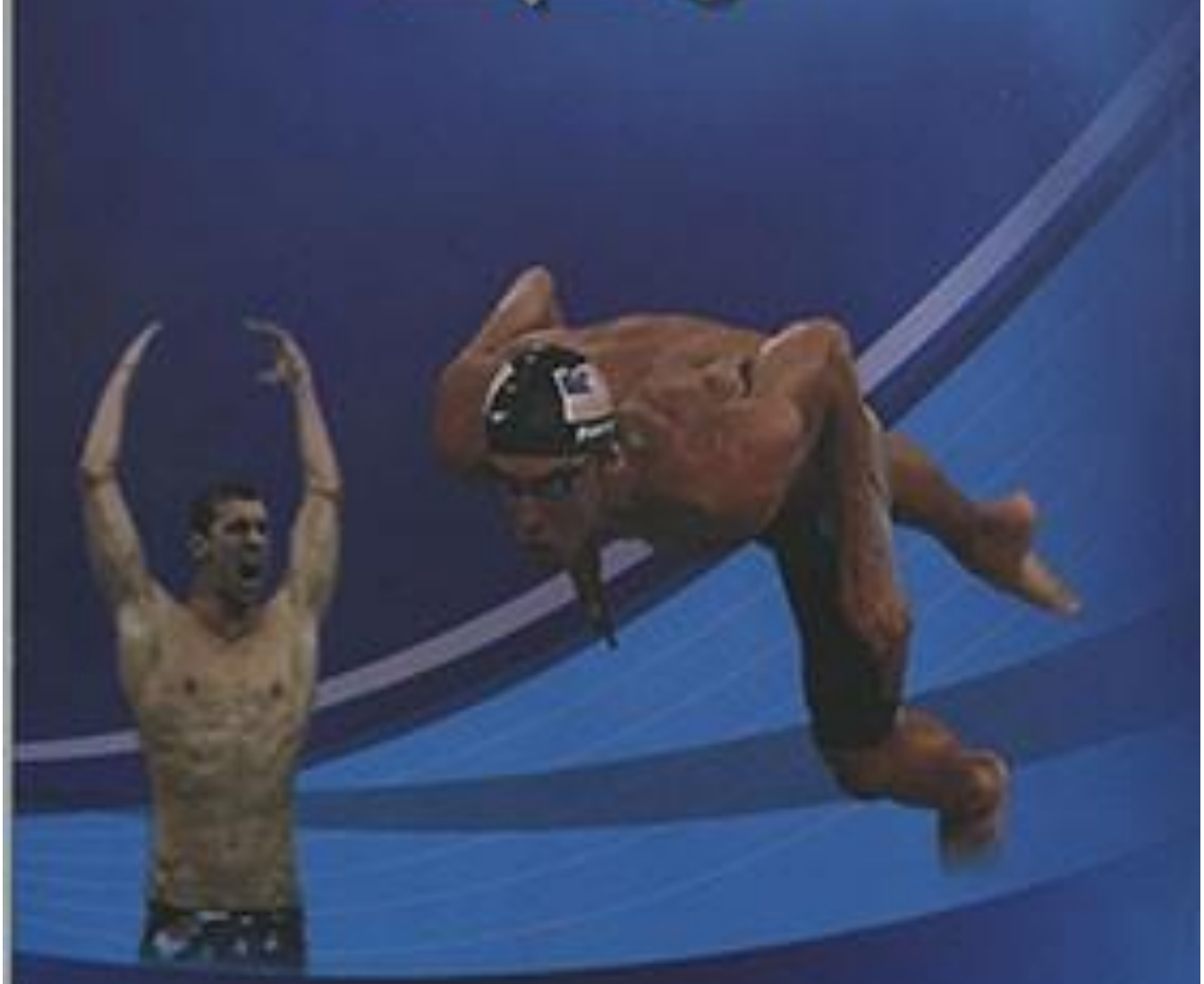
فسيولوجيا الأداء الرياضى فى السباحة



استاذ دكتور

محمد على القط

فسيولوجيا الأداء الرياضي في السباحة

المؤلف : محمد علي أحمد القط

2013

مركز الكتاب للنشر / القاهرة

تقديم

للأستاذ الدكتور/ عصام الدين محمد نور الدين
أستاذ الكيمياء الحيوية الطبية ووكيل كلية الطب
لشئون الدراسات العليا والبحوث - جامعة الزقازيق

إن التطور سمة حضارية، نحن بحاجة إليه حتى لا نصاب بالجمود والتخلف، والعالم من حولنا فى تسارع مع الزمن من أجل هذا التطور، فيجب علينا ألا نكون فى موقع المتفرجين، بل يجب أن نعدو جادين حتى نلاحق هذا التطور، وخاصة فى المجال العلمى والأكاديمى.

ولن يتحقق هذا التطور إلا من خلال رؤية علمية تجعلنا نساير هذا التطور، وها هى الرؤية العلمية مطروحة علينا فى هذا الجهد المتميز فى مجال فسيولوجيا الرياضة والمتخصص فى إحدى فروعها وهى السباحة، وصاحب هذا الجهد يستحق منا كل التقدير والثناء لما بذله من جهد واضح ومميز.

وقد استطاع الأستاذ الدكتور/ محمد على القط بما لديه من علم ومعرفة وإطلاع على ما هو جديد أن يقدم للقارئ سواء أكان طالباً أو باحثاً أو مدرباً رؤى جيدة شاملة متعمقة فى مجال فسيولوجيا الرياضة التخصصية.

فشخص الدكتور/ محمد على القط جدير بالاحترام، فهو أحد الأساتذة الأفاضل الذين يتمتعون بالخلق والتواضع والعلم، فمنذ عرفته من خمسة وعشرون عاماً وأكثر، وأرى فيه نموذجاً طيباً يحتذى به الباحثون والمدربون، فقد كان جاداً ودؤوب ويسعى وراء المعرفة، حتى أصبح الآن فى رأينا فى مجال تخصصه عالماً نعتز به، ويحق لأهل التربية الرياضية أن يفخروا به.

ونحن فى المجال الطبى ينصب علمنا على معالجة المرضى لمحاولة العودة بالحالة الصحية إلى طبيعتها، وما من شئ يحافظ لنا على هذه الصحة ويبقيها فى أفضل صورها إلا الرياضة التى تقوى الأجسام وتحسن من وظائف أعضائها وتجعلها تقاوم المرض، وبالتالى تقل الحاجة إلى الطبيب، فالرياضة هى الآلاء التى تزين تاج الصحة، فما بالنا برياضة السباحة ... !!

إن هذا الكتاب بما يحتويه من معارف ومعلومات عن الطاقة والاستجابات والتكيفات الفسيولوجية المصاحبة لرياضة السباحة وكذلك التغذية لما لها من دور فعال ومساهمة جيدة فى الارتقاء بالمستويات الرقمية فى ظل التخطيط الجيد لبرامج التدريب، سيكون بإذن الله تعالى إضافة للمكتبة المصرية والعربية فى مجال التربية البدنية والرياضة، وتمنياتى لشخص كاتبه التوفيق والسداد فى ظل رعاية الله ... ،

والله الموفق،

أ.د/ عصام الدين محمد نور الدين
أستاذ الكيمياء الحيوية الطبية ووكيل
كلية الطب لشئون الدراسات العليا
والبحوث - جامعة الزقازيق

obeikandl.com

الإهداء

إلى .....

أسرتى الصغيرة

زوجتى وهيثم وهشام

إلى .....

أسرتى الكبيرة

زملائى بكليات التربية الرياضية

ومدربى السباحة

إلى .....

سباحى مصر والوطن العربى

obeikandl.com

شكر وتقدير

الشكر لله سبحانه وتعالى أولاً وأخيراً على عونه وتوفيقه حتى يخرج هذا الكتاب بهذه الصورة إلى النور، ويكون بين يدى القارئ من باحثين ومدربين وسباحين وأولياء أمور.

والشكر لكل من أمدنى بالتشجيع من أساتذتى وزملائى ومدربى السباحة.

والشكر لأستاذى الفاضل الأستاذ الدكتور/ **حسين احمد حشمت** على تفضله بمراجعة هذا الكتاب قبل طبعه، ولما أعطانى من وقته وفكره.

والشكر لصديقى العزيز الأستاذ الدكتور/ **عصام الدين محمد نور الدين** وكيل كلية الطب، على قبوله تقديم هذا الكتاب، وعلى تشجيعه الدائم لىّ.

أما التقدير ... فلكل من تعلمت على يديه حرفاً أو قرأت له مرجعاً أو سمعت منه رأياً علمياً سديداً.

لكل هؤلاء الدعاء، وجزاهم الله عنى خير الجزاء .....،

أ.د/ محمد على القط

obeikandi.com

الفصل الأول

الطـــاقة والأداء فى السباحـــة

Energy & Swimming Performance

obeikandl.com

obeikandl.com

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.

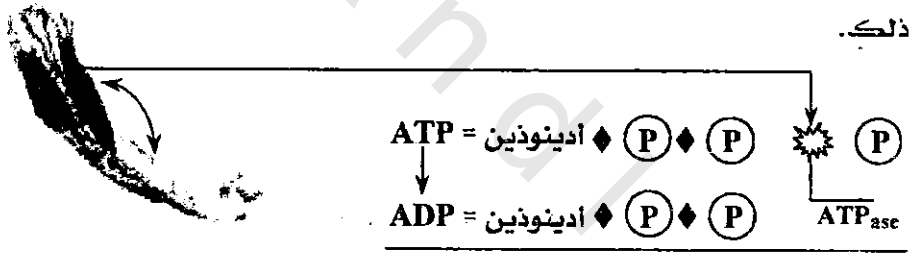
١) ثلاثى فوسفات الأدينوزين:

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

ATP = Adenosine ♦ Ⓟ ♦ Ⓟ Ⓟ

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 جزيء فوسفات بعيداً عن مركب الـ ATP، وفى هذه الحالة تتحرر الطاقة ويتكون ثنائى فوسفات الأدينوذين ADP، وهو ذو جزئيين من الفوسفات وجزيء الإدينوزين. والشكل التالى يوضح ذلك.



♦ = رمز الطاقة

✵ = رمز الإنزيم

شكل (١) يوضح انقسام الطاقة وجزئ 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 وهى التى تعيد تكوينها مباشرة، وإلا 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 أخر 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.

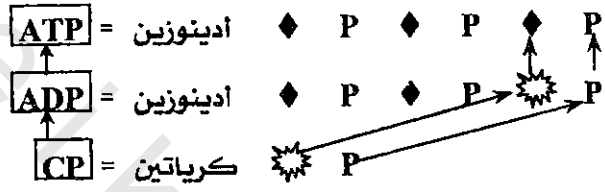
وتعمل الأنزيمات على تكسير هذه المواد مباشرة فى بداية التمرين حتى تستخدم طاقتها مباشرة فى إعادة دورة تكوين الـ ATP . وفيما يلى وصف دور كل من هذه المكونات الكيميائية فى إعادة تكوين دورة الـ ATP.

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 (ليننجر 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 أقصى 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.

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 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 أصطلح 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 أصطلح 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 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 إجمالى 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، فى حين أن هذه العملية من المحتمل أنها تَمِد 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 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 البطئ 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 ملي 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

اللازمـان لإعـادة تكويـن الـ ATP. فالـتراى جلسـرايد Triglycerides هـو الشـكل الـذى يخـزن بـه الدهـون بالجسـم، فـهو أولاً يتحـول إلى جلسـرايد Glycerol وثلاث جزيئات من الحمض الدهنى (الأحماض الدهنية الحرة FFA، وتسـمى هـذه العمليـة ليبوليسـيز Lipolysis (تحلـل الدهـون) قبـل أن تتحـرر الطاقة.

إن إنزيـم الليبـيز Lipase يحفـز Catalyze عمليـة التحويـل، وعندمـا يحدث التحول، فإن الدم ينقـل الجلسـرايد إلى الكبـد، حيـث يمكـن تحويلـه إلى جلوكوز وجليكوجين. وفى نفس الوقـت، فـإن الـدم ينقـل الأحمـاض الدهنيـة للألياف العضليـة العاملـة، حيـث يمكـن امتصاصـه Absorbed ونقلـة إلى الميتوكوندريـا. وبمجـرد وصولـه، فـإن الأحمـاض الدهنيـة التـى نقلـت إلى داخـل الميتوكوندريـا بمسـاعدة أنزيـم كـارنتين ترانسـفيراز (CT) Carnitinetrans ferase تعمـل على تحرر أجزاء من الكـربون أستيل Carbon acetyl فى عملية تسمى أكسدة بيتا Beta Oxidation ويتحـد الأستيل مـع إنزيم A Coenzyme (حـرف الـ A يرمـز إلى حامض الخليك Acetic Acid) ليكون أستيل كوانزيم A (أستيل Acetyl – Coenzyme, A (CoA فإنزيم أستيل COA هو الذى يحفز تركيب عملية اتحاد الاستيل مـع الكوانزيم A وعندئذ يدخـل الاسـتيل CoA إلى دورة كريـس، حيـث يمكنـه أن يسـاهم فـى اسـتعادة دورة الـ ATP بنفـس الطريقـة التـى حدثـت للجليكوجـين. وبمجـرد دخولـه دورة كريـس، فـإن كـل جـزيء مـن الحمـض الدهنـى يمكنـه أن يكـون ١٤٧ جزيء من الـ ATP (**مك اردل، 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 بـالنصف الأخـر، فالألياف العضليـة البطيئـة هـى أفضـل مـا يلائـم لتمثيـل الدهون بالمقارنة بالألياف السريعة ، لأن الألياف البطيئة تحتوى على مزيد من الدهـن المخـزون فيـها، ولديـها مخـزون دم أكـبر، ويمكنـها نقـل دهـون إضافيـة

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 أن تمثيل الدهون يمد بـ ٣٠٪ - ٥٠٪ من إجمالى الطاقة المستخدمة أثناء التدريب الذى يستمر لمدة ساعتين (تدريب تحمل) (**البورج، هاجنفيلدر، وارين** 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 أن 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 أستيل كولين (CoA) لدرجة أنها يمكنها أن تدخل دورة كريبس 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 كريبس ونتيجة أنها عملية بطيئة إلى حد بعيد، فإن تمثيل البروتين لا يساهم بأى مقادير أساسية للطاقة أثناء المنافسات، ولكنها تساهم وفقاً لما ذكره (**مك أردل ، 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 أما 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 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.

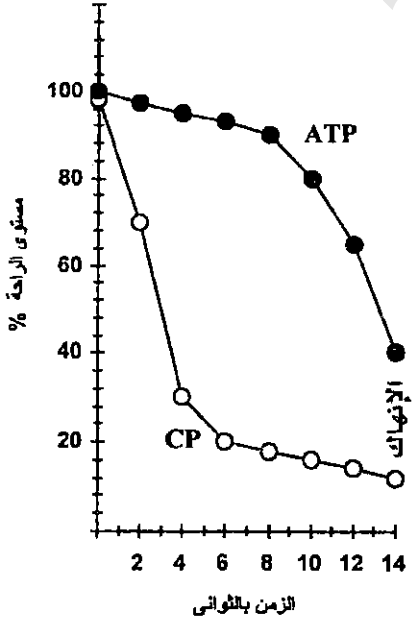
أ ـ نظام الـ ATP – CP

إن مرحلة الـ CP – ATP من عملية التمثيل تعرف بانها 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 CP – ATP 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 لل 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) أخرى 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 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 الجكلزة 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 موجسان 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 جريئات 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 كريبس.

٢- سلسلة الانتقال الإلكترونى.

فالبيروفك يتم تمثيله إلى ثانى أكسيد الكربون فى دورة كريبس، وأيونات الهيدوجين والكتروناته 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.

٣ـ 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 فى العضلات سيجعل الـ PH فيها أقل، وبالتالى فإن النقص فى 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 اللاهوائى تحدث بالتزامن Concurrently مع عملية تكسير الـCP ، حتى أن حمض اللاكتيك يبدأ فى الظهور منذ الثوانى الأولى من التمرين. فتظهر زيادة حمض اللاكتيك فى العضلات والدم لدى الأفراد خلال ثانيتن بعد بداية التمرين (مارجريا، سريتلى، مانجيل MaRGARIA, CERRETELLI & MENGILL) وإنتاج هذه المادة تقدر بـ ٥٠٪ تقريباً من الطاقة المتحررة لاستعادة تكوين الـ ATP خلال ثانيتين بعد بداية التمرين الرياضى (هولتمان، سجوهولم ١٩٨٦م HULTMAN & SJOHOLM).

أ ـ العوامل المؤثرة فى معدل تراكم حمض اللاكتيك:

Factors that Affect the Rate of Lactic Acid Accumulation

إن مقدار حمض اللاكتيك الذى يتراكم فى العضلات يتحدد وفقاً للتوازن بين معدل إنتاج اللاكتيك ومعدل انتقاله. وهذين المعدلين يكونا فى 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 لاكتيك إضافى سوف يتراكم فى الألياف العضلية. ويعتمد معدل حمض اللاكتيك الناتج فى الألياف العضلية على ما يلى:

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. وأعتقد 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 فى تلك العضلات أو يعادل بدرجة كبيرة ما يمكن أن يحدثه استهلاك الأكسجين من نقص فى تقليل معدل تراكمه فى 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 فى 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 (بونين، باكر، هاتا ١٩٩٧م).

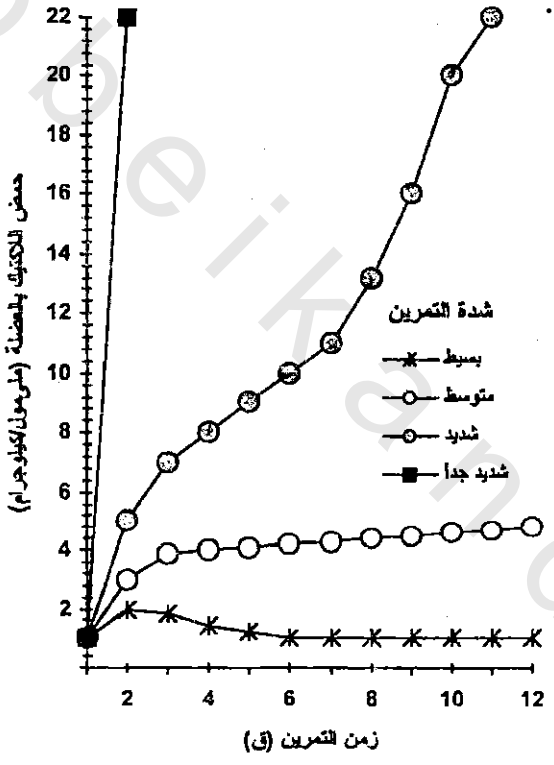
وعلى الرغم من حقيقة أن آلية استهلاك الأكسجين والتخلص من حمض اللاكتيك يقلل من معدل تراكم حمض اللاكتيك، فإن معدل إنتاجه سوف يظل أعلى من المعدل المحدد أثناء التمرين الشديد. ولكن هناك مقدار ضئيل من حمض اللاكتيك سوف يتحول مرة أخرى إلى حمض بيروفيك وأيونات هيدروجين أثناء فترة الاستشفاء التى تلى التمرين مباشر. وهناك يمكن تمثيله هوائياً إلى ثانى أكسيد الكربون وماء 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 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 آلم 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 انهم 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 أيضاً 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 خطأً 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.

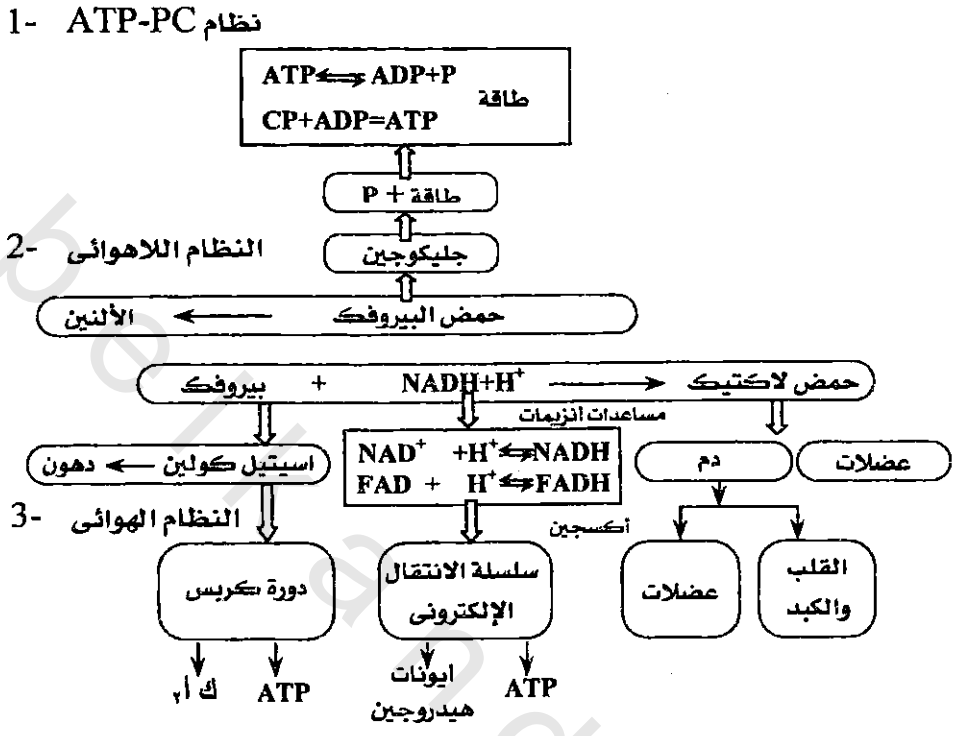
٥- زيادة الألم.

٣- ملخص تمثيل الطاقة: Energy Metabolism Summarized

الشكل التالى يوضح ثلاثة أنظمة لتمثيل الطاقة، والتى تحدث فى كل ليفة عضلية عاملة، فالعمليات اللاهوائية تحدث فى البروتوبلازم بالخلايا العضلية، أما التمثيل الهوائى فيحدث فى ميتوكوندريا تلك الخلايا.

فنظام الـ CP – ATP المبين فى الجزء العلوى 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 فى برتوبلازم الليفة العضلية – النظام اللاهوائى – ومع تحرر ذرات الهيدروجين، فإن بعض منها يتحد مع NAD^+ (وهو عامل مساعد للإنزيم) لتكوين الـ NADH (وهو مساعد انزيم) وايونات الهيدروجين (H^+).

والنظام الهوائى – الذى يوضحه الجزء السفلى من الشكل، فإن البيروفك سوف يدخل إلى الميتوكوندريا داخل الألياف العضلية ومنها إلى دورة كريبس، حيث يتم تمثيله إلى ثانى أكسيد الكربون. وفى داخل الميتوكوندريا، فإن الـ NADH ومساعد الأنزيم (FADH2) سوف ينقلا إلى داخل سلسلة التبادل الالكترونى حيث تستخدم ذرات الهيدروجين فى تكوين الماء.ففى هذه العملية، فإن الطاقة الموجودة فى الكترونات هذه الذرات الهيدروجينية، سوف تستخدم فى استعادة تكوين الـ ATP من الـ ADP.



شكل (٥) شكل تخطيطى لتمثيل الطاقة

يوضح الشكل رقم (٥) مراحل انظمة ATP-CP، اللاهوائى، الهوائى التى سوف تستخدم فى 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 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 أو 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 أن 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.

١ـ 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 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 فى وقت واحد عندما يبدأ الفرد الرياضى السباق أو 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	–
٣٠: ١ -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 الأطوال 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 CP -ATP والتمثيل اللاهوائى يمدا 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.

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 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 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 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 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 أداء 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 المّد 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 ادائها ساعة او اكثر (**هوستون** ١٩٧٨م HOUSTON)، (**بيلتز وآخرون** ١٩٨٨م BELTZ, et al). ويؤكد **كوستل وآخرون** ١٩٨٨م أن الدليل الحاسم Conclusive إن الأيام المتتابعة من

التدريب الشديد تسبب فى الغالب النضوب الكامل لهذه المادة، حتى لو تم التزود بالقدر الكافى 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 فى شكل مجموعات (٦ مجموعات أو أكثر). قد تكون حلاً وسطاً وأكثر مناسبة لذلك ويمكن للسباحين تطبيقها.

وتظهر علامات التعب فى معاناة السباحين من نضوب جليكوجين العضلة الذى 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 يؤدى 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 فى 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.

obeikandl.com

الفصل الثاني

التأثيرات الفسيولوجية للتدريب الرياضى

Physiological Effects of Training

obeikandl.com

obeikandl.com

الفصل الثاني

التأثيرات الفسيولوجية للتدريب الرياضى

Physiological Effects of Training

للتدريب الرياضى تأثيراً على الأجهزة الفسيولوجية بجسم الإنسان، حيث يجعل أداء هذه الأجهزة أعلى من المستوى الطبيعى فى حالة الراحة. وهذه التغيرات التى تحدث نتيجة التدريب تسمح لهذه الأجهزة بأداء وظائفها بكفاءة وفعالية أثناء المنافسات الرياضية. وتنحصر الأغراض الرئيسية المراد تحقيقها من التدريب فيما يلى:-

١- زيادة معدلات الطاقة المتحررة أثناء السباقات.

