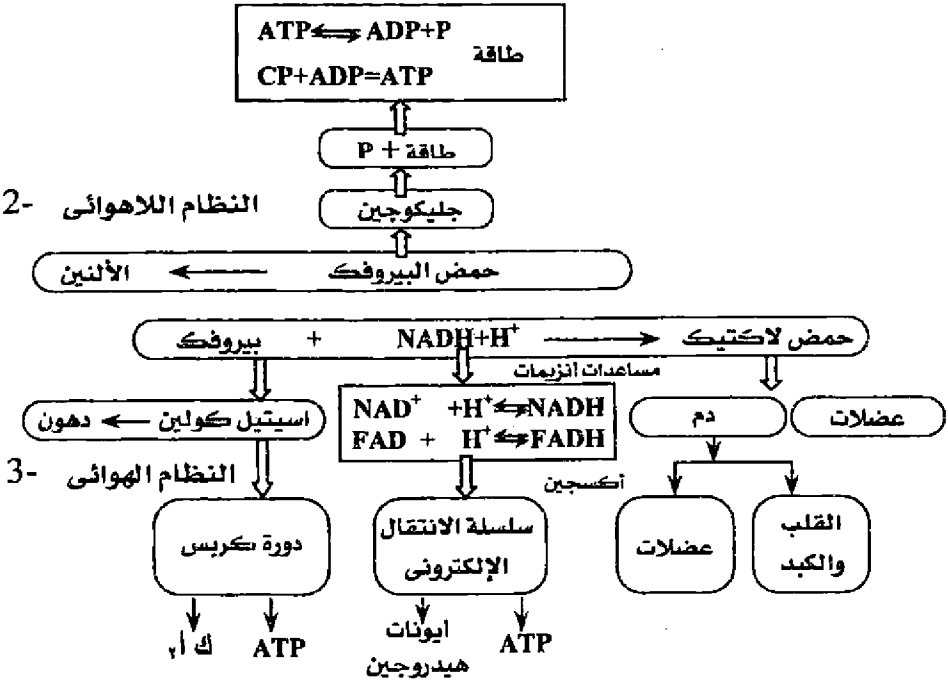
٢- ملخص تمثيل الطاقة: Energy Metabolism Summarized

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 أنزيم) وأيونات الهيدروجين (H^+).

والنظام الهوائي – الذي يوضحه الجزء السفلي من الشكل، فإن البيروفك سوف يدخل إلى الميتوكوندريا داخل الألياف العضلية ومنها إلى دورة كريبس، حيث يتم تمثيله إلى ثاني أكسيد الكربون. وفي داخل الميتوكوندريا، فإن الـ NADH ومساعد الأنزيم (FADH2) سوف ينقلا إلى داخل سلسلة التبادل الالكتروني حيث تستخدم ذرات الهيدروجين في تكوين الماء.ففي هذه العملية، فإن الطاقة الموجودة في الكترونات هذه الذرات الهيدروجينية، سوف تستخدم في استعادة تكوين الـ ATP من الـ ADP.

1- نظام ATP-PC



شكل (٥) شكل تخطيطى لتمثيل الطاقة

يوضح الشكل رقم (٥) مراحل أنظمة ATP-CP، اللاهوائى، الهوائى التى سوف تستخدم فى استعادة الـ ATP من الـ ADP .

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

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

إلى الألياف العضلية الغير عاملة أو الألياف التى لم تستخدم كثيراً، حيث يمكن أكسدته مرة اخرى 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 البيروفك يمكن أن يدخل إلى دورة (الجلوكوز Glucose - الالنين Alanine)، حيث يتم تمثيله هوائياً وتحويله مرة اخرى إلى جلوكوز فى الكبد – والجزء الأيمن السفلى من الشكل يبين ذلك.