٢- تأخير التعب الناتج عن أداء التدريب.

وكما ذكرنا من قبل، أن معدل الطاقة المتحررة وحدوث التعب Occurrence of Fatigue يرتبطا بعمليات تمثيل هوائية ولاهوائية معقدة تحدث داخل ألياف عضلية محددة، كما يرتبطان أيضاً بعمل العديد من الأجهزة الفسيولوجية الأخرى بالجسم، مثل الجهاز التنفسى والجهاز الدورى والجهاز العصبى والجهاز الغددى (جهاز الغدد الصماء).

ولاشك أن عملية التدريب معقدة، فالتدريب اليومى سواء أكان بسيطاً أو شديداً فلن يُحَسّن عمل كل الأجهزة الفسيولوجية بالجسم أو كل نظم الطاقة بشكل متساوى. فدرجة التحسن تختلف من جهاز إلى آخر ومن نظام طاقة إلى آخر وفقاً لمحتوى التدريب وفترة دوامة وشدته وحجمه .... الخ. ولذا يجب العناية التامة بتخطيط التدريب وإجراءات تنفيذه.

كما يجب على المدربون أن يكون لهم هدف محدد فى أذهانهم عند وضع كل مجموعة تكرارية داخل برنامج التدريب، ومعرفة تأثير هذه المجموعات على كل جهاز فسيولوجى بالجسم. وسنتناول فيما يلى وصف

وشرح تأثيرات الأشكال المختلفة من التدريب على الأجهزة الفسيولوجية المختلفة.

١ـ تدريب نظام ثلاثى فوسفات الأدينوزين والفوسفوكرياتين:

Training the ATP-CP System

تأتى الطاقة اللازمة للانقباض العضلى من الـ ATP،حيث أنه هو المركب الكيميائى الوحيد المخزون فى العضلات والذى يمكن أن يمدها بالطاقة. والغرض الرئيسى لكل المراحل الأخرى للتمثيل الغذائى للطاقة هو إعادة تحرر الطاقة فى شكل الـ ATP حتى يمكن للانقباض العضلى أن يستمر. فهذا النظام من الطاقة (ATP-CP) يمكنه المّد بالطاقة اللازمة للانقباض العضلى بسرعة أكبر بالمقارنة بأى مرحلة أخرى من مراحل تمثيل الطاقة، ولكن لفترة قصيرة ما بين ٤-٦ ثوان فقط. ويتوقف تنظيم عملية تحرر الطاقة من خلال هذا النظام على نشاط الإنزيمات المحفزة Catalyze للتفاعلات المختلفة لهذا النظام. وهذه الإنزيمات هى أنزيم الـATPase والكرياتين فوسفوكينيز (CPK).

إن زيادة نشاط هذه الإنزيمات ، بالإضافة إلى زيادة مخزون العضلات من الـ ATP-CP يُزيد من قدرة الفرد الرياضى على المحافظة على السرعة القصوى التى يؤديها لفترة زمنية أطول، ومن ثَمّ تحسن أدائه. ويشير العديد من الخبراء إلى أن هذا النظام يفيد فقط فى سباقات الـ ٢٥م، ٥٠م، وأنه من المحتمل ألا يُزيد التدريب من نشاط هذه الإنزيمات بشكل كبير نتيجة أن المعدل الطبيعى لنشاطها يكفى للاستجابة للمسافات التى تستمر لثوانى قليلة.

ويفيد هذا النظام كثيراً فى المّد بالطاقة لحركات القوة الانفجارية (القوة اللحظية القصوى) مثل الدفع بالرجلين فى البدء فى السباحة وفى الدوران كذلك. ومن الصعب أن نرجع أداء السباحة التنافسية إلى هذا النظام حيث أن معدلات إنتاجه الطبيعية من عملية تمثيله قد تكون غير كافية لأداء السباح السرعة القصوى والتى تعتمد فى تحسنها على:-

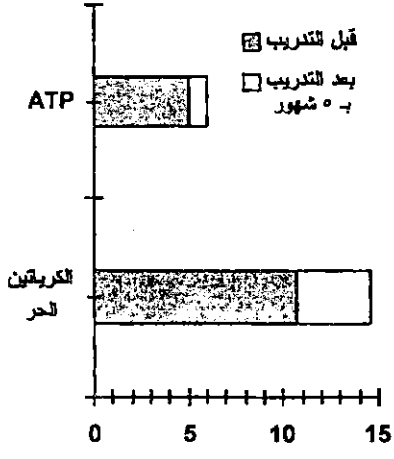
١- التكنيك الجيد لأداء طرق السباحة المختلفة.

٢- زيادة حجم وقوة الألياف العضلية للمجموعات العضلية الخاصة (العاملة فى الرياضة الخاصة بكل فرد رياضى) حتى يمكنها توليد قوة أكبر.

٣- تحسين معدل وشكل الليفة العضلية المجندة للعمل عن طريق الجهاز العصبى.

بمعنى آخر، فإن تنمية قوة العضلة وألياف الجهاز العصبى المجندة للعمل قد تفيد فى أداء السرعة القصوى للسباح بدرجة أكبر من زيادة نشاط الإنزيمات التى تنظيم عمل نظام الطاقة الـ ATP-CP . كما أن زيادة المخزون من الـ ATP-CP فى الألياف العضلية يعطى مؤشراً عن تأثير التدريب وأن هذا المخزون قد يزيد من سرعة السباحة. كما أن زيادة المعدل الأقصى من ناتج عملية استعادة دورة الـ ATP قد تعطى ثوان إضافية قليلة لأداء السباح عند السرعة القصوى مما يساعد السباح فى المحافظة على سرعته السريعة لفترة زمنية أطول قليلاً. وتشير الدراسات العلمية أن التدريب يؤدى إلى زيادة المخزون من الـ ATPبنسبة ١٨٪، الـ CP بنسبة ٣٥٪ (**ماك دوجال وآخرون** ١٩٧٧م MAC DOUGALL, et al.) والشكل التالى يوضح نتائج هذه الدراسة.

وقد يلجأ بعض الرياضيون – إلى جانب التدريب – إلى إضافة كرياتين الفوسفات إلى غذائهم بهدف زيادته فى عضلاتهم، وهذا ما يعرف بحمل الكرياتين Creatine loading. وهذا الأجراء يزيد من الكرياتين الحر داخل الألياف العضلية بنفس المقدار الذى يحدثه التدريب وهو ٢٠٪ (**هو لتمان وآخرون** ١٩٩٦م HULTMAN,et al) ولكن نتائج الدراسات العديدة التى تمت حتى الان حول استخدام حمل الكرياتين



شكل (٦) تأثير التدريب على تركيز الـ ATP-CP للألياف العضلية البشرية.

ودورة فى تحسن الأداء أشارت إلى عدم وجود تحسن (**سودر لوند ، أكلبلوم** ١٩٩٤م SODER LUND & EKBLOM)، (**جرنيهاف ١٩٩٥م** GREENHAFF)، (**موجان** ١٩٩٥م MOUGHAN)، (**ميوجيكا وآخرون ١٩٩٦م**., MUJIKA, et al).

ويرجع العلماء الذين أيدوا أن زيادة الـ CP – ATP فى العضلة لم تُظهر تحسناً فى الأداء فى سباقات السباحة إلى :-

١- طول مسافة السباق.

٢- عدم كفاية مقدار الزيادة الناتج من الـ ATP- CP.

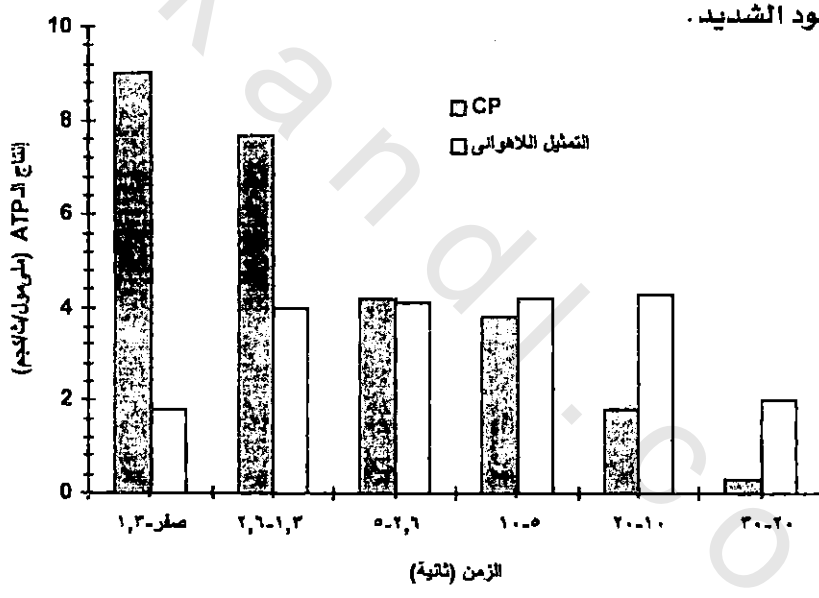
هذا بالإضافة إلى أن الزيادات التى تحققت بنسبة ١٨ ٪ للـ ATP، ٢٠٪ - ٣٥٪ للـ CP تعادل فعليا النسبة المئوية التى يمكن أن يحققها التدريب. وبالتالى فإن تأثيرها سيكون ثانويا بالمقارنة بما يحققه التدريب. ويشير **ماجلشو** ٢٠٠٣م أن الزيادة فى مد الألياف العضلية بالـ ATP بحوالى واحد ملى مول/كيلو جرام والتزود بـ ٣ ملى مول / كيلو جرام من الـ CP قد تساعد السباحون على المحافظة على السرعة القصوى لمدة ١-٢ث إضافية، حيث يمكن ترجمتها إلى تحسن قدرة السباحين بمقدار ٠,١٠-٠,٢٠ث فى سباق الـ ٢٥م، ٥٠م. ومثل هذا التحسن وفى تلك الحدود، فإن السباح يمكنه تحقيقها بزيادة القدرة العضلية وزيادة معدل التمثيل اللاهوائى للطاقة وتحسين الأداء الميكانيكى لطرق السباحة المختلفة.

كما أن الزيادة فى الـ ATP-CP بالعضلات قد لا يفيد كثيرا فى تحقيق تحسن ملحوظ فى السباقات الأطول حيث تكون سرعة السباح فى الجزء الأول من السباق أقل من السرعة القصوى إلى حد ما، لذا فالأفضل للسباحين أن يؤدوا تدريبات الأداء Drills التى تحسن القوة العضلية والقدرة على أداء طرق السباحة المختلفة، وبالتالى فإن الـ ATP-CP بالعضلات العاملة سوف يزيد كناتج للتدريب والذى يجب أن يتم على الأرض، كما أن تدريب السرعة داخل الماء يلعب الدور الرئيسى فى تحقيق ذلك، لأن قدرة أداء

السباحات المختلفة سوف تتحسن فقط فى حالة تجنيد الليفة العضلية الخاصة التى تعمل فى الاتجاه الصحيح للأداء (سال ١٩٨٦م SALE).

٢ـ تدريب التمثيل اللاهوائى: Training Anaerobic Metabolism

خلال الـ ٥-٦ ثوان الأولى من سباق السباحين، فإن التكسير اللاهوائى لجليكوجين العضلة يمثل نصف الطاقة الناتجة لاستعادة تكون الـ ATP-CP تقريبا. ومع ذلك، فإن درجة الزيادة فى عملية التمثيل اللاهوائى بالعضلات لن تصل لأكبر مقدار لها من الطاقة اللازمة لأداء السرعة خلال ١٠ – ١٥ ث بعد بداية السباق (سيرس وآخرون ١٩٨٨م SERRESSE, et al.). والشكل التالى يوضح مساهمات الـ CP والجلكزة اللاهوائية لاستعادة تكوين الـ ATP خلال ٣٠ث من المجهود الشديد.



شكل (٧) مساهمات الفوسفوكرياتين والتمثيل اللاهوائى لإستعادة تكوين الـ ATP أثناء ٣٠ث من التمرين.

يلاحظ أن معظم الطاقة اللازمة للانقباض العضلى كانت من الـ CP أثناء الـ ٢,٦ث الأولى، وأن الجلكزة اللاهوائية تمد بالطاقة من الثانية الأولى من بداية المجهود. ووفقا لذلك، فإن حمض اللاكتيك سوف ينتج حتى أثناء هذه

المرحلة المبكرة من أداء المجهود . فمن ٢.٦ - ١٠ث الأولى، فإن الطاقة اللازمة لاستعادة تكوين الـ ATP والتى يساهم فيها الـ CP والجلكزة اللاهوائية ستكون متعادلة تقريبا، وبعد أن تصبح عملية الجلكزة اللاهوائية هى المساهم الرئيسى فى المد بالطاقة لاستعادة الـ ATP أثناء الـ ٢٠ث الأخيرة من المجهود. فمساهمة الـ CP سوف تقل إلى حد بعيد أثناء الفترة من ١٠-٢٠ث الأولى من الأداء.

وكما ذكرنا من قبل، فإن عملية إعادة تكوين الـ ATP من عملية الجلكزة اللاهوائية ستكون أبطء من العملية المرتبطة بالـ CP لأن هذه العملية عبارة عن إحدى عشر خطوة بالمقارنة بعملية الـ CP التى تشمل خطوة واحدة. ووفقا لذلك، فإن قدرة السباح على أداء السباحة السريعة ستقل لبعض الوقت بعد الثوانى القليلة الأولى من السباق بمقدار ١٠٪ تقريبا بعد الـ ٤-٦ ثوان الأولى من المجهود نتيجة النضوب الجزئى للـ CP الموجود بالعضلة وتصبح الجلكزة اللاهوائية هى المصدر الرئيسى للطاقة لاستعادة تكوين الـ ATP (**نيوشولم وآخرون** ١٩٩٢م NEWSHOLME, et al.) ولهذا السبب فإن معدل الجلكزة اللاهوائية ستؤثر بشكل أكبر من نظام الـ CP - ATP على أداء السباحين.

ويحدث التدريب زيادة فى كلا من كمية ونشاط العديد من الإنزيمات الخاصة بعملية الجلكزة اللاهوائية (**كوستل، فينك، بولوك** ١٩٧٦م COSTILL, FINK & POLLOK)، (**جاكويز وآخرون** ١٩٨٧م JACOBS, et al.). والسرعة هى التى تعبر بوضوح شديد عن زيادة فى الإنزيمات اللاهوائية، بينما تدريب التحمل يتجه نحو تقليل كميتها ومعدل نشاطها، وعموما، فإن التدريب يحدث زيادة فى الإنزيمات اللاهوائية ولكن ليس بنفس القدر الذى قررته الدراسات فى الإنزيمات المرتبطة بعملية التمثيل الهوائى، حيث قررت هذه الدراسات أن الزيادة فى الإنزيمات اللاهوائية تنحصر ما بين ٢٪ - ٢٢٪.

وكما ذكرنا من قبل، فإن تدريب التحمل يكبت Suppress نشاط معظم الإنزيمات اللاهوائية. ويشير كلا من **بالدوين وآخرون** ١٩٧٣م

BOLDWIN, et al. ، هولوسوزى ١٩٧٣م HOLLOSZY، سجودين،جاكوبز ١٩٨١م SJODIN & JACOBS . إن العقبة الرئيسية لزيادة كمية الإنزيمات اللاهوائية هو تدريب التحمل الذى يؤديه السباحون، وأن العلاقة بين تدريب التحمل وتدريب السرعة الفائقة علاقة عكسية لأن تدريب التحمل يقلل من معدل التمثيل اللاهوائى.

ويعتقد بعض الخبراء أن معدل التمثيل اللاهوائى يكون غالبا سريع عندما يكون الفرد الرياضى غير مدرب. ويذكرون أن هناك دليل يشير إلى حقيقة أن العديد من السباحين لديهم القدرة على تحقيق أفضل أداء لسرعتهم بعد فترة طويلة من التوقف Long Layoff.

أن المشكلة التى يواجها معظم السباحين هى أنهم يجب أن ينمى لديهم كلا من التحمل والسرعة وذلك للارتقاء بأدائهم فى معظم سباقات السباحة. ولكن من المفضل أن يؤدوا مقدار أكبر من تدريب التحمل، لأن ذلك هو الأمثل حتى يستطيعوا المحافظة على قدرتهم الطبيعية لاستعادة تكوين الـATP بسرعة خلال عملية التمثيل اللاهوائى. ولمزيد من الإيضاح، فإن معدلات الانقباض العضلى والتمثيل اللاهوائى للطاقة يقل خلال معظم مراحل الموسم التدريبى نتيجة المقادير الكبيرة من تدريب التحمل الذى يؤدونه، ثم يتجهون إلى استرداد سرعتهم خلال فترة التهدئة Taper. ومع ذلك، فعندما يكون فقد السرعة شديد والتهدئة قد لا تكون طويلة بالقدر الكافى، فإن السرعة لن تعود إلى مستوياتها الطبيعية. هذا لاشك، ينطبق بشكل كبير على سباحى السرعة حيث أنهم لن يستطيعوا الأداء الجيد إذا لم يستطيعوا استرداد سرعتهم السريعة (السرعة القصوى)، بينما سباحى المسافة المتوسطة والمسافة قد تكون لديهم القدرة على الأداء الجيد على الرغم من فقد سرعتهم السريعة (الفائقة) إذا ما حققوا تحسنا ملحوظا فى مستوى التحمل.

ويجب أن نضع فى الاعتبار أن سباحى السرعة يمكن أن يجعلوا تدريبهم أكثر تأثيرا إذا ما ركزوا على تحقيق المزيد من التحسن فى معدلات

انقباض العضلات والتمثيل اللاهوائى للطاقة وتحقيق تحسنا جزئيا فى التحمل الهوائى، (**كوننجهام، فولكنر** CUNNINGHAM & FAULKNER)، (**كارلسون وآخرون** ١٩٧٢م .KARLSSON, et al)، (**سالتين وآخرون** ١٩٧٦م).

وقد قرر **أولبرشت** ٢٠٠٠م OLBRECHT وجود زيادة فى القدرة اللاهوائية الطبيعية للرياضيين البالغين، وأن حدوث ذلك يتطلب ما بين ١-٢ سنة من التدريب التخصصى فى برامج منتظمة.

٣ـ تأثير التدريب فى تأخير ظهور الحمضية :

Effect of Training to Delay Acidosis

يتم تأخير الحمضية خلال السباقات أو التدريب لدى السباحين بثلاث طرق رئيسية هى:

١- تقليل معدل إنتاج حمض اللاكتيك.

٢- انتقال حمض اللاكتيك من الليفة العضلية العاملة.

٣- أو زيادة نشاط المنظمات المرتبطة بحمض اللاكتيك.

بالإضافة إلى زيادة تحمل الفرد الرياضى للألم الناتج عن الحمضية.

إن أول تأثيرات التدريب هذه يمكن أن تتم عن طريق تحسين عملية التمثيل الهوائى، مما يجعل مزيد من حمض البيروفيك وأيونات الهيدروجين الناتج أثناء عملية التمثيل اللاهوائى يمثل تمثيلا هوائيا، وبالتالى تقل الكمية المنتجة من حمض اللاكتيك فى العضلات عند أى سرعة سباحة. وثانيها يرتبط ببعض حمض اللاكتيك الذى نتج أثناء السباقات أو التدريب، حيث ينقل من ألياف العضلات العاملة إلى مناطق أخرى من الجسم، مما يقلل من تأثير حمض اللاكتيك على الأداء، والإجراء الثالث يرتبط بالمنظمات الكيميائية Buffers، فحمض اللاكتيك الذى يتبقى فى العضلات أثناء المجهود الشديد والذى يحتوى على أيونات الهيدروجين تؤثر عليها المنظمات وتجعلها لا تقلل من مستوى الـ PH العضلات بسرعة. فهذه التأثيرات التدريبية

الثلاثة يمكنها فقط تأخير معدلات الحمضية Acidosis ولاشك أن هذه الحمضية تسبب الألم عند حدوثها فى السباقات. فتحسن تحمل الفرد الرياضى لهذا الألم يجعله قادرا على المحافظة على سرعته السريعة لفترة زمنية أطول قليلا على الرغم من تلك التأثيرات. ونتناول هذه التأثيرات التدريبية الثلاث بالتفصيل فيما يلى.

أولا: تقليل معدل إنتاج حمض اللاكتيك:

Reducing the Rate of Lactic Acid.

كما ذكرنا من قبل، فإن البيروفيك وهو الناتج النهائى لعملية التمثيل اللاهوائى يتحد مع أيونات الهيدروجين لتكوين حمض اللاكتيك ما لم يتحول كلا من البيروفيك وأيونات الهيدروجين إلى مركبات أخرى خلال عملية التمثيل الهوائى. إن ظهور هاتين المادتين (المركبين) يعتمد على سرعة السباح. فالسرعات السريعة تتطلب معدلات أسرع لعملية التمثيل اللاهوائى حتى يمكن أن تظل عملية التزود بالـ ATP ثابتة، لذا فإن معدلات إنتاج البيروفيك وأيونات الهيدروجين سوف ترتبط مباشرة بسرعة سباحة الفرد الرياضى، وفى نفس الوقت، فإن نقص مقادير هاتين المادتين اللتين اتحدتا لتكوين حمض اللاكتيك يعتمد على السرعة حيث مثلتا لاهوائيا. مرة أخرى، فإن هذه السرعة تعتمد على الأكسجين الذى تزود به العضلات. ووفقا لذلك، فإن معظم التكيفات التدريبية التى تقلل من معدل إنتاج حمض اللاكتيك فى الألياف العضلية لا شك أنها تساعد فى زيادة المد بالأكسجين للألياف العضلية العاملة. ومع ذلك، فإن الزيادة فى مستوى الحد الأقصى لاستهلاك الأكسجين (Vo_2max) يتحقق بالتدريب. ونظرا لأن استهلاك الأكسجين يلعب دورا كبيرا فى تقليل معدلات إنتاج حمض اللاكتيك، فسوف نناقش تأثيراته الدالة على الأداء فيما يلى:

تنمية استهلاك الأكسجين: Improving Oxygen Consumption.

تشير الدلائل الناتجة من الدراسات العلمية إلى وجود علاقات دالة بين الـ Vo_2max ومستوى الأداء فى السباقات التى تنحصر ما بين ١٠٠م- ١٥٠٠م، فالتدريب يؤدى إلى زيادة الـ Vo_2max بنسبة ٢٠٪ - ٣٠٪ خلال برنامج تدريبى لمدة من ٨-١٠ أسابيع، ومن ٤٠٪ - ٥٠٪ خلال من ١-٤ سنوات. والتدريب أيضا يقلل من زمن الاستجابة لاستهلاك الأكسجين (**جرين** ١٩٩٦م GREEN) .وبمعنى أخر، أن الرياضيون يمكنهم زيادة استهلاك الأكسجين من الراحة إلى أقصى مستوى خلال فترة زمنية أقصر.

وتقسم تأثيرات التدريب التى تزيد عملية التزود بالأكسجين أثناء التمرين الرياضى إلى فئتين هما:

١- التأثيرات التى تزيد الأكسجين المتحرر إلى العضلات.

٢- التأثيرات التى تزيد الأكسجين الذى تستهلكه العضلات.

أما بخصوص التأثيرات التدريبية التى تحدث التكيفات التى تزيد معدل وحجم الأكسجين المتحرر للعضلات نذكرها فيما يلى:

١ـ الزيادة في معدل انتشار الأكسجين الرئوى داخل مجرى الدم.

فالتدريب يزيد من حجم الهواء وبالتالى حجم الأكسجين الذى يحصل عليه الجسم فى كل دقيقة من التمرين. وجزء من هذا الأكسجين ينتشر من الرئتين ليدخل مجرى الدم، حيث يحمل إلى القلب ثم يدفع إلى العضلات.

٢ـ زيادة الحجم الكلي من الدم في الجسم.

وهذه الزيادة فى حجم الدم تقلل كثافة الدم للدرجة التى تسمح له بالتدفق بصورة أسرع من القلب إلى العضلات.

٣ـ الزيادة في عدد خلايا الدم الحمراء.

إن الأكسجين الموجود بالدم يتحد مع الحديد الموجود في المركب البروتيني الذي يسمى الهيموجلوبين، حيث يكون المكون الخلوي Cellular Component لهذا السائل. كما أن زيادة الهيموجلوبين سوف تسمح للدم لنقل المزيد من الأكسجين.

٤ـ زيادة الدفع القلبي.

" يعرف الدفع القلب بأنه حجم الدم المدفوع من القلب في الدقيق"، فعند زيادة الدم المدفوع، فإن كل خلية دم حمراء يمكن أن تزيد سرعة رحلتها بدء من الرئتين. حيث أنها تزيد مقدار الأكسجين الواصل للعضلات، وبالتالي، فكلما زاد الدم المدفوع بما يحتويه من خلايا دم حمراء تحمل الأكسجين، فإن الحجم الكلي للاكسجين الواصل للعضلات سوف يزيد أثناء كل دقيقة من التمرين، فالزيادة في الدفع القلبي تقدر بـ ٥٠٪ تقريبا من الزيادة في الـ VO2max التي يحققها التدريب (هولوسزي، بوث ١٩٧٦م HOLLOSZY & BOOTH) والـ ٥٠٪ الأخرى تأتي من التحسن في الاستهلاك الذي تقوم به الألياف العضلية العاملة.

٥ـ زيادة الشعيرات الدموية المحيطة بكل ليفه عضلية.

ينقل مجرى الدم الأكسجين من الرئتين من خلال الجانب الأيسر من القلب، ثم يدفعة إلى الألياف العضلية في الأوردة والشرايين والشرينات Veins, Arteries, Arterioles وأخيرا إلى الشعيرات الدموية Capillaries حيث ينتشر داخل الألياف العضلية المحيطة بها. فالزيادة في عدد تلك الشعيرات سوف يزيد الأكسجين فيها، وبالتالي تنتشر كمية أكبر من الأكسجين داخل الألياف العضلية.

٦ـ التحسن في الدم المحمول إلى العضلات العاملة.

إن الجسم البشري يحتوى على ٥ لتر دم تقريبا، ويوزع بالتساوى على جميع أجزاء الجسم خلال فترات الراحة بينما خلال بذل الجهد أو التمرين

الرياضى، فإن الأوعية الدموية Blood Vessels الخاصة بالعضلات العاملة تتمدد Dilate، بينما تتقلص الأوعية الدموية الخاصة بالعضلات الغير عاملة، مما يؤدى إلى زيادة مقدار الدم الإجمالى المنقول بشكل مباشر إلى الألياف العضلية العاملة، مما يؤدى إلى زيادة كمية الأكسجين الواصلة لهذه الألياف العضلية العاملة.

وهناك العديد من تأثيرات التدريب التى تزيد من الأكسجين الذى تستفيد منه العضلات نذكرها فيما يلى:

أ- زيادة الميوجلوبين المخزون في الألياف العضلية.

فالأكسجين المنتشر داخل الألياف العضلية يحمله الميوجلوبين إلى الميتوكوندريا بهذه الألياف العضلية حيث يمكنه أن يساهم فى عملية التمثيل الهوائى للطاقة. ومع ذلك، فإن الزيادة فى ميوجلوبين العضلة يؤدى إلى زيادة الأكسجين المتوفر لعملية التمثيل الهوائى.

ب- زيادة حجم وعدد الميتوكوندريا.

إن عملية التمثيل الهوائى فى مجملها تحدث فى الميتوكوندريا، لذا فإن زيادة عددها وحجمها يزيد من قدرتها على امتصاص المزيد من الأكسجين وتوفيرة لعملية التمثيل الهوائى.

جـ- زيادة نشاط الإنزيمات التي تنظم عملية التمثيل الهوائي.

هناك عامل أخر يتحكم فى معدل التمثيل الهوائى- بجانب مقدار الأكسجين المتوفر- وهو نشاط العديد من الإنزيمات . ويؤدى تدريب التحمل إلى تحسن تركيزها ومعدلات نشاطها. ومع توفر الأكسجين الكافى وأن يكون PH العضلات قريب من المستوى الطبيعى، فإن الإنزيمات سوف تزيد من معدل التمثيل الهوائى مما قد يقلل من البيروفيك وذرات الهيدروجين والكتروناتها.

ويضيف **ماجلشو** ٢٠٠٣م أن هناك بعض التأثيرات الفسيولوجية الأخرى التى تحدثها طرق التدريب المختلفة نستعرضها فيما يلى:

أ) زيادة سعة (قدرة) الانتشار الرئوى:

Increasing Pulmonary Diffusing Capacity

يعرف الانتشار الرئوى بأنه "مقدار الأكسجين الذى ينتشر من الرئتين إلى مجرى الدم" وهذا الانتشار له غرضين هامين هما:

الأول: أنه يعوض الأكسجين الذى استنزف من خلايا الدم الحمراء أثناء رحلته حول الجسم.

الثانى: أنه ينتقل ثانى أكسيد الكربون من الدم.

فالانتشار الرئوى يزيد وبشكل مباشر ومتناسب طرديا مع شدة التمرين الرياضى، وخاصة خلال عملية التبادل بين الهواء المستنشق مع كل تنفس والهواء الغير نقى من الدم عند شدة المجهود المنخفض،وذلك عن طريق زيادة معدل الشهيق كلما زادت شدة التمرين. فالتدريب يزيد من المقدار الأقصى من الأكسجين الذى ينتشر من الرئتين إلى داخل مجرى الدم عن طريق زيادة كلا من المقدار الإجمالى من الهواء المستنشق إلى داخل الرئتين فى كل دقيقة ومقدار الأكسجين الخارج منها فى نفس الزمن.

فالأشخاص الغير مدربون يستبدلون ما بين ٨٠ – ١٤٠ لتر من الهواء كل دقيقة وفقا لحجم أجسامهم، فالأفراد الأكبر حجما يكون استبدال الهواء لديهم فى الدقيقة الواحدة أكبر بالمقارنة بالأشخاص ذوى الأجسام الأصغر نتيجة أن حجم الرئتين لديهم أكبر . والتدريب يزيد أقصى مقدار للهواء يمكن أن يستبدله الفرد فى كل دقيقة من التمرين الرياضى بما يعادل ٥٠٪. فالأفراد الرياضيون يمكنهم تنفس ما يزيد عن ١٨٠ لتر من الهواء فى الدقيقة، وقد حقق الكثير من الرياضيون المدربون جيدا تنفس حجم من الهواء يتخطى الـ ٢٤٠ لتر/ق (**ويلمور، كوستل** ١٩٩٩م).

ويفسر العلماء هذه الزيادة فى الحجم الأقصى من الهواء فى الدقيقة نتيجة زيادة كلا من حجم الهواء المستنشق مع كل تنفس وعدد مرات التنفس فى الدقيقة، وأن هذه الزيادة نتيجة تحسن فى قوة تحمل عضلات التنفس وعضلات ما بين الضلوع Intercostal Muscles الداخلية والخارجية.

أن حجم الأكسجين الذى ينتشر من الرئتين إلى مجرى الدم يعتمد بشكل كبير على عدد الحجيرات الهوائية فى الرئتين وعدد الشعيرات الدموية المحيطة بها. فالحجيرات عبارة عن أكياس صغيرة جدا Tiny sacs فى نهاية أنابيب شعبتى القصبة الهوائية Bronchial Tubes التى تمتلئ Fill بالهواء أثناء عملية الشهيق.

فالأكسجين الموجود فى الهواء بالرئتين ينتشر خارج هذه الأكياس ويدخل الشعيرات الدموية التى تحيط بها، والتى تنقلها إلى مجرى الدم ومنه إلى القلب. وفى المقابل، فإن ثانى أكسيد الكربون الناتج من عملية التمثيل الغذائى ينتشر أيضا من الشعيرات الدموية إلى داخل الحجيرات ومن ثم زفرة إلى خارج الجسم.

وإن عدد الحجيرات الهوائية فى الرئتين لدى الأشخاص العاديين الغير مدربون تكفى - بل تزيد عما هو مطلوب - لاستيعاب كل الهواء المستنشق. فمنطقة الخدمة التى تغطيها الحجيرات الهوائية ضخمة وقد تغطى ما يعادل نصف ملعب التنس الفردى (**بروكس ، فاهى** ١٩٨٧م BROOKS & FAHEY). ومن غير المستغرب أن التدريب الرياضى لا يسبب أى زيادة جوهرية فى تركيبه تلك الحجيرات، ولكن من المؤكد أنه يحسن من مطاطية جدار هذه الحجيرات حتى يمكنها أن تملئ وتفرغ Fill & Empty بسهولة أكثر.

ومن ناحية أخرى، فإن التدريب يُزيد من عدد الشعيرات الدموية التى تحيط بكل الحجيرات الهوائية، مما يزيد من الأكسجين المنتشر خارج هذه الحجيرات إلى مجرى الدم (**جنسين، فيشر** ١٩٧٥م JENSEN & FISHER) وعلى

الرغم من هذه الزيادة، فإن نتائج الدراسات تناقضت Contradictory حول تأثير التدريب على مقدار الأكسجين الذى ينتشر إلى خارج الحجيرات الهوائية ويدخل الدم أثناء التمرين.فقد قرر بعض الباحثون وجود زيادة (ماجل، أندرسون Magel & Anderson) ، والبعض الأخر قرر عدم وجود تغير (جيبنز وآخرون ١٩٧٢ GIBBINS, et al)، (هاجبرج، يارج، سيلز ١٩٨٨م HAGBERG, YARG & SEALS)، (ماهلر، موريتز، لوك ١٩٨٢م MAHLER, MORITZ & LOKE). وفى دراسة على السباحين أشار جيبنز وزملائه أن هناك تحسن فى عملية الانتشار الرئوى.

إن النتائج المتضاربة Contradictory Findings حول تأثير التدريب على القدرة القصوى للانتشار الرئوى شئ وارد نظراً لأن انتشار الأكسجين من الحجيرات الهوائية إلى الدم لا يبدو أنه يقيد قدرة الفرد الرياضى على مّد العضلات بالأكسجين. فمقدار الهيموجلوبين فى الدم هو الذى يحدد قدرة الدم على حمل الأكسجين والتى تبلغ ما بين ١٦-٢٤ ملليلتر أكسجين لكل ١٠٠ مليلتر من الدم. ووفقاً لذلك، فإن الأكسجين الداخل إلى الحجيرات الهوائية حتى لدى الأفراد الغير مدربين يكون أكثر من الذى دَخَلَ إلى الدم أثناء التمرين الرياضى. وقد أظهرت الدراسات أن الدم عندما يترك الرئتين يكون مشبعاً Saturated تماماً بالأكسجين وذلك أثناء أداء التدريبات الشاقة، وكما هو معروف، فإن نصف مقدار الأكسجين الموجود فى هواء الشهيق يخرج مع عملية الزفير ولا يدخل إلى الجهاز الدورى. ومع ذلك فإن زيادة الأكسجين المتوفر للانتشار من الحجيرات الهوائية لا يؤدى بالضرورة إلى زيادة الأكسجين المنتشر فيها. لذا، فالانتشار الرئوى لا يظهر حتى تتقيد قدرة الفرد الرياضى على استهلاك الأكسجين، فالتحسن فى هذه القدرة مع التدريب لا تعتبر هامة لتنمية التحمل.

وحديثياً، فى القرن العشرين، واستخدم الرياضيون تمرينات التنفس العميق Deep – breathing وتمرينات تقيد التنفس (كتم النفس) – Breath

Holding بغرض تحسين أقصى مستوى لتبادل الأكسجين (الانتشار الرئوى للأكسجين)،. ومازال بعض الرياضيون يستخدمون هذه التمرينات اعتقاداً خاطئاً منهم بأن هذه التمرينات سوف تحسن المعدلات القصوى لاستهلاك الأكسجين لديهم. فمثل هذه التمرينات غير ضرورية. فأى تدريبات داخل الماء أو خارجة تحدث ضغوطاً على معدل وعمق التنفس لفترة زمنية أطول تحدث زيادة فى المعدلات القصوى للانتشار الرئوى وهذا يعتبر علامة على تحسن التحمل لدى الفرد الرياضى.

فالسباحين إذا انتظموا فى برنامج تدريبى يشمل على مزيج طبيعى من طرق التدريب، فإن ذلك سوف يحسن كلاً من معدل وعمق التنفس.

فالتدريب لا يؤثر بشكل واضح على حجم الأكسجين المنتشر من الرئتين إلى الدم أثناء أداء المجهود الأقل من الأقصى، ولكنه يجعل هذا الأكسجين يتم التزود به بطريقة أكثر فعالية، بينما يقل معدل التنفس فعلياً أثناء التمرين الأل من الأقصى لدى الرياضيون المدربون، بمعنى آخر، أن الأفراد الرياضيون المدربون يستهلكون نفس مقدار الأكسجين عن طريق أخذ تنفس أكثر عمقاً ولكن عدد مرّاته أقل.

ب) زيادة خلايا الدم الحمراء: Increasing Red Blood cells.

إن خلايا الدم الحمراء تحتوى على الهيموجلوبين والحديد الذى يجعل الدم ذات اللون الأحمر، إذن فزيادة خلايا الدم الحمراء هامة. لأن أى زيادة فى الهيموجلوبين يصاحبها زيادة فى مقدار الأكسجين الذى يحمله الدم، والذى يعتبر أحد لأسباب التى تجعل الأفراد الرياضيون فى المناطق المرتفعة عن سطح البحر يتدربون بشكل أكثر كفاءة نتيجة زيادة الهيموجلوبين لديهم. ولنفس السبب، فإن بعض الرياضيون يتعاطون منشط الدم Blood doping (وهو عبارة عن إعادة حقن الدم الذى سحب من الفرد الرياضى مرة أخرى قبل المنافسة) أو استخدام هرمون الأيريثروبوتين Erythropoietin (Epo) التى تعمل على زيادة عدد خلايا الدم الحمراء.

وفى أحسن الأحوال، فإن التدريب عند سطح البحر يُحدث تحسناً طفيفاً فى قدرة الدم على حمل الأكسجين، فقد أشارت بعض الدراسات إلى عدم حدوث زيادة، بينما البعض الأخر قررت حدوث تحسن ضئيل بلغ حوالى ٨٪ عند التدريب عند سطح البحر (جرين وآخرون ١٩٩١م Green, et al.). ومن ناحية أخرى، فإن العديد من الدراسات قررت وجود زيادة من ٧٪ - ١٨٪ فى الهيموجلوبين الموجود بالدم بعد التدريب فى المناطق المرتفعة عن سطح البحر (كارفونين، بلتوت، سارلا ١٩٨٦م KARVONEN, PELTOTE & SAARELA)، (هانون وآخرون ١٩٦٩م HANNON, et al.).

جـ- زيادة حجم الدم: Increasing Blood Volume.

يبلغ الحجم الإجمالى للدم فى جسم الإنسان ٥ لتر تقريباً، ويؤدى تدريب التحمل إلى زيادة هذا الحجم بنسبة ٣٠٪ تقريباً (جرين وآخرون ١٩٩١م). والتدريب الذى يحدث زيادة فى الهيموجلوبين يؤدى أيضاً إلى زيادة كثافة الدم أى يصبح الدم أكثر لزوجة More Viscous. ويمثل الهيموجلوبين الجزء الصلب Solid Portion من الدم. فإذا لم يزداد الجزء السائل Fluid portion بالتوازى مع الجزء الصلب (الهيموجلوبين)، فإن الدم لا يندفع خلال الشرايين والأوردة بسهولة مما يؤدى إلى نقص حجم الأكسجين الواصل للعضلات العاملة فى كل دقيقة من العمل (التمرين).

ولحسن الحظ، أن التدريب الرياضى يؤدى إلى زيادة الجزء السائل من الدم بدرجة تزيد نسبياً عن الزيادة فى الجزء الصلب (الهيموجلوبين) من الدم مما يؤدى إلى نقصاً فعلياً فى لزوجه الدم. فالنقص فى لزوجة الدم بعد التدريب قد تؤدى إلى زيادة معدلات الدم المتدفق خلال الاوعيه الدموية أثناء التمرين الرياضى، وبالتالى يزيد حجم الأكسجين الذى يصل إلى الألياف العضلية. فالتدريب الذى يسبب نقصاً فى لزوجة الدم يظهر عند بعض الرياضيون ذو المستوى العالى أنه إصابة بالأنيميا نتيجة أن الهيموجلوبين

(الجزء الصلب من الدم) أصبح أكثر انخفاضاً بالمقارنة بالجزء السائل من الدم. ويشير **ويلمور وكوستل** ١٩٩٩م إلى أن تدريب التحمل ذو الشدة العالية نسبياً يؤدى زيادة حجم الدم.

د ـ زيادة الدفع القلبى: Increasing Cardiac Output.

يعرف الدفع القبلى بأنه "كمية الدم التى يدفعها القلب فى الدقيقة" وهو ناتج حجم الضربة القلبية Stroke Volume (وهى كمية الدم المدفوعة من القلب فى الضربة القلبية الواحدة) ويضاعف بمعدل نبض القلب(وهو عدد ضربات القلب فى الدقيقة). ويبلغ الدفع القلبى حوالى ٥ لتر فى وقت الراحة، أما أثناء المجهود الأقصى فإنه يزيد ليصل إلى ١٤ – ١٦ لتر/ دقيقة لدى الأفراد الغير مدربين. ويؤدى التدريب إلى زيادته ليصل إلى ٣٠-٤٠ لتر/ دقيقة، مما يكون سبباً رئيساً لزيادة الأكسجين الذى تزود به الألياف العضلية (**بروكس، فاهى** ١٩٨٧م).

إن الزيادة فى أقصى دفع قلبى تكون نتيجة التحسن فى حجم الضربة القلبية للفرد الرياضى (كمية الدم التى يدفعها القلب فى الضربة الواحدة). فأقصى معدل لنبض القلب لا يزيد مع التدريب، أما معدل نبض القلب الأقل من الأقصى أثناء أداء المجهود الرياضى يقل بعد التدريب. وربما يؤدى إلى زيادة حجم الضربة أثناء المجهود الأقصى والأقل من الأقصى بنسبة تتخطى الـ ٥٠٪.

إن تدريب التحمل الطويل والبطيئ عند معدل نبض قلب منخفض (١١٠ – ١٣٠ ن/ق) يعتبره العلماء أنه أفضل عمل يؤدى إلى تحسن حجم الضربة. ويعتقد **استراند و رودال** ١٩٧٧م(ASTRAND & RODAHL) أن التدريب عند سرعة بين ٥٠٪ - ٦٠٪ من السرعة القصوى هى الأداء المثالى لتحقيق هذا الغرض . فمعدلات نبض القلب المنخفضة تُزيد من حجم الضربة بشكل اكبر، لان المعدلات العالية من الأداء تجعل بطينى القلب لا يجدا الوقت الكافى للامتلاء بشكل كامل بالدم بين الضربات. وبالتالى فإن الدفع القلبى سيكون

أكبر أيضاً عند السرعات السريعة، وحجم الضربة سيكون أكثر انخفاضاً، وتأثير التدريب سوف يقل.

وتحدث الزيادة فى حجم ضربة القلب لدى الرياضين نتيجة تدريب التحمل ذو الشدة المعتدلة، ولذا فإن أداء مجموعات تكرارية للتحمل فى السباحة عند شدة عالية نسبياً يعطى الفرصة للقلب على التدريب على الامتلاء بمعدل أسرع، مما يمكن الفرد الرياضى من المحافظة على نسبة مئوية أكبر من الزيادة فى الحجم الأقصى لضربة القلب قرب معدل نبض القلب الأقصى (**جلدهيل، كوكس،جامنيك** ١٩٩٤م GLEDHILL,COX & JAMNIK)، (**سبينا وآخرون** ١٩٩٢م SPINA, et al.).

إن هذه الخطوة الثانية ضرورية وهامة نتيجة أن الرياضين يجب أن يكون لديهم القدرة على المحافظة على حجم ضربة القلب الكبيرة عند معدل نبض قلب عالى إذا ما أرادوا زيادة أقصى دفع قلبى لديهم وبالتالى يحصلوا على مزيد من الأكسجين المتوفر للعضلات أثناء السباقات.

إن تأثير التدريب على حجم الضربة القلبية يمكن حسابه عن طريق رسم خريطة لمعدلات نبض القلب للسباحين أثناء أداء مجموعات تدريبية معايرة تنتج معدلات نبض قلب ما بين ١٢٠- ١٧٠ ن/ق لدى معظم السباحين، فأى نقص فى معدلات نبض القلب عند هذه السرعات الأقل من الأقصى يدل على أن حجم الضربات قد زاد.

هـ- زيادة الشعيرات الدموية العضلية: Increasing Muscle Capillaries.

أظهرت الدراسات أن تدريب التحمل يُزيد عدد الشعيرات الدموية المحيطة بالحجيرات الهوائية والألياف العضلية (**برودال، إنججير ، هيرمانسين** ١٩٧٦م Brodal, Ingjer & Hermansen)، **كارو ، برون ، فان هوس** ١٩٦٧م CARROW, BROWN& VAN HUSS)، (**هيرمانسين، واشتلوفا** ١٩٧١م

(HERMANSEN, WACHTLOVA). وتؤكد أحدى هذه الدراسات أن زيادة الشعيرات الدموية التى حول الألياف العضلية العاملة لدى الفرد الرياضى ترتبط بتنمية التحمل. وقد أظهرت العديد من الدراسات أن تلك الزيادة تبلغ ١٥٪ - ٥٠٪ بعد تدريب التحمل طويل المدى (**أندرسون** ١٩٧٥م ANDERSSON، **روسلر وآخرون** ١٩٨٥م ROSLER, et al).

ولا شك أن زيادة الشعيرات الدموية التى حول الألياف العضلية تُحدث بالضرورة زيادة واضحة فى كمية الأكسجين التى تنتشر من الدم لداخل العضلات. فالأشخاص الغير مدربين عادة ما يملكون من ٣-٤ شعيرات حول كل ليفه عضلية، بينما الأفراد المدربون من رياضى التحمل لديهم من ٤-٦ شعيرات حول كل ليفه عضلية (**سالتين وآخرون** ١٩٧٧م).

ويمكننا أن نستنتج أن زيادة الشعيرات الدموية يكون حول الألياف العضلية المستخدمة فى التدريب فقط، على خلاف العديد من التكيفات الدورية الأخرى - ذكرناها من قبل - مثل التى ترتبط بالقلب والشرايين الكبيرة التى تخدم أجزاء معينة من الجسم، فإن أى نوع من تدريبات التحمل يمكنها أن تحقق تلك التكيفات، حيث يفيد فى ذلك أى نوع أخر من العمل البدنى . ومثال لذلك، أن الزيادة فى حجم ضربة القلب الناتجة عن تدريب الجرى قد تفيد الرياضين عندما يسبحون. ولكن بالنسبة للشعيرات الدموية التى حول الألياف العضلية فالوضع يختلف، حيث تكون الزيادة فيها مخصصة فقط للألياف العضلية التى تدربت، فالشعيرات الدموية لا تنتقل من ألياف عضلية إلى أخرى على الرغم من زيادتها نتيجة التدريب، بمعنى أن الجرى يزيد من عدد الشعيرات الدموية حول عضلات الرجلين، ولكنة لا يزيد من عدد الشعيرات التى حول ألياف عضلات الذراعين والجذع. ولهذا السبب فإن السباحون يجب أن يؤدوا معظم تدريبهم الهوائى داخل حمام السباحة للتأكيد على أن الزيادة التى ستحدث فى عدد الشعيرات الدموية

ستكون حول الألياف العضلية المستخدمة فى التدريب. كما يجب أن يستخدموا الأشكال الأخرى من تدريب التحمل كمكملات لتدريب السباحة وليس كبديل عنه.

و- تحسن انتقال الدم: Improved Blood Shunting.

إن الجسم البشرى يحتوى على حوالى ٥ لتر دم. وفى حالة الراحة، فإن هذا الحجم يوزع بالتساوى بين أنسجة الجسم المختلفة، ولكن أثناء التمرين الرياضى يزيد دفع الدم إلى العضلات العاملة، ويقل للعضلات الغير عاملة والأنسجة العضلية الاخرى. ولمزيد من الإيضاح، فإنه فى حالة الراحة نجد أن ١٥٪ - ٢٠٪ فقط من الحجم الإجمالى للدم يذهب إلى العضلات الهيكلية، بينما أثناء التمرين الرياضى تزيد هذه الكمية إلى ٨٥٪ أو ٨٠٪ (**ماتيوز، فوكس** ١٩٧٦م MATHEWS & FOX). وبالتالى يذهب المزيد من الأكسجين والعناصر الأخرى إلى حيث الحاجة إليها، كما يزيد أيضاً ثانى أكسيد الكربون وحمض اللاكتيك المنتقل من الألياف العضلية العاملة أثناء أداء المجهود الرياضى حيث يتم التخلص منهما.

إن التدريب الرياضى يُزيد من نسبة الدم المتدفق للعضلات العاملة أثناء المجهود الأقصى (**كلاوسين وآخرون** ١٩٧٣. CLAUSEN, et al ، **كول، دول، كبلر** ١٩٧٢م KEUL, DOLL & KEPPLER، سالتين ١٩٧٣م، **سيمنز، شيفرد** ١٩٧٢م Simmons & shepherd) مما يؤثر بشكل إيجابى على الأداء. ويقرر **هينريكسون** ١٩٩٧م HENRIKSSON أن هناك زيادة بلغت ٨٪ فى حجم الدم المدفوع للعضلات العاملة أثناء التمرين، ولا شك أن تدريب التحمل هو صاحب التأثير الغالب فى زيادة الدم المتدفق إلى العضلات العاملة أثناء التمرين.