تمثيل الطاقة أثناء السباقات والتدريب:

Energy Metabolism During Races and Training

من الشائع فى سباقات السباحة أنها تكون إما هوائية أو لا هوائية، وهذا يعطى انطباع زائف False impression أن هذه المراحل من التمثيل الغذائى منفصلة عن بعضها البعض وأنها متعاقبة Separately & Sequence، فمع بداية واحدة من هذه المراحل تكون المرحلة الأخرى قد انتهت. وفى الواقع، فإن جميع هذه المراحل الثلاثة من عملية تمثيل الطاقة تعمل منذ اللحظة الأولى من التمرين الرياضى والاختلاف فقط يكون فى نسبة مساهمة كل مرحلة. فنجد فى سباقات السرعة أن المساهمة الرئيسية للطاقة تكون من استعادة دورة الـ ATP ضمن نظام الـ ATP- CP والتمثيل اللاهوائى، لأن هذه العمليات هى فقط التى 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 فى هذه السباقات. وعلى ذلك، فإنه يمّد بكمية صغيرة من الطاقة المطلوبة للسرعة،وتصبح المساهمة الهوائية أكبر كلما زادت مسافة السباق أو كلما سبح السباح بسرعات أبطء ولمسافات أطول.

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

١- مساهمات مراحل تمثيل الطاقة الثلاثة فى 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 او التحمل بالسباقات الهوائية، ولكن هذه الخاصية لم تكن بالدقة الكاملة، وكما فسرنا من قبل، فإن جميع مراحل عمليات التمثيل تتم داخل عملية واحدة متداخلة فى وقت واحد عندما يبدأ الفرد الرياضى السباق او يؤدى تكرارات التدريب. والجدول التالى 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 فى دور كل من هاتين المادتين فى التزود بالطاقة أثناء المجهود.

جدول(١)

المساهمات النسبية لمراحل تمثيل الطاقة وفقاً لزمن السباق ومسافته

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

جدول(٢)

المساهمات النسبية لمراحل تمثيل الطاقة وفقاً للمجموعات التكرارية وزمنها

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

إن النسب المئوية لمختلف السباقات والمسافات التكرارية المذكورة فى الجدول السابق طبقت على السباحين ذوى المستوى العالى الكبار أصحاب الخبرات. ونلاحظ من الجدول أن هذه النسب وضعت وفقاً لزمن 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 عمره ١٠ سنوات ويؤدى سباحة الـ١٠٠م 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 للمسافات من ٢٥- ٥٠م (وهى المسافة التى تتطلب لأدائها من ١٠-٣٠ث). والتمثيل اللاهوائى هو المساهم الأول فى سباقات المسافات الـ ١٠٠م، ٢٠٠م (وهى السباقات التى يستغرق أدائها من ١-٣ق). وكذلك فإن دور التمثيل الهوائى يصبح بازدياد أكثر أهمية فى مسافة الـ ٢٠٠م. كما أن كلاً من التمثيل الهوائى واللاهوائى يساهما بشكل جوهرى فى المّد بالطاقة فى سباقات الـ ٤٠٠م (وهى المسافة التى تستغرق فى أدائها من ٤-٦ق) 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 الأطول حتى أنها لا تأخذ فى الاعتبار أى تهمل فى السباقات الأطول.

إن جليكوجين العضلة والفوسفوكرياتين كلاهما يعتبرا 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 ATP- CP والتمثيل اللاهوائى يمدا بمعظم الطاقة لمسافات السرعات الشديدة (٢٥م فاقل) 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.

٢ـ 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 ATP – CP، 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 تكنيك 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 ـ سباقات الـ ٢٥م، ٥٠م: 25m & 50m Events.

إن الأداء فى 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 ـ 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 الرياضين لا يستطيعون السباحة عند المجهود الأقصى لأكثر من ٤٠ث قبل أن تصبح الحمضية الشديدة هى السبب فى بطء الأداء إلى حدّ بعيد. ومع ذلك، فالزيادة المتدرجة فى الحمضية تقلل من معدلات التمثيل وبالتالى 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 الأكسجين، فإن السرعة السريعة منذ بداية سباق الـ ١٠٠م وزمن أدائها القصير جداً لن يصل باستهلاك الأكسجين 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 يعتبرا محدداً جزئياً للأداء. فى هذين السباقين. ولا يمكنا 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 الا 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 الثوان العديدة الأولى من سباقات هذه المسافات. والتى 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 البيرفيك وأيونات الهيدروجين التى يمكن للسباح تمثيلها هوائياً أثناء السباق.