ويضيف **ماجلشو** ٢٠٠٣م أن تدريب التحمل ذو السرعة هو الذى يُزيد من تمدد Dilation الأوعية الدموية. وأن تأثيره أكبر من تدريب التحمل ذو السرعة البطيئة أو المعتدلة، لذا فإنه يؤكد على أن السباحون يجب أن

يستخدموا فى تدريبهم نفس الألياف العضلية التى ستستخدم فى المنافسات التى يشاركون فيها حتى تتدرب الأوعية الدموية على التمدد بمزيد من السرعة، وبالتالى ستكون نواتج التدريب أفضل.

ز- زيادة الميتوكوندريا: Increasing Mitochondria.

الميتوكوندريا عبارة عن شجيرات (نبتات) كيميائية صغيرة Small chemical plants توجد فى الخلايا العضلية، حيث تحدث عملية التمثيل الهوائى، وهى تُبَنَّى فى البروتينات. فكلاً من الألياف العضلية البطيئة والسريعة تحتوى على العديد من الميتوكوندريا، ولكنها توجد بأعداد وفيرة فى الألياف العضلية البطيئة.

ويؤدى التدريب إلى زيادة كلاً من حجمها وعددها فى كلاً من نوعى الألياف العضلية (**مورجان وآخرون** ١٩٧١م MORGAN, et al.) ويبلغ مقدار الزيادة فى حجم الميتوكوندريا ١٢٠٪ فى دراسة تمت على بعض الأفراد بعد برنامج تدريب تحمل مدته ٢٨ أسبوع، أما الزيادة فى عددها فقد بلغ ما بين ١٤٪ - ٤٠٪ (**كيسلنج، بيهل، لوندكويست** ١٩٧١م KIESSLING, PIEHL & LUNDQUIST). وفى دراسة أخرى أجراها **روسلر وآخرون** ١٩٨٥م ROSLER,et al. قررت نتائجها وجود زيادة فى حجم الإجمالى بلغت ٤٠٪، وتشمل هذه الزيادة كلاً من حجم وعدد الميتوكوندريا..

وتساعد هذه الزّيادة فى الميتوكوندريا فى تقليل معدل إنتاج حمض اللاكتيك، وتجعل عملية التمثيل الهوائى تؤثر فى عدد أكبر من المواقع Locations داخل كل ليفه عضلية ، مما يزيد من الطاقة الناتجة من عملية التمثيل الهوائى أثناء كل دقيقة من التمرين فى حالة توفر الأكسجين اللازم. ومن المحتمل أن يسمح هذا التأثير بجانب الزيادة فى الميوجلوبين للأفراد المدربين باستخدام نسبة مئوية أكبر من الحد الأقصى لاستهلاك الأكسجين دون حدوث زيادة فى إنتاج اللاكتيك.

إن السباحة هى أفضل طريقة لزيادة حجم وعدد الميتوكوندريا فى الألياف العضلية للسباحين، حتى يكون التأثير فى الألياف العضلية العاملة فقط والمطلوبة للأداء أثناء السباقات. ومع ذلك، فإن التدريب باستخدام رياضة غير السباحة قد يفيد ولكن ليس للألياف الخاصة التى ستستخدم فى سباقات السباحة. ووفقاً لذلك فإن الشد بالذراعين فى السباحة لن يحدث زيادة فى عدد وحجم الميتوكوندريا فى عضلات الرجلين للسباحين، وكذلك فلن تفيد ضربات الرجلين فى زيادة حجم وعدد الميتوكوندريا فى الألياف العضلية للذراعين والكتفين والجذع. وبناء على ذلك، فإن تدريب التحمل الطويل والبطيئ يمكن أن يُزيد من عدد وحجم الميتوكوندريا فى الألياف العضلية البطيئة. ولكن لزيادة حجم وعدد الميتوكوندريا فى الألياف العضلية السريعة، يجب على السباحين أداء تدريب التحمل عند سرعات ما بين المتوسطة والسريعة. ووفقاً لذلك، يجب أن يشمل تدريب السباحون على تدريب التحمل بسرعات متنوعة ما بين البطيئة والسريعة حتى تتحقق الزيادة فى حجم وعدد الميتوكوندريا فى جميع الألياف العضلية التى ستستخدم فى السباقات وفقاً لتخصص كل سباح.

ولكن يجب أن نحذر من أن أداء تدريب التحمل ذو السرعة العالية كثيراً قد يأتى بنتائج عكسية. حيث أن التحمل ذو السرعة قد ينتج عنه أحماض شديدة. وهذا يستوجب من المدرب الحذر. كما يجب ألا يسُتّخدم هذا النوع من التحمل عندما يكون جليكوجين العضلات العاملة قد قرب على النضوب، فمثل هذا النوع من المجهود قد يَضّر Damage عملية تجديد الميتوكوندريا. وكذلك، فإن ظهور هذه الأحماض الشديدة قد يؤدى إلى ظهور حالة التدريب الزائد لدى السباحين (جولستراند ١٩٨٥م GULLSTRAND). كما أن عدم كفاية جليكوجين العضلات أثناء تدريب السباحين قد يجعل عملية تمثيل الطاقة تتم بالبروتين الداخل فى بناء تلك العضلات مما يسبب تضررها.

ولكن فى حالة استخدام تدريب التحمل ذو السرعة بصورة غير مبالغ فيها، فإنه يُحّدث زيادة فى حجم وعدد الميتوكوندريا فى الألياف العضلية السريعة بشكل مقتصد خلال كل أسبوع تدريبى ولفترات قصيرة لدرجة أن الميتوكوندريا فى هذه الألياف العضلية والألياف الأخرى لن تتضرر من هذا النوع من المجهود. وهنا يجب أن يعلم السباحون والمدربون أن زيادة حجم وعدد الميتوكوندريا فى الألياف العضلية السريعة يمكن أن يتم عن طريق السباحة عند سرعات معتدله لفترات طويلة تجعل الألياف السريعة تتجه نحو تناوبRotate أداء العمل مع الألياف العضلية البطيئة أثناء السباحة.

واخيراً ... يشير **ماك دوجال وآخرون** ١٩٩١م أن التدريب فى المرتفعات يؤدى إلى زيادة الميتوكوندريا فى العضلات العاملة بدرجة أكبر مما يحققه التدريب فى المناطق التى عند مستوى سطح البحر.

ح - زيادة الإنزيمات الهوائية Increasing Aerobic Enzymes.

عند زيادة عدد وحجم الميتوكوندريا، فإن الإنزيمات الهوائية الموجودة بها تزيد (مورجان وآخرون ١٩٧١م) مما يؤدى إلى أن تتم عملية التمثيل الهوائى للطاقة بمعدل أسرع. فالزيادة فى حجم وعدد الميتوكوندريا يلازمها Concomitantزيادة فى نشاط الإنزيمات الهوائية الموجودة بذات العضلات، وقد يؤدى ذلك إلى تحسن العتبة الفارقة اللاهوائية للفرد الرياضى بدرجة أكبر من التحسن الذى يحدث فى الـ Vo_2max.

ويظهر التدريب زيادة نشاط الإنزيمات الهوائية بدرجة غير متناسبة Out of Proportion to مع التحسن فى الـ Vo_2max الناتج من هذا التدريب. (**جولنك، هودجسون** ١٩٨٦م GOLLNICK,& HODGSON)، (**جولك وآخرون** ١٩٧١م) و(**ويلمور وكوستل** ١٩٩٩م) أن نشاط الإنزيمات الهوائية يستمر فى الزيادة حتى بعد التحسن فى الـ Vo_2max ولكن ليس لفترة طويلة، ومع ذلك، فزيادة نشاط الإنزيمات الهوائية قد يكون تأثيرها أكبر على الأداء مع استمرار

التمرين عند نسبة مئوية معينة من الـ Vo_2max بالمقارنة بما يحدث من زيادة الـ Vo_2max نفسه (دايفيز، باكر، بروكس ١٩٨١م DAVIES, PACKER, & BROOKS). وفى نفس الوقت، فإن التحسن فى الـ Vo2max قد يكون أكثر تعادلاً مع قدرة الجهاز الدورى على تحرير الأكسجين للألياف العضلية العاملة بالمقارنة بقدرة هذه الألياف على استخدام هذا الأكسجين فى عملية التمثيل الهوائى (رووِل ١٩٧٤م ROWELL).

وفى ضوء ذلك، فإن تدريب تحمل السرعة البطيئ والسريع والذى يؤدى إلى زيادة الميتوكوندريا فى الألياف العضلية البطيئة والسريعة يُزيد أيضاً من نشاط الإنزيمات الهوائية فى هذه الألياف. فالأحجام الكبيرة من تدريب التحمل البطيئ تحقق الزيادة فى نشاط الإنزيمات الهوائية فى الألياف العضلية البطيئة. وقد تحققت الزيادة الأكبر عندما كانت مستويات التدريب تتطلب من الفرد الرياضى استخدام نسبة مئوية عالية (٧٠٪ - ٨٠٪) من الحد الأقصى لاستهلاك الأكسجين الخاص به، وقد يكون ذلك نتيجة أن التدريب عند هذا المستوى يجعل الألياف العضلية السريعة تشارك فى أداء هذا التدريب وتتحمل بعض من حمل هذا المجهود (هنريكسون HENRIKSSON١٩٩٢). وكذلك، فالشدة يجب أن تكون بالقدر الذى يُمَكّن الفرد الرياضى من المحافظة على التوازن بين معدل إنتاج حمض اللاكتيك ومعدل التخلص منه بحيث يظل الـ PH قرب مستوياته الطبيعية.

إن PH العضلات حينما ينخفض، فإنه يقلل من نشاط إنزيمات هوائية معينة، فى حين يسبب زيادة فى معدلات إنتاج حمض اللاكتيك. ولزيادة نشاط تلك الإنزيمات الهوائية يجب زيادة نشاط عملية التمثيل الغذائى للبيروفيك وأيونات الهيدروجين خلال عملية الأكسدة، ولتحقيق ذلك، فإن معظم حجم التدريب يجب أن يكون عند أو أقل قليلاً من مستوى العتبة الفارقة اللاهوائية للفرد الرياضى، والقليل من هذا الحجم يؤدى بسرعات سريعة.

وقد يكون التدريب فى المناطق المرتفعة عن سطح البحر أكثر تأثيراً من التدريب عن مستوى سطح البحر فى تحقيق الزيادة فى نشاط إنزيمات التمثيل الهوائى للطاقة. بالإضافة إلى أن نشاط هذه الإنزيمات يرتبط بشكل كبير بالزيادة فى حجم وعدد الميتوكوندريا. كل ذلك قد يفسر لنا لماذا التدريب فى المرتفعات يحسن مستوى أداء الفرد الرياضى.

ط - زيادة الميوجلوبين : Increasing Myoglobin.

والميوجلوبين هو البروتين المحتوى على الحديد فى الألياف العضلية، وهو الذى يعطيها اللون الأحمر. وله وظيفتين فى الخلايا العضلية. أهمها أنه يمتص الأكسجين الذى ينتشر داخلها وينقله إلى الميتوكوندريا حيث يستخدم فى عملية التمثيل الهوائى. والوظيفة الثانية هى أنه يخزن كميات صغيرة من الأكسجين فى الخلايا العضلية - حوالى ٢٤٠ ملى لتر - كاحتياطى يستخدم خلال الثوان العديدة الأولى من التمرين الرياضى مزوداً الميتوكوندريا بالأكسجين.

والألياف العضلية البطيئة تحتوى على مقدار من الميوجلوبين يزيد بمقدار الـ ٣/١ تقريباً بالمقارنة بالألياف العضلية السريعة لنفس العضلة والمتممة لها.

وقد قررت بعض الدراسات العلمية أن التدريب لا يُحَدث زيادة فى الهيموجلوبين بعد برنامج تدريبى لمدة ثمان أسابيع (**سفيدنهاج، هنريكسون، سيلفان** ١٩٨٣م SVEDENHAG, HENRIKSSON & SYLVAN). كما يشير البعض الأخر أن هيموجلوبين العضلات لا يختلف بين الأفراد المدربين على التحمل والأفراد الغير مدربين (**جانسون، سيلفين، سجودين** ١٩٨٣م JANSSON, SYLVEN & SJODIN). ومع ذلك، فإن التدريب فى المرتفعات قد يحدث زيادة فيه، حيث أن الأفراد الذى يعيشون فى المناطق المرتفعة عن سطح البحر لديهم زيادة فى الهيموجلوبين بعضلاتهم تبلغ أكثر من ١٦٪ بالمقارنة

بالآخرين الذين يعيشون فى المناطق التى على سطح البحر (ريناڤارج REYNAFARJE). أما إذا كان التدريب فى المناطق المرتفعة لفترات قصيرة قد يحدث زيادة فى حجم الميوجلوبين فلم تُشر هذه الدراسة إلى ذلك.

وعلى الرغم من عدم وجود الدليل العلمى على ذلك على الإنسان، إلا أن معظم الدراسات التى تمت على الحيوانات أظهرت أن العضلات المدربة على التحمل تمتلك المزيد من الهيموجلوبين بالمقارنة بالعضلات الأقل تدريباً (هيكسون ١٩٨١م HICKSON). وهنا يرى ماجلشو ٢٠٠٣م أنه على المدربون والرياضيون اعتبار أن الهيموجلوبين يزّيد كواحدة من النتائج الهامه لتدريب التحمل، وأن يضعوا ذلك فى الاعتبار عن التخطيط لبرامجهم التدريبية للاستفادة من هذا التأثير حتى تظهر الدلائل التى تؤكد ذلك.

ومن الملاحظ أن مجموع ما كتب حول هذا الموضوع أعطى القليل من الاهتمام لنوع التدريب الذى يكون له التأثير فى تحسين محتوى العضلات من الميوجلوبين، ومع ذلك، فقد أشارت إحدى الدراسات أنه عن التدريب على السرعة، فإنه يجب أن تكون قرب المستويات الأقصى. وبطبيعة الحال فإن الألياف العضلية البطيئة تحتوى على كميات كبيرة من الهيموجلوبين مع احتمال زيادته حتى يصل إلى نقطة الإخفاق فى قدرته على نقل الأكسجين إلى الميتوكوندريا، وفى المقابل، فإن الألياف العضلية السريعة قد يكون احتمال تحسن محتواها من الميوجلوبين أكبر، ويصبح نشاطها كبيراً عندما تكون شدة التدريب عالية نسبة إلى الحد الأقصى لاستهلاك الأكسجين (Vo_2max) فربما لا تقل عن ٧٠٪ - ٨٠٪ من الـ Vo_2max (اندرسون، سجوجارد ١٩٧٥م ANDERSON & SJOGAARD)

ك- تنمية دورة الجلوكوز- الألنين Improving the Glucose -Alanine cycle.

يلعب البروتين أيضاً دوراً محدوداً فى تقليل إنتاج حمض اللاكتيك أثناء التمرين الرياضى خلال عملية تعرف بدورة الجلوكوز - الألنين Glucose – Alanine (فيلج، وارين ١٩٧١م FLEIG & WAHREN).

ويتكون الألنين من خلال إتحاد بعض من البيروفيك المتكون نتيجة لعملية التمثيل اللاهوائى مع الأمونيا **Ammonia** مما يؤدى إلى عدم توفر البيروفيك ليتحد مع أيونات الهيدروجين، وبالتالى فإن الناتج من حمض اللاكتيك سيكون قليل.

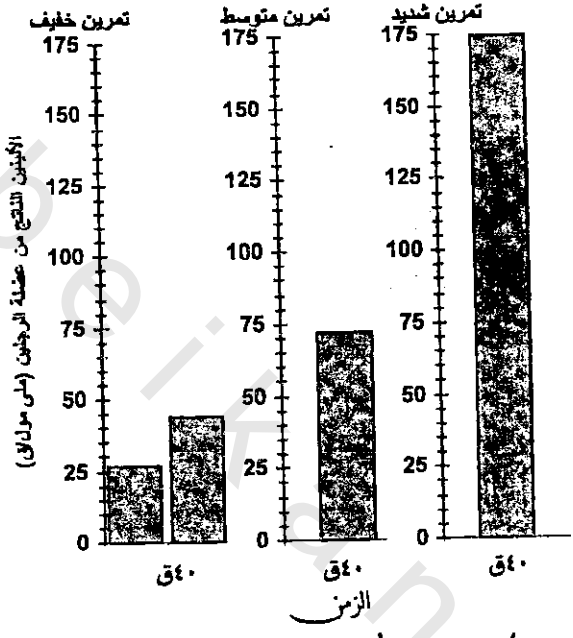
إن الالنين الناتج من هذه العملية ينقل إلى الكبد، حيث يمكن تحويله مرة أخرى إلى جلوكوز كجزء من عملية أخرى تسمى بدورة كورى **Cori cycle**. وفى هذه الحالة يعود الجلوكوز مرة أخرى لمجرى الدم، حيث يحمله إلى العضلات حيث يستخدم فى استعادة تكوين الـ **ATP**.

وتظهر أهمية دور دورة الجلوكوز – الألنين أثناء الأداء الرياضى للسرعات القصيرة وأيضاً خلال سباقات التحمل، ولكن من غير المؤكد **Doubtful** أن لها أى تأثير إيجابى على الأداء فى السباقات الأقصر من الـ ١٠٠م (**ويكر وآخرون** ١٩٨٣م **WEICKER, et al.**). ويعتبر معدل البيروفيك المتكون، وبالتالى الـ **ATP** الذى أعيد تكونيه من خلال عملية التمثيل اللاهوائى هو العامل الرئيسى فى المحافظة على السرعة فى هذه السباقات، وليس انتقال البيروفيك. ولكن انتقال بعض البيروفيك عن طريق تحويله على الالنين قد يكون له التأثير الأكبر على تقليل الأحماض أثناء سباقات التحمل الطويلة ذات السرعة لأن هذه العملية تؤثر بتقليل مقدار حمض اللاكتيك الناتج عند أى سرعة سباحة يؤديها السباح.

وتشير الدراسات العلمية أن تحويل الجلوكوز إلى الالنين تكون استجابة للتدريب (**بروكس، فاهى** ١٩٨٤م، **ويكر وآخرون** ١٩٨٣م)، وقد يكون ذلك ناتج عن نشاط الأنزيم الرئيسى الذى ينظم هذه العملية، ويسمى بإنزيم الالنين ترانسمينيز **Alanine Transminase**، حيث أنه يزيد مع التدريب (**مول وآخرون** ١٩٧٣م **MOLE, et al.**) ومع ذلك ، لم تتوفر المعلومات الكافية عن التأثير النسبى لتدريب السباحة بشداتها المختلفة (معتدلة – منخفضة – عالية) على هذا الإنزيم.

والشكل التالى يوضح نتيجة دراسة أجراها **فيليج، وارين ١٩٧١** (FELIG & WAHREN) على إنتاج الالنين أثناء التمرين الرياضى.

ويُظهر الشكل أن محتوى الألنين فى العضلات يصبح أكثر من ثلاثة أضعاف مستواه الطبيعى عندما تكون شدة تمرين التحمل المستخدم عند المستوى العالى. ويشير **ويكر وزملائه** ١٩٨٣م أن هناك نسبة تركيز عالية من الألنين فى عضلات العداءين بعد السباقات التى تنحصر مسافاتها ما بين الـ ١٠٠- ١٥٠٠م.



شكل (٨) يبين تأثير ثلاث فترات من التمرين الرياضى بشدات مختلفة على إنتاج الألنين.

وعلى الرغم من ذلك، فإن هذه العملية قد تساهم بشكل كبير فى تقليل حمض اللاكتيك فى العضلات عند أى سرعة سباحة حتى السرعات العالية منها.

ثانياً :زيادة معدل التخلص من اللاكتيك من الدم والعضلات:

Increasing the Rate of Lactate Removal From Blood and Muscles:

نعرف جميعاً أن حمض اللاكتيك هو الفضلات الناتجة عن عملية التمثيل اللاهوائى للطاقة والتى تحدث خلال التمرين الرياضى، وكان من المعتقد فى السابق أن هذا الحمض يظل فى العضلات والدم حتى يتم نقلة أثناء فترة الاستشفاء اللاحقة للتمرين. ولكن فى السنوات الأخيرة، أشارت نتائج

العديد من الدراسات بوضوح أن هذا الحمض ينقل باستمرار أثناء التمرين الرياضى وكذلك خلال فترة الاستشفاء. ويعبر مقدار اللاكتيك المتراكم فى الألياف العضلية أثناء التمرين الرياضى عن الفرق بين كمية الحمض الناتجة عن عملية التمثيل اللاهوائى داخل هذه الألياف العضلية والمقدار المنتقل منه إلى الدم أثناء التمرين الرياضى.

وعندما تكون شدة التمرين المستخدم أقل من قدرة عمل الألياف العضلية على أكسدة البيروفيك والهيدروجين هوائياً، فيتكون حمض اللاكتيك خلال أداء المجهود مبكراً، وعندما يكون الأكسجين اللازم للأداء غير كاف مؤقتاً، فإن هذا الحمض يُحَولَ مرة أخرى إلى بيروفيك وهيدروجين ويتأكسد داخل هذه الألياف العضلية.

إن عملية انتقال حمض اللاكتيك لا تمثيل أهمية كبيرة للأداء الجيد إلا عند الأداء بسرعة السباق حيث أن انتقاله من مناطق إنتاجه (العضلات العاملة) يؤخر من معدل النقص فى الـ PH فى تلك العضلات أثناء السباقات، مما يجعل الفرد الرياضى قادراً على المحافظة على أداء السرعات السريعة لفترات زمنية أطول، وعلى ذلك، فإن المعدل الأسرع من انتقال حمض اللاكتيك يؤدى إلى أن يكون نقص الـPH للعضلات العاملة أبطأ، لذا فإن أى تحسن فى هذا المعدل نتيجة التدريب سيكون مفيداً إلى حَدٍّ ما فى الأداء الرياضى.

ويعتقد العديد من الخبراء أن زيادة معدل انتقال حمض اللاكتيك من الألياف العضلية العاملة يمكن أن يقلل بدرجة كبيرة من معدل الحمضية فى هذه العضلات أثناء التمرين. وهناك العديد من الدراسات قررت أن هناك علاقة دالة بين معدل انتقال حمض اللاكتيك من العضلات العاملة والدم، ومستوى الأداء (**مسونيز وآخرون** ١٩٩٧م ,MESSONNIES et al.)، (**ماك راى وآخرون** ١٩٩٢م MAC RAE, et al.).

أ- عملية التخلص من حمض اللاكتيك: Lactate Removal Process.

يذكر جول ١٩٩٧م GUEL أن انتقال حمض اللاكتيك لخارج العضلات العاملة هو ناتج كلاً من الانتشار السلبى والانتقال النشط له. حيث يعتمد معدل الانتشار على الاختلاف بين تركيز حمض اللاكتيك داخل الليفه العضلية وتركيزه فى الدم أو أجزاء الجسم الأخرى Compartments . فعندما تحدث معدلات عالية من إنتاج حمض اللاكتيك داخل الألياف العضلية، فإن مزيد من هذا الحمض يتجه نحو الخروج منها، ومع ذلك، فهذه العملية تعتمد على معدل اللاكتيك الذى ينتشر من الدم إلى الأنسجة العضلية الأخرى.

وفى السنوات الأخيرة، أشار العلماء إلى أن مقدار اللاكتيك المنقول من العضلات أثناء التمرين الرياضى يبلغ ٥٠٪ - ٧٠٪ (جول ١٩٩٧م) وكما ذكرنا من قبل، فإن بعض من حمض اللاكتيك يمكن نقلة من بروتوبلازم الألياف العضلية إلى ميتوكوندريا نفس الألياف العضلية، حيث يتم تحويله مرة أخرى إلى بيروفيك تتم أكسدته (الانتقال المكوكى لحمض اللاكتيك) (بروكس وآخرون ١٩٩٦م BROOKS, et al)، ويتم ذلك خلال التمرين الرياضى المستمر، إن معظم حمض اللاكتيك الذى يتم نقله بهذه الطريقة يتم إنتاجه فى الألياف العضلية البطيئة. وهناك جزء آخر من هذا الحمض المتبقى ينقل إلى داخل الألياف العضلية المجاورة Adjacent muscle Fibers حيث تتم أكسدته (جول ١٩٩٧م). إن عملية النقل لحمض اللاكتيك تتم بصفة أساسية بين الألياف العضلية السريعة حيث ينتج معظم حمض اللاكتيك، وداخل الألياف البطيئة حيث يكون عدد وحجم الميتوكندريا كبيراً، حيث تكون عملية الأكسدة أكبر لهذا الحمض (مازو وآخرون ١٩٨٦م MAZZEO, et al.)

أما الجزء المتبقى من حمض اللاكتيك، فإنه يتم نقلة إلى داخل مجرى الدم الذى يحمله إلى الأجزاء الأخرى من الجسم، وعلى الأخص الكبد

والعضلات الأخرى الغير عاملة، حيث يتم أكسدته وتحويله إلى مصدر للطاقة، أو إلى القلب، حيث يتم استخدامه كمصدر للطاقة. (**أهلبورج، هاجنفيلد، وارين** ١٩٧٥م AHLBORG, HAGENFELD & WAHREN)، (**بورتمانز، دليسكايل، فاندين بوشكو، لكلركيو** ١٩٧٨م PORTMAN'S, DELESCAILLE VANDEN BOSSCHO & LECLERCQ)، (**روسلر وآخرون** ١٩٨٥م ROSLER, et al.) والكمية التى لم تنقل سوف تتبقى فى الألياف العضلية حيث تسبب نقص فى توازنها الحمضى القلوى (PH).

لاشك أن عملية التخلص من حمض اللاكتيك من الألياف العضلية العاملة تساهم فى تأخير معدل ومقدار النقص فى PH العضلات، مما يجعل الفرد الرياضى قادراً على المحافظة على معدل التمثيل اللاهوائى السريع للطاقة بالرغم من زيادة كمية حمض اللاكتيك المنتجة، وبالتالى يستطيع الفرد أن يحافظ على المعدلات العالية للانقباض العضلى، أى أداء ضربات أسرع لطرق السباحة المختلفة، وبالتالى يستطيع أداء سرعات سباحة سريعة لفترة زمنية أطول قبل تكوين الأحماض الشديدة التى تجعل العضلات تنقبض بشكل أبطأ.

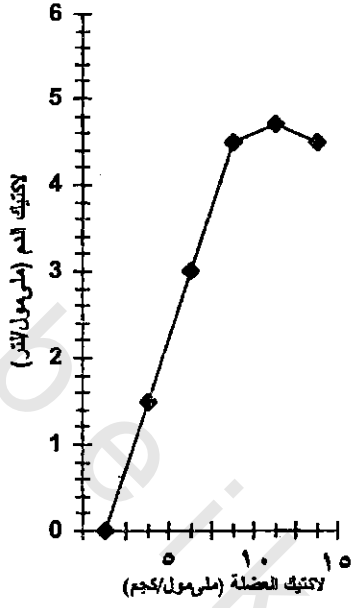
خلاصة القول، أن ما بين ٦٠٪- ٧٠٪ من حمض اللاكتيك الذى يتم نقله يتم تمثيله إلى ثانى أكسيد الكربون وماء فى العضلات العاملة والألياف الأخرى بالجسم. والجزء المتبقى منه يذهب إلى الكبد والقلب، حيث يتم تحويله مرة أخرى إلى جليكوجين يتم تخزينه . ومعظم عملية التحويل والتخزين تم فى الكبد.

إن التدريب الرياضى يؤدى إلى زيادة معدل حمض اللاكتيك المنتقل من العضلات العاملة، مما يؤثر إيجابياً على مستوى الأداء، ويبدو ذلك بوضوح فى سباقات المسافات المتوسطة والمسافة لان مقدار حمض اللاكتيك الذى يتم نقلة (التخلص منه) يكون كبيراً. كما قد يكون ذلك واضحاً من السباقات الأقصر، حيث أن السباقات التى تستغرق أقل من دقيقتين تتطلب معدلات عالية

من الطاقة لأدائها، حيث يكون معدل التمثيل اللاهوائى هو السائد، مما يجعل مقدار أكبر من حمض اللاكتيك يُنْتَج فى العضلات. وتشير نتائج الأبحاث إلى أن مستويات حمض اللاكتيك بعد سباحة سباقات الـ ٥٠م، ١٠٠م تصل إلى ٨-١٨ ملى مول / لتر (**ماجلشو، أنبابلشيد** ١٩٨٤م MAGLISCHO & UNPUBLISHED)، وتشير الدلائل إلى أن مقدار حمض اللاكتيك الذى يتم نقلة من العضلات العاملة خلال الدقائق الأولى من التمرين الرياضى يكون كبيراً.

ويشير العلماء إلى أن حمض اللاكتيك المُنْتَج أثناء أداء سباحة سريعة جداً يبقى معظمة فى الألياف العضلية العاملة، وأن معدلات إنتاجه تكون سريعة جداً، وكذلك معدلات انتقاله. وقرر الخبراء أن المعدل الأقصى لإنتاج اللاكتيك داخل الألياف العضلية يكون أكبر من معدل انتقاله منها بـ ٢-٣ ضعف (**بانجسبو وآخرون** ١٩٩٠م)، (**جول وآخرون** ١٩٩٠م)، (**هولتمان سجوهولم** ١٩٨٦م HALTMAN & SJOHOLM)، (**هولتمان، سالين** ١٩٨١م). لذا، فإن عملية انتقال حمض اللاكتيك من العضلات أثناء التمرين الرياضى يؤدى إلى تأخير بداية عملية الحمضية، ومثال لذلك، فقد بلغ محتوى العضلة من حمض اللاكتيك بعد ٣٠ ثانية فقط من الأداء بسرعات عالية على الدراجة الأرجومترية من ٢٨-٣٥ ملى مول / لتر. (**هولتمان، سجوهولم** ١٩٨٦م)، بينما يكون فى نفس الفترة الزمنية حمض اللاكتيك بالدم من ٨ -١٢ ملى مول/ لتر فقط. وفى نفس الوقت يكون تركيز حمض اللاكتيك بالعضلة ما بين ٤٥-٥٠ ملى مول/ لتر لدى الإنسان عند نقطة الإجهاد **Exhaustion** بعد أداء مجهود شديد (**جول** ١٩٩٧م)، كما بلغت أقصى مستويات لحمض اللاكتيك بالدم ١٥-٢٠ ملى مول تحت نفس الظروف.

والشكل التالى يبين العلاقة بين تركيزات اللاكتات بين العضلة والدم بعد ٣ دقائق من المجهود الأقصى.



شكل (٩) تركيزات حمض اللاكتيك بالدم والعضلات بعد ٣ ق من التمرين حتى الإنهاك.

إن تأثير عملية انتقال حمض اللاكتيك أثناء التمرين الرياضى على الأداء يتطلب الإجابة عن السؤالين التاليين.

١- ما هو أقصى معدل لانتقال اللاكتيك من العضلات؟

٢- ما هو مقدار (حجم) التدريب الذى يمكن أن يحقق زيادة عملية الانتقال لهذا الحمض.

١- المعدل الأقصى التخلص من اللاكتيك:

Maximum Rate of lactate Removal:

إختلف العلماء فى الرأى حول الإجابة عن السؤال عن المعدل الأقصى لانتقال حمض اللاكتيك، حيث أشارت نتائج العديد من الدراسات إن هذا المعدل الخارج من الألياف العضلية العاملة إلى مجرى الدم يبلغ من ٤-٩ ملى مول / دقيقة وذلك أثناء التمرين الرياضى (**جول وآخرون** ١٩٩٠م)، (**كاتز وآخرون** ١٩٨٦م Katz, et al.)، (**ليندنجر، مك كلفى، هيجنهوسر** ١٩٩٥م LINDINGER, MCKELVIE & HEIGENHAUSER)، (**جور فيلدت، جونلين دانفيلت، كارلسون** ١٩٧٨م FELDT, JUNLIN DANNFELL & KARLSSON). فى حين قرر سالتين ١٩٩٠م Saltin فى دراسته أن أعلى مقدار وصل إليه أفراد عينة الدراسة من حمض اللاكتيك المنتقل من العضلات قد بلغ ٢٠ ملى مول/ دقيقة. وفى دراسة أخرى أجراها **بانجسبو وآخرون** ١٩٩٠م بلغت هذه المقادير من ١٢-١٦ ملى مول / دقيقة.

وعموماً، فإن معدلات التخلص من حمض اللاكتيك التى تصل إلى ١٠ - ٢٠ ملى مول/ لتر يكون لها تأثير واضح فى تقليل تراكم حمض اللاكتيك بالعضلات العاملة أثناء التمرين. ويشير العلماء أن الوصول بمعدلات التخلص من حمض اللاكتيك إلى قمتها تكون بعد بداية التمرين بـ ١-٢ دقيقة تقريباً، ولذا، فإن عملية انتقال حمض اللاكتيك من العضلات تساعد فى تأخير ظهور الأحماض خلال أداء السرعات الطويلة، وسباقات المسافات المتوسطة والمسافة، وكذلك أثناء التدريب بالمجموعات التكرارية. والسؤال هنا ..."ما هو التدريب الذى يمكن أن يحسن من معدل انتقال حمض اللاكتيك من العضلات العاملة إلى الدم بدرجة كبيرة، ويُحدث تحسناً دالاً فى المستويات الرقمية للسباحين فى السباقات المختلفة"، هناك القليل فقط من الدراسات التى اختبرت تأثير التدريب على انتقال اللاكتيك أثناء التمرين الرياضى، وأن هذه الدراسات طبقت على الحيوانات بدلاً من الإنسان، وقد قررت نتائج معظمها وجود تحسناً كبيراً من هذه العملية (**دونوفان، بروكس** ١٩٨٣م DONOVAN & BROOKS) (**دونوفان، باجليا سوتى** ١٩٩٠م DONOVAN & PAGLIASSOTTI)، (**فوكويا وآخرون** ١٩٩٩م FUKUBA, et al)، (**ماك راى وآخرون** ١٩٩٢م. MAC RAE, et al)، (**ماك راى ، نواكس، دينيس** ١٩٩٥ MAC RAE, NOAKES & DENNIS)، (**أويونو - انجويل، فروند** ١٩٩٢م OYONO ENGUELLE & FREUND)

٢ـ تأثير التدريب على تحسن التخلص من حمض اللاكتيك .

حتى وقتنا الحاضر، فإن القليل فقط من الدراسات التى ارتبطت بالأداء على الإنسان، ففى إحدى هذه الدراسات أدى الأفراد المتدربون من لاعبى الدراجات التمرين لمدة ١٠ أيام فقط ولمدة ساعتين يوميا، وبمجهود ما بين الخفيف والمتوسط،وقد أشارت النتائج، على الرغم من انخفاض شدة التدريب إلى تحسن معدل انتقال حمض اللاكتيك فى حدود ٤٠٪، وفى دراسة أخرى، فقد تدرب أفراد عينة الدراسة من لاعبى الدراجات لمدة ٤٥ دقيقة على الأقل فى

اليوم ولمدة ٥ أيام أسبوعياً، عند شدة قرب مستوى العتبة الفارقة اللاهوائية الفردية لكل فرد من أفراد العينة، وأشارت النتائج إلى تحسن معدل التخلص من حمض اللاكتيك فى حدود ٢٦٪ (**ماك راى وآخرون** ١٩٩٢م). وهذه النسبة تعادل النسبة المئوية من التحسن فى مستوى الحد الأقصى لاستهلاك الأكسجين بعد التدريب.

ويرى العلماء أن معدل انتقال اللاكتيك يرتبط بدرجة كبيرة بقدرة الفرد على التدريب، فقد أشارت دراسة مقارنة بين الأفراد الرياضيون وغير الرياضيون إلى وجود اختلاف فى معدل التخلص من حمض اللاكتيك من العضلات، بمعنى آخر، فإن الأفراد الرياضيون يملكون معدل التخلص من حمض للاكتيك أعلى كثيراً بالمقارنة بغير الرياضيون.

فاستخدام التدريب فى السباحة لتحسين معدلات التخلص من حمض اللاكتيك يتطلب مزيج **Mixture** من سباحة مسافات بشدات ما بين المنخفضة والمعتدلة والعالية. فتدريب التحمل ما بين البطيئ والمعتدل قد يؤدى إلى تحسين هذا المعدل فى الألياف العضلية البطيئة والألياف السريعة "أ" **FTa**، فى حين أن سرعة التدريب التى تعادل الـ ١٠٠٪ من الـ **Vo_2max** وكذلك السرعات الأعلى هى التى تحقق التحسن فى معدل انتقال حمض اللاكتيك فى الألياف العضلية "ب" **FT_b**.

ووفقاً لذلك، فإنه يمكننا القول أن التدريب يحسن من معدل التخلص من حمض اللاكتيك فى الأنواع المختلفة من الألياف العضلية، وهذا يعادل التدريب الذى يحسن من معدل استهلاك الأكسجين فى نفس الألياف العضلية، وفى دراسة أجراها **تريفين وزملائه** ١٩٨٠م **TREFFENE & COWORKERS** باستخدام التدريب عند سرعات أعلى من مستوى العتبة الفارقة اللاهوائية. وأشارت نتائجها إلى أن المعدل الأقصى من التخلص من حمض اللاكتيك من العضلات إلى الدم وعند السرعات الأسرع من سرعة العتبة الفارقة بلغت نسبته من ٦-١٤٪.

وأشارت دراسة **بانجسبو وزملائه** ١٩٩٠م إلى أن المعدلات الأعلى من انتقال اللاكتيك حدثت عندما كان تركيز اللاكتيك ما بين ٦-١٢ ملى مول/ لتر. بمتوسط قدرة ٨ ملى مول /لتر.

وتشير الأبحاث أيضاً أن سباحة تكرارات تحمل عند شدة مرتفعة يحقق تحسناً أكبر فى معدل انتقال اللاكتيك، كما أن الدلائل توضح أن انتقال اللاكتيك يجعله أقل تأثيراً على نقص PH العضلة (**روث، بروكس** ١٩٩٠م ROTH & BROOKS). ووفقاً لذلك، فإنه يجب على السباحين أن يحاولوا تأخير عملية الحمضية أثناء الأداء للمجموعات التكرارية إما بتقليل أزمتهم أو أن تكون التكرارات بمجموعات أقصر بحيث تنتهى هذه المجموعات التكرارية قبل أن تحدث عملية الحمضية،كما يجب أن تختصر الراحة البينية بين المجموعات حتى نحافظ على الـ PH قرب المستوى الطبيعى قبل أن نبدأ المجموعة التالية.

ثالثاً: تحسين قدرة المنظمات الكيميائية:

Improving Buffering Capacity.

إن مستويات حمض اللاكتيك بالعضلة يمكن أن تزيد لتصل ٤-٥ أضعاف مستويات الراحة، وذلك قبل أن يحدث انخفاض PH العضلة. وهذا يحدث نتيجة أن المنظمات التى تتحد مع أيونات الهيدروجين يضعف تأثيرها على PH العضلة. والمواد التى يمكن أن تخزن كمنظمات تشمل البيكربونات Bicarbonates والتى تعرف جملة بالمخزون القلوى أو الأحتياطى القلوى Alkaline Reserve، وكذلك بروتينات العضلة والفوسفوكرياتين.

وهناك حالتان Statements يُظهِرَ أهمية المنظمات الكيميائية للتمرين الرياضى هما.

١- أن المنظمات الكيميائية يكون لها دور فعال مع حمض اللاكتيك فى تأخير معدل الحمضية الوشيك الحدوث عند بداية التمرين مباشرة.

٢- إن تراكم حمض اللاكتيك فى العضلات بعد سباق الـ ١٠٠م يُحدث انخفاض فى الـ PH ليصل إلى ٦,٥، على الرغم من أن المقادير النموذجية

تنحصر ما بين ٦.٦ – ٦.٨ إذا لم تظهر المنظمات (**باركهاوس وآخرون ١٩٨٣م** PARKHOUSE, et al.) وتتواجد المنظمات فى كل من الدم وخلايا العضلة فى ثلاث أشكال رئيسة هى.

- بيكربونات Bicarbonates
- فوسفات Phosphates
- بروتينات Proteins

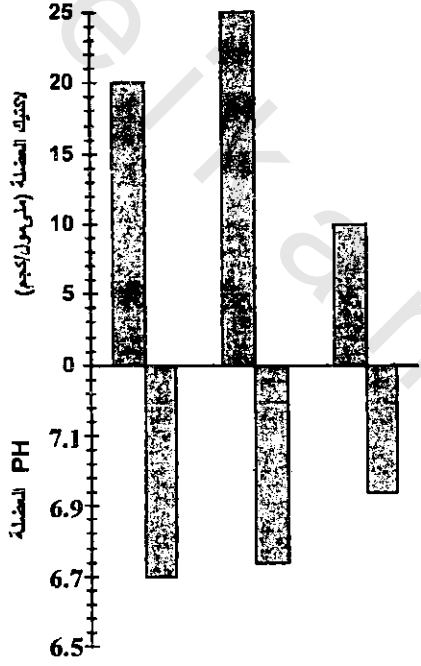
فبيكربونات الصوديوم Sodium Bicarbonates ، وبروتين الهيموجلوبين Hemoglobin Protein غالباً ما توجد فى الدم. وتحتوى العضلات على بيكربونات البوتاسيوم والماغنسيوم بكميات كبيرة. والفوسفات يوجد داخل الألياف العضلية فى شكل فوسفات الصوديوم. وتُعّد البروتينات المختلفة المتواجدة داخل الألياف العضلية هى المصدر الوافر للمنظمات إلى حّد بعيد.

وكما ذكرنا من قبل، فإن بيكرونات الصوديوم والهيموجلوبين هما المنظمان الرئيسيان للدم. وتظهر أهمية منظمات الدم فى انها تؤخر الانخفاض فى PH الدم أثناء التمرين الرياضى، مما يعطى الفرصة لمزيد من حمض اللاكتيك للانتقال من الألياف العضلية العاملة حيث الـ PH الأقل، وإلى الدم حيث الـ PH الأعلى.

وقد يؤدى الفوسفوكرياتين أيضاً وظيفة المنظم، حيث يساعد أيضاً فى تحقيق التوازن الحمضى القلوى داخل العضلة (**هنريكسون ١٩٩٢م** HENRIKSSON)، وتشير هذه الحقيقة إلى احتمالية أن حمل الكرياتين Creatine Loading قد حسن من قدرة المنظمات داخل الألياف العضلية للإنسان.

وغالباً ما يكون رد فعل منظومة المنظمات مباشراً عندما يبدأ التمرين الرياضى، مما يمنع انخفاض PH العضلة، ووفقاً لذلك، فإن هذه العملية تعتبر

هامة وضرورية للنجاح فى سباقات الـ ١٠٠م، ٢٠٠م. وقد تلعب أيضاً دوراً محدوداً فى محافظة السباح على سرعته القصوى خلال الـ ١٠- ١٢م الأخيرة فى سباقات الـ ٥٠م، حيث أن هذا النوع من السباقات يتطلب أن تكون السرعة سريعة جداً لفترة قصيرة جداً، فما يجعل معظم الطاقة المنفقة خلالها ناتجة من عملية التمثيل اللاهوائى، وعلى الأخص فى سباقات الـ ٥٠م،١٠٠م. ومع ذلك، فمن المحتمل أن تلعب المنظمات الكيميائية الدور الرئيسى فى تأخير زيادة تركيز اللاكتيك المنتقل من العضلات.



شكل (١٠) يبين تأثير تدريب السرعة على قدرة المنظمات فى الألياف العضلية الهيكلية لدى الإنسان

واعتقد العلماء، لفترة طويلة، أن التدريب الرياضى لا يحسن من قدرة المنظمات. ولكن الدراسة التى أجرها **شارب وزملائه** عام ١٩٨٦م SHARP and Associates وهى الدراسة الأولى، أثبتت أن ذلك ممكن، حيث أشارت الدراسة إلى حدوث تحسن فى قدرة المنظمات مع التدريب بلغت ٣٧٪ بمدى من (١٢٪ - ٥٠٪) لدى عينة الدراسة الذين تدربوا تدريباً لا هوائياً . وهذا التحسن يتوافق مع مقدار الزيادة الذى بلغ ٢٢٪ فى أدائهم لاختبار التبديل السريع حتى الإنهاك على الدراجة الأرجومترية بعد الخضوع لبرنامج تدريبى لمدة ٨ أسابيع و لـ ٤ أيام أسبوعياً، وكل جرعة تدريبيه تشمل على أداء (٨× ٣٠ث) على الدرجة الأرجومترية. كما أظهرت الدراسة ارتباط التحسن فى المنظمات بعد التمرين بمستوى حمض اللاكتيك فى العضلات العاملة والذى

زاد بمعدل ١٩٪ مما أدى إلى انخفاض PH العضلات لأقل من ٦,٧٠، والشكل الموضح رقم (١٠) يوضح التغيرات فى تراكم حمض اللاكتيك فى عضلات أفراد العينة وتأثير ذلك على PH العضلات فى حالتى قبل التدريب وبعده.

وعلى الرغم من أن معظم الدراسات أشارت إلى عدم وجود تغير بعد التدريب. إلا أن الأشكال التقليدية من تدريب التحمل والتى استخدامها شارب وآخرون ١٩٨٣م فى دراستهم أشارت إلى حدوث تحسن فى قدرة المنظمات مع هذه الأشكال من التدريب. ولكن لم يشر هذا البحث إن كان تدريب السرعة يمكن أيضاً أن يحدث زيادة فى قدرة منظمات الدم.

وقد حاول بعض الرياضيون زيادة قدرة المنظمات بدمائهم عن طريق تناول البيكربونات قبل سباقات السرعة الطويلة، وعرف هذا الإجراء بشحنة الصودا أو حمل الصودا Soda Loading وقررت نتائج هذه الدراسات وجود تحسناً فى الأداء (**جول** ١٩٩٧م JUEL، **ويليامز** ١٩٩٨م WILLIAMS).

أن التدريب الذى يؤدى إلى نقص مستوى PH العضلة قد يؤدى إلى زيادة قدرة المنظمات فى العضلات لان الأحماض قد تكون هى المثير الذى يُحدّث ذلك. ومن خلال هذا المفهوم، قام **مك كنيزى** وزملائه ١٩٨٣م MC-KENZIE بدراسة على عداءى الـ ٨٠٠م أظهرت زيادة كبيرة فى قدرة المنظمات لديهم بالمقارنة بعداءى الماراثون ومجموعة الأفراد الغير مدربين. ومن جهة أخرى، فإن قدرة المنظمات لعداءى الماراثون لم تختلف عن تلك التى حققها الأفراد الغير مدربين. وعلى عكس Contrary هذه النتائج، فإن شارب مع فريق من الباحثون (١٩٨٦م) قرروا أن قدرة لاعبى الدراجات للمسافات الطويلة (التحمل) تراكم فى عضلاتهم مستويات عالية من حمض اللاكتيك، ولكن كان هذا التراكم أقل فعلياً بالمقارنة بالأفراد الغير مدربين. والشكل السابق يبين متوسط تركيز حمض اللاكتيك بالعضلة لدى لاعبى الدراجات (التحمل)، المدربون بعد أداء التبديل السريع على الدراجة الأرجومترية حتى الإنهاك.

وتوحى مثل هذه النتائج إلى أن تدريب التحمل سوف لا يحسن من قدرة المنظمات بل قد يقللها، فى حين أن تدريب السرعة يمكن أن يُزّيد من قدرتها إلى حّد بعيد. لذلك، فالاهتمام يجب أن يكون لتدريب السرعة، لأن إنتاج أحماض شديدة كثيراً كل أسبوع قد يهدم **Destroy** منظمات البروتين بدلاً من زيادتها.

رابعاً : تنمية تحمل الألم. Improving Pain Tolerance.

بجانب تأثير حمض اللاكتيك على تقليل معدل استعادة تكوين الـ ATP، فإن الأحماض الشديدة **Severe acidosis** تسبب أيضاً ظهور الألم فى العضلات العاملة. ويؤثر هذا الألم على أداء الرياضيون بوسائل عدة اعتماداً على تحملهم لهذا الألم. فنجد إن بعض الرياضيون يقللون من أدائهم عندما يشعرون بالألم الناتج عن ظهور الأحماض نتيجة ضعف تحملهم لهذا الألم. ولكن معظم الرياضيون – وهذا هو المفروض ممن لديهم دافعيه إنجاز عالية – لديهم طموح عال وإرادة كافية للكفاح فى الأداء على الرغم من وجود هذا الألم.

فالألم الناتج عن الأحماض يؤثر بشكل مباشر على سباقات السباحين وخاصة سباقات المسافات المتوسطة، حيث يركز بعض السباحين على أنهم لن يستطيعوا إنهاء السباق بقوة كافية نتيجة الألم الناتج عن هذه الأحماض، مما يؤدى إلى هبوط أدائهم استجابة لهذا الألم. وقد يخطئ السباحين فى تقدير تأثير هذه الأحماض وبالتالى يكون الهبوط فى الأداء مبالغ فيه.