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

٣- مقدار حمض اللاكتيك الذى يمكن أن تؤثر علية 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 الأخر خفيفة وتشمل تمرينات اداء السباحة Stroke Drills والسباحة الإستشفائيه، وضربات الرجلين وحركات الذراعين، والسباحات الطويلة أو المجموعات الطويلة لتكرارات معتدله 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 تأتى من تمثيل الدهون، لأن الدهون تمثيل معظم المصدر الوفير Plentiful لإعادة دورة الـ ATP بالمعدل المطلوب للأداء. بينما الفوسفوكرياتين وجليكوجين العضلة والجلوكوز والبروتينات تكون مساهمتها فى المدد بالطاقة قليل وبمقادير صغيرة، وبالتالى 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 والتى تتخطى الـ ٧٠٪ - ٨٥٪ من المجهود الأقصى، فإن المطلوب من الطاقة فيها لمعظم السباحين سيكون أكبر من

الاعتماد على التمثيل الهوائى بمفردة. لذا فإن معظم البيروفيك وأيونات 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 سيقل 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 حدّ بعيد جليكوجين العضلة. فعندما يكون المتوفر من هذه المادة منخفضاً داخل الألياف العضلية، فإن الرياضيون سيجدون أنفسهم غير قادرون على التدريب بالشدة التى يرغبون فى أدائها. ونتيجة لذلك، فإن السبب الشائع للتعب الناتج عن التدريب يوم بعد أخر هو النقص فى جليكوجين العضلة. وقد يقترب الرياضيون من نضوب هذه المادة لديهم بعد جرعة أو جرعتين تدريبيتين أو أكثر ذو شدة عالية زمن أدائها ساعة أو أكثر (**هوستون** ١٩٧٨م HOUSTON)، (**بيلتز وآخرون** ١٩٨٨م BELTZ, et al). ويؤكد **كوستل وأخرون** 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 الرياضين 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 وضربات الرجلين بالشكل المعتاد. فقد يعتقد هؤلاء السباحون أنهم غير متعبون ولكن الشعور السائد هو الإحساس بالكسل والوهن. ولكنهم سيكونون قادرون على سباحة مجموعات طويلة ببطء وبسرعات معتدلة أثناء التدريب مع يؤدي إلى عدم ظهور علامات التعب، وذلك نتيجة استخدام الجسم لمخزونه من الدهن 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 يعّد 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 الرياضين قد تتطلب ٢٤-٤٨ ساعة من التدريب قليل الشدة حتى تستشفى وتتكيف مرة أخرى عن طريق أداء فترات تدريبية طويلة وبطيئة.

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

❖ فى سباقات الـ ٢٥م ٥٠م.

١- الأداء الميكانيكى الجيد لطرق السباحة المختلفة.

٢- معدل التمثيل اللاهوائى للطاقة.

٣- حجم الـ CP المخزون فى الألياف العضلية العاملة.

❖ فى سباقات الـ ١٠٠م، ٢٠٠م.

١- تكنيك السباحة الجيد.

٢- القدرة على تأخير ظهور الأحماض.

٣- معدل التمثيل اللاهوائى للطاقة.

٤- مقدار الـ CP المخزون فى الألياف العضلية العاملة.

❖ فى سباقات المسافة المتوسطة والطويلة

١- تكنيك السباحة الجيد.

٢- القدرة على تأخير ظهور الأحماض.

٣- معدل التمثيل اللاهوائى.

❖ التدريب على المدى الطويل Day – to Days Training.

١- نضوب جليكوجين العضلة.

٢- تضرر الأنسجة العضلية من الأحماض.