ونحن لا نعرف لماذا بعض الرياضيون يتحملون الألم الناتج من الأحماض بدرجة أفضل من البعض الأخر (ماجلشو ٢٠٠٣م)، ومما لاشك فيه، أن الألم يرتبط برغبة هؤلاء الرياضيون فى النجاح والإنجاز، وبالتالى، فإنه يرتبط بالدافعية والإذعان للتدريب **Amenable to Training**، ومن ناحية أخرى، فإن بعض الدلائل تشير إلى أن تحمل الألم هو ظاهرة تدريبية (ظاهرة قابلة للتدريب) **Trainable Phenomenon**، ويشير **هايز، دافيز، لامب** ١٩٨٤

HAYS, DAVIS, & LAMB أن الرياضيون قادرون على تنمية تحمل الألم الناتج عن الأحماض. حيث أجروا دراسة على الفئران أكدوا من خلالها على قدرتها على تحمل الألم، حيث تدربوا على سباحة شديدة أحدثت ألماً، ثم بعد ذلك، ظلوا على لوحة ذات حرارة بلغت ٥٥° لأطول فترة قبل القفز من عليها. أما لدى الإنسان، فإن الأفراد الذين أجريت عليهم الدراسة زادت حدودهم على تحمل الألم الناتج عند الأحماض. وقد يكون ذلك نتيجة أنهم دربوا أنفسهم على تجاهل Ignore الألم أو على الأقل تحمل هذا الألم بشكل أفضل.وقد يكون ذلك أيضاً نتيجة المواظبة Persevere على التدريب عند السرعات التى كانوا من قبل يهبط عندها الأداء.

التكيفات التى تحسن القدرة على التدريب.

Adaptations that improve the Ability to Train.

لاشك أن تأثيرات التدريب التى تحسن من قدرة الفرد على التدريب لها أهمية كبيرة، لأنها تجعل الفرد الرياضى يتدرب عند شدة أعلى للعديد من الأيام على مدا الموسم التدريبى. وهذه القدرة فى المقابل، تُحّدث استثارة أكبر لإنتاج تكيفات التدريب والتى تلعب دوراً فى تحسن قدرة الفرد على تأخير ظهور الأحماض أثناء السباقات. وهناك تأثيرين رئيسيين للتدريب يُحَسّنا من قدرة الفرد الرياضى على التدريب، هما الزيادة فى مخزون العضلة من الجليكوجين، وزيادة معدل تمثيل الدهون، وسوف نتناولهما بالتفصيل فيما يلى:

١ـ زيادة مخزون العضلة من الجليكوجين:

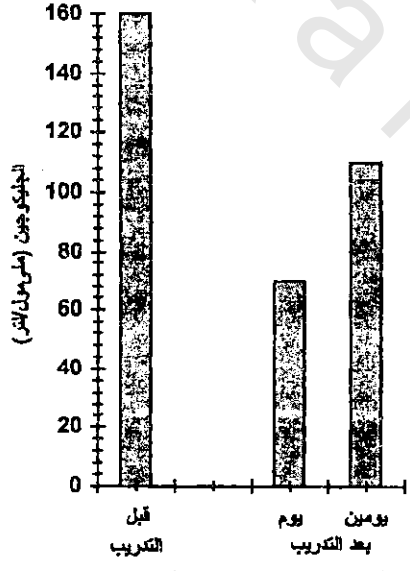
Increased Muscle Glycogen Storage

يعتبر جليكوجين العضلة هو المصدر الرئيس للوقود فى جميع سباقات السباحة الأطوال من الـ٢٥م. ومع الراحة القصيرة، والتغذية الجيدة، فإنه عادة ما يخزن الجليكوجين الكافى فى عضلات الرياضيون حتى يمكنها المّد بالطاقة التى تحتاجها العضلات فى أى سباق حتى الـ ١٥٠٠م حرة. ولكن

التدريب شيء مختلف، حيث أن ساعة من التدريب يمكن أن تقلل من مستويات جليكوجين العضلة إلى حدٍّ بعيد.

وتحتوى عضلات رياضى التحمل المدربين جيداً على ١٢٠ – ١٦٠ جرام من الجليكوجين المخزون لكل كيلو جرام من النسيج العضلى الرخو Wet Muscle Tissue وتشير التقديرات إلى أن الجليكوجين الكافى هو الذى يسمح للفرد الرياضى على السباحة عند سرعة ذات شدة لمدة ١,٥ ساعة تقريباً. ومع ذلك، فأثناء التدريب، فإن الدهون ومقدار قليل من البروتين يتم تمثيلهما للحصول على الطاقة، مما يؤدى إلى عدم نضوب الجليكوجين خلال هذه الفترة الزمنية. ويشير العلماء إلى أن الفرد الرياضى يمكن أن يفقد أكثر من ثلث جليكوجين العضلات العاملة خلال فترة تدريبية كاملة مدتها ساعتين.

والشكل التالى يوضح نتائج دراسة عن محتوى العضلات الدالية Deltoid Muscles من الجليكوجين لدى السباحين والتى قيست قبل وبعد أداء مجموعة تكرارية من ٤٠ × ١٠٠م مع ١٥ ثانية راحة فترية بين التكرارات على أن تؤدى هذه التكرارات بسرعة عالية. ويبين الشكل أيضاً أن الجليكوجين بالعضلات قَلّ من المدى العالى من ١٦٠ ملى مول / كيلو جرام من النسيج العضلى الرخو قبل بدء أداء المجموعة التكرارية إلى أقل من ٨٠ ملى مول / كيلو جرام بعد نهاية المجموعة. كما قيست أيضاً مستويات الجليكوجين بعد ٢٤ ساعة من فترة التدريب.



شكل (١١) يبين نضوب الجليكوجين من العضلات الدالية للسباحين أثناء سباحة مجموعة تكرارية عالية الشدة (تحمل).

وكما هو موضح بالشكل، فإن السباحين قد استعادوا حوالى نصف جليكوجين العضلة المفقود بعد فترة راحة لمدة يوم واحد فقط.

إن انتظام السباحون فى التدريب يوماً بعد يوم من المحتمل أن يؤدى إلى إنخفاض مستويات جليكوجين العضلات العاملة. وبالتالى سيكون نضوب الجيلكوجين من هذه العضلات أكبر، وبالطبع، فإذا كان التدريب مستمراً لفترة أطول، مثل مرتين فى اليوم، فإن السباحين يحتاجون للراحة فى حدود ١٣ ساعة بين فترات التدريب. لذا فمن المحتمل أن يكون انخفاض مستوى جليكوجين العضلة لديهم أكبر بالمقارنة بالسباحين الذين يتدربون مرة واحدة يومياً.

ويمكنا أن نؤكد أن تدريب التحمل يزيد من مقدار الجليكوجين الذى يمكن تخزينه فى العضلات المشاركة فى السباحة، وقد أشارت الدراسات فى هذا الصدد أن مقدار الزيادة بلغ ٤٠٪ - ٦٠٪ (**مك أردل ، كاتش، كاتش** ١٩٩٦م) وفى الواقع، فإن هذه الزيادة قد تكون أكثر، حيث أن الرياضيون الذين يتدربون ساعتين أو أكثر يوماً، من المحتمل أن ينضب جليكوجين العضلة لديهم بصورة أسرع مما يستطيعون استعادته يوماً بعد يوم. ومع ذلك، فإن المقدار الحقيقى من الجليكوجين المخزون فى العضلات قد يكون أقل من المستوى الأقصى الذى يمكن للعضلات الاحتفاظ به، ووفقاً لذلك، فإنه من المحتمل أن يحقق **Realize** السباحون الزيادة الكاملة المحتملة فى جليكوجين العضلة عندما يحصلون على الراحة لبعض الأيام أو يؤدون السباحة السهلة (الطويلة) لعدة أيام وفى هذه الحالة، فإنهم سوف يستفيدون من تأثير التعويض الزائد **Super Compensation** لمقدار الجليكوجين المخزون فى عضلاتهم بما يتخطى المقادير الطبيعية للعضلات الغير مدربة والتى أشرنا إليها وهى ما بين ٤٠٪ - ٦٠٪. ومع ذلك، فإنه حتى مع الراحة، فإن الرياضيون سوف لا يحققون أى زيادة فى مخزون جليكوجين العضلة إلا إذا تناولوا أغذية عالية الكربوهيدرات (٦٠٪ على الأقل من السعرات الحرارية التى يستهلكها السباح يومياً).

كما يلعب التدريب دوراً فاعلاً فى جعل الرياضيون يقللون من استخدام معدلات كبيرة من الجليكوجين. حيث يشير **هنريسكون** ١٩٩٧م HENRIKSSON، **مك أردل، كاتش، كاتش** (١٩٩٦م) إلى أنه بعد أداء تدريب التحمل لعدة أسابيع أصبح الرياضيون يستخدمون مقادير أكبر من جلوكوز الدم والدهون لاستعادة دورة الـ ATP. فهذا التكيف الذى حدث يقلل من جليكوجين العضلة المستهلك أثناء أداء التدريب، وبالتالى سيتوفر المزيد من الجليكوجين فى العضلة لاستخدمه فى الفترات التدريبية اللاحقة، ويؤدى ذلك إلى زيادة قدرة الأفراد الرياضيون على التدريب بمزيد من الشدة يوم بعد آخر.

وليس هناك طرق خاصة من التدريب يمكنا أن نقول أنها تحقق الزيادة فى مقادير الجليكوجين الذى يمكن تخزينه فى العضلات. ولكن يمكن أن نشير إلى أن البرنامج التدريبى المختلط والذى يشمل على أحمال التدريب المختلفة من تحمل وسرعة هو الذى يساعد على استخدام المزيد من جليكوجين العضلة يومياً، ويعطى استثارة كافية لزيادة الكمية المخزونة منه، وهذا لا شك لا يحدث سوى فى العضلات التى خضعت للتدريب.ونضيف أن هناك أنشطة أخرى غير السباحة قد تكون غير فعاله إذا أهمَلتَ Neglect استخدام العضلات الضرورية التى يستخدمها السباحون فى الأداء. لذا، قد لا تتحسن قدرة هذه العضلات على تخزين الجليكوجين نتيجة عدم استخدامها فى تدريب السباحة.

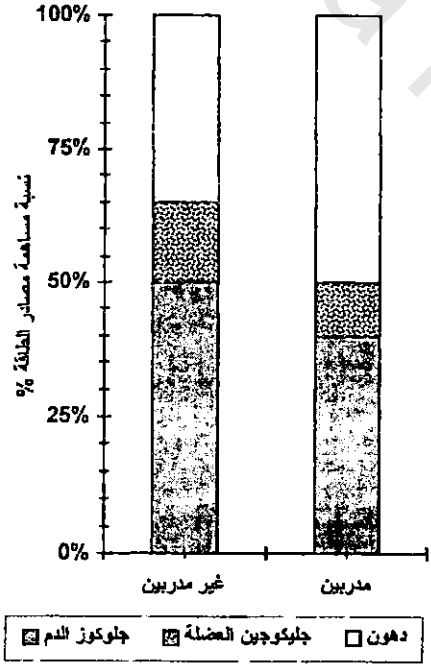
٢ـ زيادة تمثيل الدهون: Increased fat Metabolism.

من المعروف لدينا أن الطاقة المحررة من تمثيل الدهون تكون بطيئة جداً لتحقيق متطلبات الفرد الرياضى من مركب الـ ATP أثناء سباقات السباحة الطويلة (التحمل)، على الرغم من أن تمثيل الدهون يعطى مقادير كبيرة من الطاقة لإعادة تكوين الـ ATP أثناء التدريب الذى يستمر لساعات طويلة، ونتيجة ذلك، يقل استخدام جليكوجين العضلة. ووفقاً لذلك، فإن

تمثيل الدهون يوفر Spares جليكوجين العضلة لاستخدامه أثناء أداء المجموعات التكرارية ذات الشدة، مما يُمكّن السباحون على أدائها بالسرعة العالية المطلوبة. وهذا بالإضافة إلى أن الزيادة فى تمثيل الدهون يقلل من الجليكوجين المستهلك أثناء أداء المجهود، مما يوفر المزيد منه لاستخدامه فى الفترات التدريبية اللاحقة والتى تشمل على تدريبات بشدة عالية.

ومن فوائد تدريب التحمل أنه يزيد من الطاقة المتوفرة من الدهون عند أداء أى سرعة سباحة أقل من الأقصى (**جوكندروب، ساريز، واجنماكرز** ١٩٩٨م JEUKENDRUP, SARIS & WAGENMAKERS). فتدريب التحمل يُحدث ذلك عن طريق زيادة مقدار الدهون المخزونة فى العضلات، وكذلك عن طريق زيادة ميتوكوندريا العضلة لدرجة أن مزيد من الأحماض الدهنية يمكن أكسدتها (**هولوسوزى وآخرون** ١٩٨٦م). فقبل التدريب، فإن النسبة المئوية من الطاقة الإجمالية المحررة من الدهون أثناء فترة التدريب لمدة ساعتين بلغت ما بين ٣٥٪ - ٤٠٪، فالتدريب يمكن أن يزيد هذه النسبة إلى ٥٠٪ أو ٦٠٪ (**هولوسوزى وآخرون** ١٩٨٦م).

فالتدريب يزيد من الدهون المستخدمة لدى الذكور بدرجة تفوق تلك التى تحدث لدى الإناث (**نكلز** ١٩٩٧م NICKLAS). وعموماً، فإن الإناث لديهم نسبة مئوية اكبر من وزن الجسم دهون بالمقارنة بالذكور، وعلى ذلك، فإن الإناث سيكون لديهن نتيجة ذلك المزيد من الدهون للحصول على الطاقة بالمقارنة بالذكور، ولكن قدرتهم على



شكل (١٢) يبين التغيرات في نسبة تمثيل الدهن وجلوكوز الدم وجليكوجين العضلة أثناء مجهود تحمل معتدل بعد التدريب.

تحسين هذه الوظيفة خلال التدريب أقل. والشكل رقم (١٢) يوضح التغيرات فى النسبة المئوية للطاقة الناتجة من الدهون وجلوكوز الدم وجليكوجين العضلة أثناء فترات من التدريب معتدل الشدة. فنجد أن مساهمة الدهون تزيد إلى حد بعيد، وفى المقابل تقل كمية جليكوجين العضلة وجلوكوز الدم التى تم تمثيلها للحصول على الطاقة.

إن أفضل تدريب يؤدى إلى تنمية عملية تمثيل الدهون هو سباحة مسافات طويلة بطيئة، فهذا النوع من التدريب يعطى أفضل تنبية لزيادة معدل الدهون المستهلكة، لأن الدهون هى المصدر الرئيسى للطاقة عند سرعات السباحة ما بين البطيئة والمعتدلة.

ففى دراسة أجرها **إيسل وآخرون** ١٩٩٧م .EISELE, et al أشارت نتائجها إلى أن المعدل الأكبر لتمثيل الدهون حدث عند المجهود الأقل من ٥٠٪ من حدة الأقصى وعند معدلات نبض القلب ما بين ١٣٠-١٥٠ن/ق، ولمزيد من التحديد عند مستوى ٧٠٪ من المعدل الأقصى لنبض القلب لكل فرد رياضى على حدة.

كما أن التكيف الأساسى الناتج عن زيادة معدل الطاقة المحررة من تمثيل الدهون هو زيادة نشاط الأنزيمات الخاصة بتمثيل الدهون. وهذا التكيف يكون بالألياف العضلية المستخدمة فى التدريب. وعلى الرغم من ذلك، فإن السباحة داخل الماء هى أفضل طريقة لتحقيق ذلك.

تأثيرات التدريب التى تحسن الأداء:

Training Effects that can improve Performance

فيما يلى يمكننا أن نقدم ملخصاً لتأثيرات التدريب التى تساهم فى تحسين الأداء فى السباقات وكذلك فى التدريب.

١) التأثيرات التكنيكية Technique Effects .

تحسن فى ميكانيكية أداء طرق السباحة يقلل من الطاقة المطلوبة للسباحة عند أى سرعة أقل من السرعة القصوى.

٢) تأثيرات التمثيل اللاهوائي Anaerobic metabolism Effects.

تتمثل هذه التأثيرات فى زيادة معدلات إعادة تكوين الـ ATP والتى تسمى بالجلكزة اللاهوائية، حيث تزيد القدرة على أداء أقصى سرعة بعد الـ ٥ ثوان الأولى من السباق. وهذا التأثير ناتج عن زيادة نشاط الأنزيمات اللاهوائية، مثل انزيمات النوسفوريليز، والفوسفوفر كتوكينيز ، والبروفيك كينيز (Phosphorylase, Phosphofructokinse, Pyruvatekinase) وأخيرا انزيم لاكتيك دى هيدروكينيز (lactate dehydrogenase).

٣) تأثيرات القدرة Power Effects.

إن زيادة قدرة أداء طرق السباحة المختلفة عند أقصى سرعة يمكن أن تتحقق من خلال العوامل الآتية:

١- زيادة القوة العضلية وسرعة انقباض العضلات.

٢- زيادة مخزون العضلة من الـ CP.

٣- التحسن فى الوحدات العضلية المجندة يؤدى بالضرورة إلى أن يكون الانقباض العضلى للألياف صحيحا ويكون فى التوقيت المناسب.

٤) تأثيرات التمثيل الهوائي Aerobic Metabolism Effects.

تتمثل هذه التأثيرات فى نقص معدل وشدة الأحماض المتكونة أثناء السباقات. وينتج ذلك نتيجة عاملين هما.

- نقص معدل أنتاج حمض اللاكتيك فى العضلات.
- زيادة معدل انتقال حمض اللاكتيك من هذه العضلات.

أ) هناك العديد من تكنيكات التدريب تحدث نقصا في معدل إنتاج حمض اللاكتيك وهي:

١- زيادة انتشار الأكسجين من الرئتين والناتج عن تحسين حجم الهواء الذى يتم تبادله كل دقيقة، والزيادة فى الشعيرات الدموية الموجودة حول الحجيرات الهوائية.

٢- الزيادة فى حجم الدم بما يسمح للدم بأن يأخذ دورته خلال الجسم بشكل أسرع.

٣- الزيادة فى خلايا الدم الحمراء بدرجة تجعل الدم يحمل المزيد من الأكسجين.

٤- الزيادة فى الشعيرات الدموية المحيطة بالعضلات مما يزيد من انتشار الأكسجين.

٥- تغير فى تحول الدم Blood shunting لدرجة أن المزيد من الدم وما يحمله من أكسجين يصل إلى العضلات العاملة خلال كل دقيقة من التمرين.

٦- الزيادة فى الدفع القلبى لدرجة أن الدم يسرع من دورته من الرئتين إلى العضلات.

٧- الزيادة فى الميوجلوبين لدرجة أن المزيد من الأكسجين يمكن انتقاله إلى ميتوكوندريا العضلات كل دقيقة.

٨- الزيادة فى معدل الجلوكوز- الألنين المدفوع لدرجة أن حمض اللاكتيك يمكن نقله قبل إتحاده مع أيونات الهيدروجين لتكوين حمض اللاكتيك.

٩- الزيادة فى نشاط الأنزيمات الهوائية للدرجة التى تؤدى إلى أن التمثيل الهوائى يستمر بمعدل أسرع.

١٠- الزيادة فى حجم وعدد الميتوكوندريا فى العضلات لدرجة أن محيط التمثيل الهوائى يصبح أوسع وأكثر عددا.

ب)) هناك العديد من التكيفات تزيد من معدل انتقال حمض اللاكتيك من الألياف العضلية العاملة نذكر منها ما يلى:

١- زيادة حجم الدم وتحسن عملية الدفع القلبى من الألياف العضلية العاملة فى زمن أقل، بالتالى انتقال المزيد من اللاكتيك من الألياف العضلية العاملة إلى مجرى الدم.

٢- زيادة نشاط حمض اللاكتيك المنقول من الألياف العضلية العاملة.

٣- الزيادة فى الشعيرات الدموية الموجودة حول الألياف العضلية العاملة لدرجة أن مزيد من حمض اللاكتيك يتم تبادله داخل وخارج الدم فى كل دقيقة من التمرين.

٤- التحسن فى الدم المدفوع لدرجة أن المزيد من اللاكتيك ينتقل من الألياف العضلية العاملة فى كل دقيقة من التمرين.

٥) تأثيرات التدريب التى تحسن القدرة على التدريب:

Training Effects That Improve the Ability to Train.

١- الزيادة فى مقدار الجليكوجين المخزون فى الألياف العضلية العاملة لدرجة أن الأفراد الرياضيين يمكنهم التدريب عند شدة أكبر.

٢- الزيادة فى معدل تمثيل الدهون لدرجة أن العضلات تستخدم المزيد منه للحصول على الطاقة والتقليل من استخدام الجليكوجين.

obeikandl.com

الفصل الثالث

الاستجابات الفسيولوجية للتمرين الرياضى

Physiological Responses to Exercise

obeikandl.com

obeikandl.com

الفصل الثالث

الاستجابات الفسيولوجية للتمرين الرياضى

Physiological Responses to Exercise

يتحقق الأداء الرياضى وفق عمل الجهاز العضلى اعتماداً على رد فعل الجهاز العصبى ووفقاً لاستجابة الجهاز الدورى التنفسى، ويحتوى الجسم البشرى على ثلاث أنواع من العضلات هى:

١- العضلات الناعمة Smooth Muscles والتى تشكل الأعضاء المختلفة بالجسم.

٢- العضلات القلبية Cardiac Muscles والتى تكون القلب.

٣- العضلات الهيكلية Skeletal Muscles وهى التى ترتبط بالعظام المختلفة وحركتها.

كما أن انقباض العضلات الهيكلية هو الذى يجعل الرياضيون قادرون على تحريك أطرافهم أثناء الأداء الرياضى، لذا فإن الاهتمام بوظيفتها وتنميتها هام وضرورى لكل من المدربون والرياضيون.

تركيب ووظيفة العضلات Structure and Function of Muscles:

تنقبض العضلات عندما تأتيها الأوامر (الرسائل) من الجهاز العصبى المركزى، وتأتى هذه الرسائل فى شكل نبضات كهربائية Electrical Impulses تُرسَل خلال الألياف العصبية بسرعة تعادل سرعة الضوء Lightning Speed حتى تصل إلى نقاطها المرتبطة بها فى الألياف العضلية، حيث تجعل العضلات تنقبض، والعضلات عبارة عن مجموعات من الألياف العضلية التى ترتبط بالعظم، وعادة ما تمتد إلى المفاصل، وعندما تنقبض أو تقصر هذه العضلات، فإنها تشد النهاية المرتبطة بالعظم الخاص بها فى اتجاه النهاية الأخرى للعضو، والذى يرتبط بعظمة أخرى، ونحن عادة ما نتحدث عن العضلات كانقباض فى مجملها، ولكن فى الحقيقة أن الذى ينقبض بعض الألياف

داخل كل عضلة، فعندما تكون الأحمَال شديدة، فإن عدد كبير من الألياف تنقبض لمواجه هذه المقادير الكبيرة من المقاومة، وعندما يكون الحمل خفيفاً، فإن جزء قليل فقط من الألياف هو الذى ينقبض للتغلب على هذا الحمل، أى أن عدد الألياف التى تنقبض يتوقف على شدة الحمل الواقع على العضلة.

وتتكون العضلات من الآلاف من الألياف القيقة Tine Fibers، كل منها يكون خلية عضلية واحدة، وتترتب الألياف العضلية داخل العضلة فى شكل وحدات حركية، والعصب الحركى الواحد يخدم كل وحدة حركية من خلال الفروع التى تصل للألياف العضلية خلال الوحدة الحركية، كما أن الوحدات الحركية التى تنقبض فى وحدة زمن واحدة هى التى تحدد القوة الانقباضية داخل العضلة، فالقليل من الوحدات (القليل من المئات من الألياف) سوف ينقبض عندما يكون المطلوب من القوة منخفض، وهذا يحدث عند أداء المجهود الرياضى الخفيف، فى حين أن أعداد كبيرة من الوحدات الحركية سوف تنقبض عندما يكون المطلوب من القوة كبيراً، وهذا ما يحدث عند أداء المجهود الشديد، وتسمى تلك الألياف العضلية التى تنقبض خلال الوحدة الحركية بالوحدة الحركية المجندة (المحتشدة) motor-unit recruitment أو الوحدة الحركية العاملة.

وهناك طريقة واحدة للمحافظة على الأداء لفترة زمنية طويلة وهى تناوب المجهود بين المجموعات من الوحدات الحركية لدرجة أن بعضها ينقبض والبعض الآخر يكون فى راحة (لا ينقبض)، فعدد محدد من الوحدات الحركية داخل العضلة تؤدى العمل المطلوب حتى تصل للتعب، وعندما يحدث ذلك، فإن وحدات حركية أخرى داخل العضلة نفسها والتى كانت فى حالة راحة سوف تجند لتحل محل الوحدات المُجَهَدة التى تعبت، وبذلك يمكن المحافظة على مقدار القوة الناتجة.

ويتفق معظم العلماء على إننا لا نستخدم كل الوحدات الحركية فى العضلة الواحدة معاً فى توقيت واحد، حتى أثناء المجهود الأقصى (ويلمور،

كوستيل COSTILL & WILMOR (١٩٩٩م)، وأن الألياف العضلية التى لا تستخدم قد تضمر Atrophy، فالعمل العضلى الخفيف حتى المتوسط يجب أن يستمر لفترة زمنية كافية حتى يمكن للألياف داخل العضلة المنقبضة أن تتناوب فى العمل المشاركة فيه، ووفقاً لذلك، فإن هذا النوع من العمل سوف يؤدى إلى تحسن تحمل الألياف العضلية، أما فى حالة العمل العضلى قرب المجهود الأقصى، فإن العضلة سوف تستخدم كل أو معظم أليافها لمواجهة المقاومة الواقعة عليها (حمل العمل)، مثل هذا النوع من العمل يمكن أن يستمر لفترة زمنية قصيرة فقط. لذا، فإن التأثير الرئيسى لمثل هذا النوع من التدريب يحسن من القوة والقدرة العضلية والقدرة اللاهوائية للفرد الرياضى.

ومن أهم العوامل التى تؤثر على قدرتنا على المحافظة على سرعة الأداء الرياضى الشخصية (الفردية) الخاصة بكل منا، هو عدد الوحدات الحركية التى يجب أن تنقبض فى أى وحدة زمنية بحيث تستطيع العضلة المحافظة على سرعة انقباضها، فإذا كان عدد الوحدات الحركية المشاركة فى المجهود المبذول كبيراً، فإن المتبقى من الألياف - وهو قليل - سوف يشارك فى أداء العمل المطلوب فى الجزء الأخير من الحركة، مما يؤدى إلى حدوث التعب مبكراً، أما إذا كان المشارك فى العمل أعداد قليلة من الوحدات الحركية، فإن أعداد أكبر منها سوف تكون قابلة للقيام بالعمل فى الجزء الأخير من الحركة، وبالتالى سيكون الفرد قادراً على المحافظة على السرعة المطلوبة لفترة أطول.

تأثير التدريب على الألياف العضلية البطيئة والسريعة:

Effects of Training on ST and FT muscle fibers:

تشير الأبحاث العلمية أن تدريب التحمل يزيد من القدرة الهوائية للألياف العضلية البطيئة وكذلك الألياف العضلية السريعة، فالألياف العضلية السريعة المتدربة لا تصل بأى حال من الأحوال إلى مستوى القدرة الهوائية للألياف العضلية البطيئة المتدربة. ومع ذلك، فالفرد الرياضى يمكنه زيادة

القدرة الهوائية لألياف العضلية السريعة للمستوى الذى يتجاوز surpasses القدرة الهوائية للألياف البطيئة الغير مدربة (**سالتين وآخرون** ١٩٧٧م SALTIN, et al.,) وعلى ذلك، فإن تدريب القوة والسرعة يؤدى إلى زيادة حجم وسرعة انقباض الألياف العضلية السريعة والبطيئة، بالإضافة إلى زيادة قدرتها على سرعة تحرير الطاقة (**تيش، لارسون** TESCH & LARSSON (١٩٨٢م). ومع ذلك، فإن الألياف السريعة تمتلك احتمال أكبر للزيادة فى قدرتها على تحرير الطاقة بالمقارنة بالألياف العضلية البطيئة. وتأكيداً لذلك، فإن الألياف العضلية السريعة لدى الفرد المتدرب عادة ما تكون أكبر من الألياف البطيئة. وكذلك، فإن الفرد الرياضى يمكنه زيادة سرعة انقباض وقوة الألياف العضلية البطيئة التى يجب أن يمتلكها لاعبى السرعة والتى لا يمكن أن تصل أبداً لمستوى الألياف العضلية السريعة الغير مدربة.(*)

أنواع الألياف العضلية وقدرة الرياضى:

Fiber Types and Athletic Ability:

إن العضلات لدى معظم الجنس البشرى تحتوى على مقادير متعادلة تقريبا من الألياف العضلية السريعة والبطيئة، ففى داخل مجموعة الألياف السريعة، فإن ٣٣٪ من الألياف تقريبا تصنف إلى ألياف "أ" FTa، ١٤٪ ألياف "ب" FTb، الباقى ٣٪ هى ألياف "ج" FTc (**سالتين وآخرون** ١٩٧٧م). ومع ذلك، فبعض الأشخاص يمتلكون عضلات تتكون من مقدار أكبر كثيرا من نوع واحد من الألياف بالمقارنة بالنوع الأخر. ومثال لذلك، قرر **كوستل** (١٩٧٨م) أن النسبة المئوية من الألياف العضلية البطيئة فى العضلة الدالية Deltoid muscles لدى بعض السباحين تزيد بدرجة كبيرة عن ٨٠٪، وتقل عن ٢٠٪ لدى البعض الآخر. فالعضلات لدى كلا من الذكور والإناث قد تحتوى على زيادة مفرطة فى نسبة الألياف سواء السريعة أو البطيئة.

(*) ولمزيد من المعلومات يراجع للمؤلف كتاب فسيولوجيا الرياضة وتدريب السباحة، الجزء الأول، مركز الكتاب للنشر بالقاهرة، المركز العربى للنشر بالزقازيق، ٢٠٠٢م.

وقد تضاربت آراء العلماء حول الطاقة التى يستهلكها الفرد الرياضى للأداء سواء السرعة أو التحمل والتى تُحَدّد وفقاً للنوع السائد Predominant Type من الألياف التى تحتويها العضلة. فالفرد الرياضى الذى يمتلك النسبة المئوية العالية من الألياف العضلية السريعة، فإنه يمتلك طاقة كامنة أكبر للنجاح فى سباقات السرعة، لأن لدية المزيد من الألياف التى يمكنها أن تنقبض بسرعة وبقوة أكبر. ولكن هؤلاء الرياضيون تكون فرصة الفوز لديهم فى سباقات التحمل ضعيفة، حيث أنهم يمتلكون أعداد صغيرة من الألياف العضلية البطيئة، مما يؤدى بالتالى إلى نقص القدرة على التزود بالطاقة هوائياً. ووفقاً لذلك، فمثل هؤلاء الرياضيون يتجهون إلى التعب مبكراً لأن حمض اللاكتيك سوف يتراكم فى عضلاتهم.

وعلى الرغم من وضوح النسبة المئوية التى تُرجح Preponderance أن الألياف العضلية البطيئة شرط لسباقات التحمل وأن الألياف السريعة شرط للسباقات التى تتميز بالسرعة، فإن الدراسات العلمية لم تُشِر إلى وجود علاقة دالة (قوية) بين النسبة المئوية لنوع الليفة فى عضلات السباحين وارتفاع مستوى الأداء فى سباقات محددة (**كامبل، بونين، كيربى، بيلكاسترو** ١٩٧٩م CAMPBELL, BONEN, KIRBY, & BELCASTRO)، (**كومى، كارلسون** ١٩٧٨م COMY & KARLSSON). وبمعنى آخر، فإن السباحين الذين لديهم نسبة مئوية أكبر من الألياف العضلية السريعة ليس عادة هم أسرع سباحى السرعة، أو أن السباحين الذين لديهم نسبة مئوية أعلى من الألياف العضلية البطيئة هم فى الغالب أسرع سباحى المسافات. فهذه الحالة من المحتمل حدوثها لأن تنوع مسافات السباقات التنافسية يسمح للسباحين للتغلب على أى عوائق بأقل نسبة مئوية إيجابية من نوع الليفة وذلك من خلال عوامل أخرى تلعب دوراً حيوياً فى ذلك مثل التدريب الجيد وميكانيكية الأداء الصحيحة وقدرة السباح على التسابق الفعال (دافعية الإنجاز)... الخ.

ويجب أن نعلم أن الاختلافات بين مسافات سباقات السرعة والتحمل غير كبيرة فى السباحة بالمقارنة بالرياضات الأخرى وبصفة خاصة ألعاب المضمار فى ألعاب القوى، فأقصر سباق فى السباحة هو الـ٥٠م والذى يتطلب لأدائه فى سباقات الحرة ما بين ١٩-٢٥ث لأسرع السباحين من الذكور والإناث، بينما لاعبى المضمار يعدوا هذه المسافة فى ٥-٦ث، وفى المقابل، فإن أطول سباق فى السباحة هو ١٥٠٠م حرة، ويتطلب أدائها ما بين ١٤-١٨ دقيقة للسباحين المصنفين، بينما سباق الماراثون فى ألعاب القوى يستغرق عدة ساعات لأدائه.

إن النسبة المئوية الكبيرة من الألياف العضلية السريعة هى فى الحقيقة ضرورية للنجاح فى سباقات الـ٥٠م. ومع ذلك، ففى كل السباقات الأخرى، فإن السباحين فى حاجة لكلاً من السرعة والتحمل. ولذا، فإن السباحون يحتاجون فى الغالب لدرجة متعادلة من كلاً من النوعين الرئيسين من الألياف العضلية. ولكن فى الحقيقة فإن سباحى مسابقات الـ١٠٠، ٢٠٠م تكون فرصتهم أفضل للفوز إذا ما كان لديهم نسبة مئوية كبيرة من الألياف العضلية السريعة، وبالمثل فإن سباحى الـ١٥٠٠م أصحاب الألياف العضلية البطيئة تكون فرصتهم أفضل للنجاح فى مثل هذه المسافة، والجدول التالى رقم (٣) يوضح خصائص هذه الألياف.

جدول (٣)

خصائص الألياف العضلية السريعة والبطيئة

الخصائص	الألياف السريعة		الألياف البطيئة
	FTa	FTb	ST
سرعة الانقباض	سريع	سريع	أبطئ
القدرة على التمثيل اللاهوائى	أكبر	أكبر	أقل
القدرة على التمثيل الهوائى	قليل	أقل	أكبر
الحجم ❖	أكبر	أكبر	أصغر
التمثيل الهوائى	قليل	أقل	أكبر
القدرة	أكبر	أكبر	قليل

تابع جدول (٣)

خصائص الألياف العضلية السريعة والبطيئة

الخصائص	الألياف السريعة		الألياف البطيئة
	FTa	FTb	ST
الميتوكوندريا	قليل	أقل	أقصى
الشعيرات	قليل	أقل	أقصى
نشاط الأنزيمات اللاهوائية	أكبر	أكبر	قليل
نشاط الأنزيمات الهوائية	قليل	أقل	الأكبر
نشاط انزيم ATPase	زيادة	زيادة	قليل
نشاط انزيم CPK	زيادة	زيادة	قليل
محتواها من الجليكوجين	لا اختلاف		
محتواها من الـ ATP	لا اختلاف		
محتواها من الـ CP	زيادة	زيادة	قليل
محتواها من الدهون	قليل	قليل	زيادة
محتواها من البروتين	زيادة	زيادة	قليل
محتواها من الميوجلوبين	قليل	أقل	أقصى
محتواها من الكالسيوم	زيادة	زيادة	أقل
قدرة المنظمات	زيادة	زيادة	أقل

ملحوظة: بالنسبة للحجم، فإن الألياف السريعة أكبر حجماً لدى الشخص العادى، هذه العلاقة يمكن أن تتغير بسهولة مع التدريب، فالرياضيون المتدربون جيداً على التحمل عادة ما يكون لديهم ألياف بطيئة أكبر حجماً، بينما الألياف السريعة المرتبطة بسرعة وقدرة الرياضيون المتدربون عادة ما تكون أكبر حجماً من تلك الألياف عند نظرائهم من الأفراد العاديين.

هل يمكن للألياف السريعة أن تتحول إلى ألياف بطيئة؟

Can "FT" Fibers Be converted to "ST" Fibers ?

يعتقد معظم العلماء أن النسبة المئوية للألياف السريعة والبطيئة لا يمكن تغيرها بالتدريب، (**ماك دوجال وآخرون** ١٩٨٠م MAC-DOUGALL). ومع ذلك، فإن تدريب السرعة يمكنه زيادة سرعة الانقباض وقوته للألياف العضلية البطيئة، كما أن تدريب التحمل يمكنه أن يزيد القدرة الهوائية للألياف

العضلية السريعة، وفى نفس الوقت، فإن الخبراء يعتقدون أن التدريب على السرعة للألياف البطيئة لا يجعل انقباضها بنفس السرعة والقدرة الكبيرة مثل تدريب السرعة للألياف السريعة. وينطبق ذلك بنفس الصورة على تدريب التحمل للألياف العضلية السريعة حيث لن يزيد من القدرة الهوائية لها بنفس القدر الذى يحدثه التحمل للألياف البطيئة.

ومن المحتمل أن لا يغير التدريب من خصائص الألياف السريعة والبطيئة، ولكن خصائص الألياف العضلية التى يمكن أن تتغير هى للألياف السريعة (أ، ب) FTa, FTb. فالتدريب يقلل من عدد الألياف "ب" FTb ويزيد من عدد الألياف "أ" FTa. وكذلك فالتدريب يزيد من مقدار الميوجلوبين وعدد الميتوكوندريا وتركيز الأنزيمات الهوائية فى الألياف العضلية "ب" FTb لتصبح ألياف "أ" FTa، أو على الأقل تصبح وظيفتها مشابه لها (**سالتين وآخرون** ١٩٧٧م).

وقد أشارت بعض الدراسات الحديثة إلى أن الألياف "ج" FTc قد تتحول مثلما تتحول الألياف "ب" إلى ألياف "أ" (**بوتينلى وآخرون** BOTTINELLI, et al., ١٩٩٤م). وقد أشارت إحدى هذه الدراسات إلى أن العضلات لدى الأفراد المدربين وجد أنها تحتوى على القليل من الألياف "ب". وفى نفس الوقت فإن النسبة المئوية للألياف "ج" زادت نسبتها نتيجة نقص الألياف "ب" (**فيتس، ويدريك** FITTS & WIDRICK ١٩٩٦م) .

ويُظهر تدريب التحمل وتدريب السرعة وتدريب الأثقال زيادة فى عدد الألياف العضلية "أ" لدى الإنسان بينما يُظهر نقصاً فى عدد الألياف "ب". فهذا التغير يمكن أن يؤثر إيجابياً على أداء سباحى المسافات المتوسطة والمسافة. فتحمل هؤلاء السباحون يمكن أن يتحسن عن طريق زيادة القدرة الهوائية للألياف "ب" بشكل بسيط، لأن هذه الألياف لديها معظم الطاقة اللازمة للتحسن. وكما أشرت من قبل، فإن القدرة الهوائية للألياف العضلية "ب". يمكن أن تتحسن بشكل أفضل عن طريق سباحة مجموعات تكرارية للتحمل عند

شدة عالية، لأن السرعات السريعة تتطلب نشاط تلك الألياف. وفى نفس الوقت، قد يكون السباحون قادرون أيضاً على تحسين قدرتهم الهوائية عن طريق سباحة مسافات كبيرة جداً عند شدة من منخفضة إلى شدة معتدلة. وهذه الطريقة سوف تؤثر بشكل جيد على المدى الطويل.

وهناك جانب آخر يتعلق بسباحى السرعة، فالتدريب يزيد من تحمل الألياف العضلية السريعة، وعلى الأخص الألياف السريعة "ب"، وقد يقلل أيضاً من سرعة انقباض العضلات وقوة هذا الانقباض. فقد قرر (**فيتس، كوستيل، جاردتو** ١٩٨٩م FITTS, COSTILL & GARDETTO) فقد سرعة الانقباض فى الألياف العضلية السريعة بعد ١٠ أيام من تدريب التحمل. هذا بالإضافة إلى أن العديد من الدراسات أشارت إلى أن تدريب التحمل يقلل من نشاط أنزيمات الكرياتين التى تتحكم فى معدلات التمثيل اللاهوائى للطاقة (**سجودين** SJODIN ١٩٧٦م). وتأثير نقص هذه الأنزيمات سوف يقلل بالتالى من معدل الطاقة اللاهوائية المتحررة فى الألياف العضلية السريعة، مما يؤدى إلى عدم قدرة الفرد الرياضى على إنتاج سرعات أعلى أثناء أدائه للمسافات القصيرة.

إن تدريب التحمل والسرعة يتماثلان فى زيادة معدل انقباض الألياف العضلية البطيئة، وتشير الدلائل إلى أن الفترات الطويلة من تدريب التحمل قد تعكس Reverse تقدم وبطء سرعة انقباض الألياف العضلية البطيئة، وقد قرر **فيتس، ويدريك** FITTS & WIDRICK (١٩٩٦م) أن الاستمرار فى تدريب التحمل يؤدى إلى تحسن فى سرعة الانقباض للألياف العضلية البطيئة.

الجهاز الدورى Circulatory System:

إن الغرض من هذا الجهاز هو نقل الدم لجميع أجزاء الجسم، وهذه الوظيفة هامة، لأن الدم هو الذى يحمل الأكسجين والجلوكوز والعناصر الغذائية الأخرى إلى أنسجة الجسم المختلفة، كما يحمل حمض اللاكتيك وأيونات الهيدروجين وثانى أكسيد الكربون للتخلص منها. لذا، فهذا الجهاز

هو جهاز توزيع Delivery المواد التي يحتاج إليها الفرد الرياضي لمّد العضلات بما تحتاجه من طاقة حتى يمكنها الاستمرار في الأداء البدني، كما أنه جهاز التخلص من المواد التي تسبب التعب إذا ما بقيت تلك المواد في العضلات.

فالجهاز الدوري أساسي مثل جهاز الفلترة في حمامات السباحة. فحمام السباحة مثل أنسجة الجسم، وفي مقدمتها العضلات. فالقلب هو المضخة، والشرايين والأوردة Arteries & Veins هي الأنابيب Pipes التي تذهب إلى حمام السباحة وتعود منه. ووفقاً لذلك، فإن الدم يمثل الماء الذي يندفع إلى حوض السباحة بعد عملية التنقية، ثم يندفع هذا الماء عائداً من حمام السباحة حاملاً المواد المراد التخلص منها.

معدل نبض القلب Heart Rate:

إن عدد المرات التي ينقبضها القلب في الدقيقة هو ما يُعبر عنه بمعدل نبض القلب. وفي الحقيقة، فإن كلاً من الجانب الأيمن والجانب الأيسر من القلب (البطينين Ventricles) ينقبضاً معاً في وقت واحد Simultaneously، ولكن هاتين الانقباضتين يُعّداً معاً كضربة واحدة. فالبطين الأيسر من القلب يملأ بالدم الآتي من الرئتين أثناء فترة الراحة بين النبضات. وعندما ينبض القلب، فإنه يدفع الدم بما يحمله من أكسجين ومواد غذائية إلى العضلات. أما البطين الأيمن فإنه يملأ بالدم العائد من العضلات أثناء فترة الراحة ثم يدفع هذا الدم بما يحتويه من ثاني أكسيد الكربون إلى الرئتين.

إن معدلات نبض القلب في الراحة تكون ما بين ٦٠-٨٠ن/ق (bPm) وذلك عند معظم الأفراد الغير رياضيين. أما عند الأفراد الرياضيين، فإنه يتجه نحو الانخفاض ليصل ما بين ٣٠-٥٠ ن/ق، لأن معدل نبض القلب في الراحة يقل مع التدريب، كما تصبح العضلات القلبية Cardiac Muscles بالقلب أكبر وأقوى وبالتالي يمكنها دفع المزيد من الدم مع كل نبضة (نفضه). ووفقاً

لذلك، فإن القلب سيتطلب نبضات أقل حتى يمكنه المدّ بكمية الدم المعتادة التى يحتاجها الفرد الرياضى فى حالة الراحة.

ولمزيد من الدقة، فإن معدل نبضات القلب يجب أن تُعّد لمدة ٦٠ث. ويمكن أداء ذلك بالضغط الخفيف على الشريان السباتى بالرقبة Carotid artery in the neck، أو الشريان الكعبرى Radial artery فى رسغ اليد، أو بوضع اليد على القلب على الجهة اليسرى من الصدر.

ولكل منا حدٌ أقصى لنبضات القلب، وهو الذى يعبر عن العدد الأقصى من النبضات التى يمكن للقلب أن ينبضها فى الدقيقة. وهذا المعدل عادة ما يكون ما بين ١٨٠-٢٢٠ن/ق. ومن المحتمل أن تلعب الوراثة Heredity دوراً فاعلاً فى تحديد المعدل الأقصى لنبض القلب، كما أن التدريب نادراً ما يحدث أى تغير فى هذا الحّد.

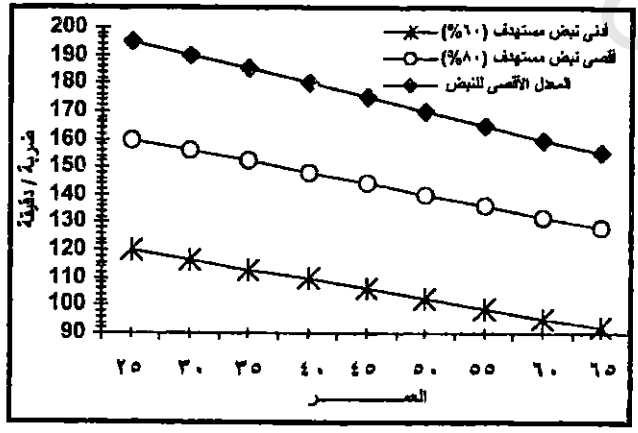
ويتجه الحدّ الأقصى لنبضات القلب إلى النقصان كلما تقدم عمر الإنسان، حيث يحدث نقص ثابت مقداره نبضة واحدة عن كل سنة بدءً من العمر ١٠-١٥ سنة. وعلى ذلك يخصم نبضة واحدة من الحد الأقصى عن كل عام من عمر الفرد والذى – كما ذكرنا من قبل – يبلغ ٢٢٠ن/ق. ولكن هذه الطريقة لا تعطى تقديراً دقيقاً، فمدى الحد الأقصى لنبض القلب يختلف بشكل كبير ما بين الأشخاص كلما أصبح الفرد أكبر سناً. ومثال لذلك، ووفقاً لهذه القاعدة، فإن الفرد الذى يبلغ من العمر ٤٠ عام يجب أن يكون أقصى معدل لنبض القلب لدية ١٨٠ن/ق ومع ذلك، فإن المعدل الأقصى لنبض القلب عند هذا الشخص يكون فى المدى ما بين ١٥٦-٢٠٤ن/ق (**ويلمور، كوستل** WILMOR & COSTILL ١٩٩٩م)، وعند تطبيق ذلك فى التدريب، فإن معدل نبض القلب الأقصى يجب أن يحدد بشكل فردى لكل فرد على حدة.

ومن الطرق المستخدمة فى السباحة لحساب أقصى معدل لنبض القلب يحققه الفرد، سباحة مجموعة من التكرارات لمسافة الـ١٠٠م مع راحة بينية

قصيرة (من ٥-١٥ث) بحيث تبدأ هذه التكرارات بسرعة معتدلة تُظهر معدل متوسط لنبض القلب، ثم تزداد السرعة تباعاً بعد ثوان قليلة مع كل تكرارات حتى تصبح أسرع. ولكن بالخبرة وجد أن هذه الطريقة لا تحدث زيادة فى معدل نبض القلب. وهناك طريقة أخرى، وهى حساب معدل نبض القلب أثناء العديد من الجرعات التدريبية ذات المجهود العالى ولأيام عديدة. ويأخذ أعلى معدل للقلب يتحقق مع مراعاة الخطأ المحتمل والذى تحدثنا عنه سابقاً بحيث تخصم نسبة هذا الخطأ. مع ملاحظة أن هذا المعدل إذا استطاع السباح تكراره أكثر من مرة فلا يعتبر هو الحد الأقصى لنبضات القلب، ولكن المعدل الأقصى الذى يحققه السباح لمرة واحدة قد يكون هو الحد الأقصى الحقيقى.

معدل نبض القلب المستهدف Target heart rate:

يعرفه **روبرت فرانس ROBERT FRANCE** (٢٠٠٤م) "بأنه اقصى نسبة مئوية لنبض القلب التى تكون آمنة عند وصول الفرد إليها أثناء التمرين الرياضى". وتوصى جمعية القلب الأمريكية بأن التمرين الرياضى الذى يكون مداه لدى الأصحاء ما بين ٥٠٪-٧٠٪ من أقصى نبض للقلب هو أفضل نبض مستهدف للقلب، والذى يتم حسابه بطرح عمر الفرد من أقصى نبض للقلب والذى يبلغ ٢٢٠ن/ق، حيث أن نبض القلب يقل كلما تقدم عمر الفرد. والشكل التالى يوضح ذلك.



شكل (١٣) يوضح نبض القلب المستهدف

فنبض القلب المستهدف يعبر عن استجابة الجهازين الدورى والتنفسى للتمرين الرياضى لكلاً من الرياضيين والغير رياضيون. ويشير العلماء أن المحافظة على مستوى نبض القلب المستهدف لفترة ما بين ١٥-٣٠ دقيقة يومياً أثناء التمرين الرياضى له فوائد صحية عديدة للفرد الممارس للنشاط. ويحسب نبض القلب المستهدف وفقاً للخطوات التالية:

- الخطوة الأولى: ٢٢٠- العمر الزمنى للفرد = أقصى معدل لنبض القلب (MHR).
- الخطوة الثانية: MHR × ٠,٦٠ = أدنى معدل لنبض القلب المستهدف.
- الخطوة الثالثة: MHR × ٠,٨٠ = أقصى معدل لنبض القلب المستهدف.

حجم الضربة Stroke Volume:

اصطلح على تسمية مقدار الدم المدفوع من البطينين مع كل نبضة بحجم الضربة stroke volume ويبلغ مقدار هذا الدم وقت الراحة ما بين ٦٠-١٣٠ مليلتر لكل نبضة. ويمكن أن يزيد هذا المقدار ليكون ما بين ١٥٠-١٨٠ مليلتر/ نبضة أثناء التمرين الرياضى. هذه المقادير تشير للدم المدفوع من البطين الأيسر فقط، وفى المقابل تدفع كمية معادلة لها فى نفس الوقت من البطين الأيمن. ويؤدى تدريب التحمل إلى زيادة حجم الضربة. وتساهم العديد من العوامل فى تحقيق هذه الزيادة، شاملة الزيادة فى كثافة الدم. وعادة ما يكون حجم الضربات عند الرياضيين بعد التدريب أكبر بالمقارنة بقبل التدريب، وهذا يفسر لنا لماذا تكون عدد النبضات أقل بعد التدريب بالمقارنة بالراحة، حيث يمكن لهذه الضربات المدّ بنفس مقدار الدم إلى الجسم عن طريق دفع المزيد من الدم من القلب مع كل نبضة، ولذا، فإن القلب فى هذه الحالة لا يحتاج للنبض الأسرع. ولنفس الأسباب، فإن التدريب يقلل أيضاً من معدل نبضات القلب عند الرياضيين بـ١٠-١٥ن/ق أثناء مجهود السباحة الأقل من الأقصى. ويزيد التدريب أيضاً من حجم الضربة الأقصى التى يمكن أن يحققها الرياضيين. فالمقادير الأقصى قد تكون فى المدى من ١٢٠-١٤٠ مليلتر/نبضة

لدى الأشخاص الغير مدربين، ولكن يمكن زيادتها لتكون ما بين ١٦٠-١٨٠ مليلتر/نبضة بعد التدريب.

الدفع القلبى Cardiac Output:

يعرف الدفع القلبى بأنه: "مقدار الدم المقذوف Ejected من القلب خلال دقيقة من الزمن". وكما ذكرنا من قبل، فنحن نعتبر أن الكمية المدفوعة من البطين الأيسر فقط هى المعبر عن الدفع القلبى. والبطين الأيمن سوف يقذف مقدار مساوى له من الدم أثناء نفس الفترة الزمنية. فالدفع القلبى يحسب بمضاعفة معدل نبض القلب عن طريق حجم الضربة، فالدفع القلبى الطبيعى للشخص فى حالة الراحة يكون ما بين ٥-٦ لتر/دقيقة (L/min). وأجسام الذكور والإناث تحتوى ما بين ٤-٦ لتر دم. ومع ذلك، فإن كل خلية دم حمراء عادة ما تستغرق دورة واحدة من الرئتين حتى العضلات ثم تعود مرة أخرى فى حوالى دقيقة واحدة فى حالة الراحة.

إن الرياضيين الغير مدربين جيداً يمكن أن يزيد لديهم الدفع القلبى ليصل إلى أربع أضعافه أثناء التمرين، ليصل إلى ٢٠لتر/ق تقريباً. ويحدث ذلك نتيجة زيادة معدلات نبض قلوبهم وأحجام الضربات أثناء التمرين. أما الرياضيون فيمكن أن يحدث لديهم زيادة الدفع القلبى بدرجة أعلى من الأفراد الغير مدربين أثناء التمرين لأن التدريب يزيد أحجام الضربات القصوى لدى الرياضيين. ففى أثناء التمرين الأقصى، فإن الدفع القلبى لدى الرياضيين المتدربين سيصبح أكبر بـ٦ أو ٧ أضعاف مستوى الدفع القلبى لديهم أثناء الراحة. ووفقاً لذلك، فإن كل خلية دم حمراء يمكنها الانتقال من الرئتين إلى العضلات والعودة مرة أخرى ٦ أو ٧ مرات، بدلاً من مرة واحدة فقط كل دقيقة. هذا الدفع القلبى الأكبر هام لأن ذلك يزيد من مقدار الأكسجين وجلوكوز الدم الذى يمكن أن يصل إلى العضلات خلال كل دقيقة، وفى المقابل زيادة مقدار ثانى أكسيد الكربون وحمض اللاكتيك الذى يمكن أن يحمله الدم للتخلص منه.

ويذكر العلماء أن الدفع القلبى فى الراحة لا يزيد مع التدريب، ولكن القلب يصبح أكثر كفائه فى طريقة المدّ بالدم. وكما ذكرنا من قبل، فإن حجم الضربة يزيد ومعدل نبض القلب يقل، لذا، فالفرد عندما يستريح فإن القلب لا يحتاج للعمل بشدة لدفع نفس الـ٥ لتر إلى الجسم كل دقيقة.

إن التدريب الرياضى لا يزيد من معدلات الدفع القلبى للرياضيين أثناء المجهود الأقل من الأقصى المماثل، لأنه ليس هناك حاجة إلى ذلك، لأن المتطلبات من الأكسجين ستكون هى نفس المتطلبات، ومع ذلك، سواء المتدربون أو الغير متدربون، فليس هناك حاجة لمقدار كبير من الدفع القلبى، فحجم الضربة للرياضيين المتدربون جيداً سوف تزيد أثناء المجهود الأقل من الأقصى لدرجة أن القلب سوف لا يكون فى حاجة للضربات السريعة للمدّ بنفس الدفع القلبى، ولهذا السبب، فإن معدل نبض القلب لدى الفرد المتدرب يقل أثناء المجهود الأقل من الأقصى.

إن الأفراد الرياضيون يمكنهم زيادة أقصى دفع قلبى لهم بالتدريب، وبلوغ أقصى مقادير للدفع القلبى لديهم ٣٠ أو ٣٥ لتر/ق ليس استثنائياً لدى رياضى التحمل المتدربون. وفيما يلى نموذج يوضح حساب الدفع القلبى فى الراحة والمجهود الأقصى للأفراد المدربون والغير مدربون.

((نموذج لمقادير الدفع القلبى للأفراد المدربون والغير مدربون))

- **الدفع القلبى للأفراد الرياضيين المدربون:**

- فى الراحة:

٤٠ن/ق + ١٢٥ ملى‌لتر/ نبضة = ٥٠٠٠ ملى‌لتر/ق أو ٥ لتر/ق

- أثناء التمرين:

٢٠٠ن/ق + ١٥٠ ملى‌لتر/ نبضة = ٣٠٠٠٠ ملى‌لتر/ق أو ٣٠ لتر/ق

- **الدفع القلبى للأفراد الغير مدربون:**

- فى الراحة:

٧٣ن/ق + ٧٠ ملى‌لتر/ نبضة = ٥١٠٠ ملى‌لتر/ق أو ٥.١ لتر/ق

- أثناء التمرين:

٢٠٠ن/ق + ١٠٠ ملى‌لتر/ نبضة = ٢٠٠٠٠ ملى‌لتر/ق أو ٢٠ لتر/ق

وتحدد العلاقة بين معدل نبض القلب للفرد الرياضى، وحجم الضربة، والدفع القلبى بشكل كبير عن طريق معرفة سرعة دورات الدم داخل الجسم. وهناك أيضاً مظاهر أخرى هامة تتعلق بوظيفة الجهاز الدورى فى تحرير الأكسجين والمواد الغذائية ونقل ثانى أكسيد الكربون وحمض اللاكتيك أثناء التمرين. وتتمثل هذه العوامل فى كمية الدم بالجسم، وعدد خلايا الدم الحمراء، وعدد الشعيرات الدموية الموجودة حول العضلات والرئتين، والاختلاف فى حجم الأكسجين بين الأوردة والشرايين الموجودة حول ألياف العضلة العاملة. هذا بالإضافة إلى ضغط الدم وتوزيعه Distribution خلال الجسم. فكل ذلك يلعب دوراً هاماً أثناء التمرين.

خلايا الدم الحمراء وحجم الدم Red Blood Cells and Blood Volume:

يتكون الدم من البلازما – الجزء السائل – ومواد صلبة Solid تحتوى على خلايا الدم الحمراء وتسمى إريثرويت Erythrocytes، وخلايا دم بيضاء تسمى ليكوسيت Leukocytes وبلاتليتس Platelets صفائح دموية وتسمى ثرومبوسيت Thrombocytes. وتتكون البلازما بشكل أساسى من ماء وتمثل من ٥٥-٦٠٪ من إجمالى حجم الدم. وخلايا الدم الحمراء والبيضاء والبلاتليتس تصنع Make up فى حالة الراحة. فالخلايا الحمراء تشكل إلى حّد بعيد المقدار الأكبر من المادة الصلبة فى الدم، وتشكل بالإضافة إلى خلايا الدم البيضاء والبلاتليتس أقل من ١٪ من إجمالى الدم. وخلايا الدم الحمراء هامة لأنها تحتوى على الهيموجلوبين، والحديد الموجود بالهيموجلوبين وهو بروتين يسمى الهيم heme الذى يندمج مع الأكسجين ثم ينقله إلى أنسجة الجسم المختلفة.

إن الزيادة فى خلايا الدم الحمراء سوف تُزّيد من الأكسجين الذى تتزود به العضلات، مما يزيد من تحملها، فى حين أن النقص فى مستوى التركيز الطبيعى للدم، اى نقص خلايا الدم الحمراء، يقلل من الأكسجين المستهلك

مما يقلل من تحمل العضلات. وعلى ذلك، فإن نقص خلايا الدم الحمراء يؤدى إلى نقص الهيموجلوبين، والذى يؤدى نقصه إلى ما يعرف بالأنيميا **Anemia**.

وتشير الدراسات العلمية إلى وجود اختلاف فى نتائجها حول تأثير التدريب على خلايا الدم الحمراء، ويجب أن نأخذ فى الاعتبار، ما أشارت إليه بعض الدراسات إلى عدم حدوث زيادة فى خلايا الدم الحمراء، بينما البعض الأخر قررت حدوث تحسن بسيط فقط أثناء التدريب عند مستوى البحر. بينما التدريب فى المناطق المرتفعة عن سطح البحر عند ارتفاعات متنوعة أدت إلى زيادة الهيموجلوبين بشكل أكبر من التدريب عند مستوى البحر.

فعندما تزيد خلايا الدم الحمراء، فإن الهيموجلوبين يجعل الدم أكثر لزوجة **More Viscous** وأكثر مقاومة لتدفقه خلال الجسم. فالمعدل البطيئ لتدفق الدم يقلل من معدل تحرر الأكسجين والجلوكوز بدرجة كبيرة أثناء التمرين. لذا، فإن سائل الدم يتجه للزيادة نسبيا بدرجة أكبر من زيادة تركيز الهيموجلوبين فيه مع التدريب.

الشعيرات الدموية Capillaries:

يرسل القلب الدم إلى العضلات عن طريق مجموعات كبيرة من الشرايين أو الأنابيب، ثم تتفرع هذه المجموعات إلى مجموعات أصغر من الشرايين تسمى شرينات **Arterioles**. كما تنقسم هذه المجموعات إلى وحدات نهائية أصغر تسمى الشعيرات الدموية. هذه الشعيرات تلتف حول أنسجة الجسم، ويسمى ما يلتف منها حول الألياف العضلية بالشعيرات العضلية **Muscle Capillaries**. وهذه الشعيرات هى التى تحمل الأكسجين حيث يستخدم فى عملية التمثيل الهوائى. وهذه الشعيرات تحمل أيضا ثانى أكسيد الكربون وحمض اللاكتيك الناتج من الخلايا العضلية وتحملها بغرض التخلص منها. كما أن الشعيرات التى توجد فى الرئتين تسمى الشعيرات الرئوية **Alveolar Capillaries** لأنها تتواجد حول الحجيرات الهوائية وداخل الدم من خلال الشعيرات حتى يمكنها

العودة للقلب، وعندئذ تخرج إلى أنسجة الجسم، وينتشر ثانى أكسيد الكربون خارج الشعيرات وداخل الحجيرات حيث يمكن تبادله.

ويؤدى التدريب إلى زيادة عدد الشعيرات التى تتواجد حول كل ليفة عضلية. هذه الزيادة تساهم فى حمل المزيد من الأكسجين والجلوكوز للعضلات وانتقال المزيد من ثانى أكسيد الكربون وحمض اللاكتيك منها خلال كل دقيقة من التمرين.

وتلعب الشعيرات دورا هاما حيث أنها تتصل مباشرة بالألياف العضلية، لأنها تبطئ أيضا من معدل الدم المتدفق خلالها عن طريق العضلات، مما يعطى المزيد من الوقت للأكسجين والجلوكوز أن ينتشر خارج الدم وداخل العضلات ويأخذ ثانى أكسيد الكربون وحمض اللاكتيك وينتشر من العضلات إلى الدم، وعندئذ فإن الدم ينتقل من الشعيرات لمناطق أكبر تسمى بالأوردة الصغيرة (وريدات) Venues وفى النهاية إلى أنابيب كبيرة جدا تسمى بالأوردة Veins.

وقد يزيد التدريب الرياضى عدد الشعيرات الدموية الموجودة حول الألياف العضلية والأعداد الكبيرة من الشعيرات تؤدى إلى زيادة منطقة الانتشار حول كل ليفة عضلية، مما يسمح لها بحمل المزيد من الأكسجين وتبادل المزيد من ثانى أكسيد الكربون وحمض اللاكتيك.

انتقال الدم Blood Shunting:

يحتوى جسم الإنسان ما بين ٤-٦ لتر دم. والحجم الإجمالى يوزع بالتساوى على كل أنسجة الجسم. ولا شك، فإنه أثناء التمرين الرياضى، فإن كمية أكبر من الدم سترسل إلى العضلات العاملة، فى حين يقل الدم المدفوع للعضلات الغير عاملة والأنسجة العضلية الأخرى. ومثال لذلك، فإنه أثناء الراحة، فإن ١٥-٢٠٪ فقط من إجمالى حجم الدم يذهب إلى العضلات الهيكلية، فى حين أنه فى أثناء التمرين الرياضى فإن هذه الكمية تزيد لتصل إلى ٨٥٪

أو ٩٠٪ من إجمالى الدم (**فوكس، ماثيوس** FOX, MATHEWS ١٩٨١م) واصطلح على تسمية هذه العملية بانتقال الدم **Blood Shunting**، حيث يؤثر المد بمزيد من الدم للعضلات العاملة التى تحتاج لمزيد من الأكسجين والعناصر الأخرى، كما يقلل من التعب الناتج لهذه العضلات.

ويحدث انتقال الدم، لأن الشرايين التى ترتبط بالعضلات العاملة تتمدد Dilate اى تتسع **Expand** وبالتالى فإن كمية أكبر من الدم تتدفق خلال تلك الشرايين المتسعة حيث أن ضغط ومقاومة التدفق تقل عندما يقل الدم الوارد خلال مناطق محددة، فالتدريب يؤدى إلى تحسين فعالية انتقال الدم.

ضغط الدم Blood Pressure:

إن تدفق الدم خلال الأوعية الدموية يؤدى إلى حدوث ضغط على جدار تلك الأوعية. وهذا الضغط يقاس بعدد المليمترات من الدم التى تؤدى إلى رفع عمود من الزئبق (Hg) **column mercury**. وهناك قياسين للضغط يجب أن نعرفهما حتى يمكنا التعرف على الدم المتدفق وهما:

١- الضغط عندما ينقبض القلب.

٢- الضغط عندما ينبسط القلب (فترة الراحة بين نبضات القلب).

فالضغط داخل الأوعية الدموية عندما ينقبض القلب يسمى بالضغط الانقباضى **Systolic** أما الضغط بين النبضات فيسمى بالضغط الانبساطى **Diastolic** لأن الفترة التى يرتاح فيها القلب بين النبضات تسمى انبساط. والمستوى النموذجى (المثالى) لضغط الدم الانقباضى والانبساطى هو ١٢٠، ٨٠ مليمتر/ زئبق على التوالى.

إن ضغط الدم الانقباضى يزيد بتناسب **Proportion** مع شدة العمل المؤدى، لأن كمية أكبر من الدم تتدفق (تندفع) فى الأوعية الدموية عند أى لحظة **at any one time**. هذه الكمية من الدم يمكن أن تزيد إلى المستويات التى قد تؤدى إلى انفجارها إذا كانت الأوعية الدموية غير مرنة.

فالأوعية الدموية لديها القدرة على التمدد لاستيعاب المزيد من الدم الداخل إليها لتقليل الضغط. ووفقا لذلك، فإن الضغط الانقباضى سوف يرتفع إلى مقادير تزيد عن الـ٢٠٠ مليمتر/زئبق عندما يكون العمل المستخدم قوى. ومع ذلك، فإن هذه الزيادة فى الضغط قليلة نسبة إلى الزيادة فى تدفق الدم أثناء المجهود الأقصى والتى تصل إلى ٥٠٠٪-٧٠٠٪. أما ضغط الدم الانبساطى فلا يزيد بشكل مثير **Dramatically** لأن كمية الدم فى الأوعية الدموية تستقر **Subsides** لبعض الوقت بين الضربات وفى الحالات الطبيعية فإن ضغط الدم الانبساطى بشكل عام يزيد فقط إلى ١٠٠ أو ١١٠ مليمتر/زئبق (mm/Hg) أثناء التمرين الرياضى.

إن تدريب التحمل يؤدى إلى تقليل كلا من ضغط الدم الانقباضى والانبساطى بمقدار ٦-١٠ مليمتر/زئبق فى حالة الراحة، وبمقدار معادل أثناء التمرين الأقل من الأقصى. فهذا النقص فى ضغط الدم من المحتمل حدوثه لأن مطاطية الأوعية الدموية تزيد خلال التمدد الثابت **Constant Expansion** والانقباض الذى يسببه التدريب.

وقد حاول العديد من الباحثين خلال السنوات العديدة الماضية التنبؤ بنجاح الرياضى وتحديد التأثيرات التى يحدثها التمرين والتدريب عند قياس ضغط الدم. فقد قرر كارليل **Carlile** فى دراسة له أن تدريب السباحة أحدث زيادة مقدارها ١٠ مليمتر/زئبق فى ضغط الدم الانقباضى فى الراحة، ونقص من ٥-٩ مليمتر/زئبق فى الضغط الانبساطى فى الراحة. وعلى الرغم من صعوبة معرفة أسباب الزيادة فى ضغط الدم الانقباضى وتفسيرها. ولكنه يعتقد أن ذلك يعكس الزيادة فى حجم الضربة القلبية أثناء كل نبضة قلب والتى تتناسب مع التحسن الحادث فى الأوعية الدموية. ومع ذلك، فإن الزيادة النهائية فى ضغط الدم تحدث مع كل مرة ينبض فيها القلب. أما النقص فى ضغط الدم الانبساطى كان أسهل فى فهم أسبابه، حيث أن هذا النقص فسر على أنه نتيجة الزيادة فى مرونة الأوعية الدموية، حيث يقل الضغط فيها

عندما لا ينبض القلب. ويشير العلماء أن معظم الزيادة الحادثة فى ضغط الدم الانقباضى والانبساطى تحدث أثناء الـ٦ أسابيع الأولى من التدريب.

ولكن **كوستيل** COSTILL (١٩٨٦م) يشير فى دراسته أن حدوث ارتفاع مفاجئ فى كلا من ضغط الدم الانقباضى والانبساطى فى حالة الراحة قد يكون نتيجة التدريب الزائد، وتعبر هذه الزيادة المفاجئة عن أن مرونة الأوعية الدموية قد قلت أو أنها لا تحتفظ بسرعتها فى الاستجابة للزيادة فى الدم المتدفق أثناء التمرين.

وعلى الرغم من هذه الملاحظات، فإن قياسات ضغط الدم لا تعبر بدرجة ثقة كبيرة عن استجابة الفرد للتمرين أو التدريب. ويراعى أن استجابة ضغط الدم للتمرين أو التدريب تختلف من شخص لأخر. ومع ذلك، يرى العلماء أنه لا توجد ثقة كبيرة فى اعتبار ضغط الدم مؤشرا للأداء الرياضى. (**كورتون** CURETON)، (**كوستل** COSTILL).

ويشير **رون موجان، ميشيل جليسون** RON MAUGHAN & MICHAEL GLEESON (٢٠٠٤م) أن التكيفات التى تحدث نتيجة التدريب الرياضى فى الجهازين الدورى والتنفسى تؤدى إلى زيادة قدرة العضلات على أكسدة الوقود Fuel Oxidation. والجدول التالى يوضح بعض هذه التكيفات.

جدول (٤)

التكيفات الفسيولوجية الناتجة عن تدريب التحمل

المتغيرات	فى الراحة	فى التمرين منخفض الشدة*	فى التمرين الأقصى**
معدل نبض القلب	يقل	يقل	نقص قليل
حجم ضربة القلب	يزيد	يزيد	زيادة
الدفع القلبى	لا تغير	لا تغير	زيادة
مقدار الأكسجين المتناول	لا تغير	لا تغير	زيادة
مقدار الأكسجين المستهلك	لا تغير	زيادة طفيفة	زيادة
دفع الدم للعضلة	لا تغير	لا تغير	زيادة

* التمرين عند نفس معدل العمل الأساسى Absolute.

** التمرين عند الشدة التى تعادل ١٠٠٪ من الـ Vo_2max

أما عن التكيفات التى تحدث فى العضلات والتى تحسن من استجابتها لتدريب التحمل فتشمل:

١- زيادة كثافة الشعيرات الدموية المحيطة بالألياف العضلية.

٢- زيادة محتوى العضلات من الميوجلوبين.

٣- زيادة نشاط الأنزيمات الهوائية (أنزيمات الأكسدة).

الجهاز التنفسى Respiratory System:

تعتمد حياة الإنسان على عمليتين رئيسيتين يقوم بهما الجهاز التنفسى وهما تزويد الجسم بالأكسجين ثم نقل ثانى أكسيد الكربون لخارج الجسم، فالإنسان لا يستطيع أن يعيش بدون الأكسجين. ويتكون الجهاز التنفسى من الرئتين ومجموعة من الأنابيب المتشعبة التى تقوم بنقل الهواء بما فيه من أكسجين من خارج الجسم إلى مجرى الدم. فأثناء الشهيق **Inhalation** يدخل الهواء إلى الأنف والفم ثم لداخل البلعوم أو الحنجرة **Pharynx** ثم لداخل الرئتين عن طريق أنبوبتين كبيرتين تسميا بشعبتا القصبة الهوائية. ومن خلال الرئتين، فإن الهواء يرسل خلال أنابيب شديدة الصغر والتى تسمى الشعب الهوائية **Bronchioles** والتى تنتهى إلى ما هو أصغر والتى تسمى بالحجيرات الهوائية **Alveoli** والتى تحيط بها الشعيرات الدموية.

وفى مرحلة الشهيق من عملية التنفس يأخذ الأكسجين كمكون من الهواء إلى داخل الجسم، ويبقى جزء منه ويخرج الجزء الأخر لخارج الجسم عند عملية الزفير، بالإضافة إلى ثانى أكسيد الكربون وبعض من بخار الماء **Vapor Water** الذى ينتجه الجسم.

ونحن نأخذ الهواء خلال الفم والأنف، ثم ينقل إلى داخل الحنجرة حتى القصبة الهوائية والشعب الهوائية، وأخيراً إلى الحجيرات الهوائية، حيث تنتفخ هذه الحجيرات وتتمدد قليلاً. ثم من خلالها، فإن بعض من هذا الأكسجين الموجود بهذا الهواء ينتشر من هذه الحجيرات الهوائية إلى داخل مجرى الدم

عن طريق الشعيرات الرئوية Pulmonary Capillaries وفى نفس الوقت، فإن ثانى أكسيد الكربون الناتج من العضلات ينتشر فى اتجاه عكسى، أى يخرج من الشعيرات إلى داخل الحجيرات الهوائية، وعندئذ، فإن ثانى أكسيد الكربون ينقل منها للقصبات الهوائية ثم أخيراً يزفر من الأنف والفم.

وقد اصطلح على تسمية حجم الهواء الذى يتم تغيره مع كل نفس بحجم تنفس الراحة Tidal Volume، بينما الهواء الذى يتم تبديله كل دقيقة أصطلح على تسميته بحجم الهواء فى الدقيقة، ويبلغ حجم تنفس الراحة ما بين ٥٠٠-٧٠٠ ملى لتر (ML) من الهواء فى كل تنفس. ويتنفس الإنسان من ١٢-١٥ مرة فى الدقيقة الواحدة، ويبلغ حجم الهواء فى الدقيقة ما بين ٦-١٠ لتر من الهواء.

وأثناء التدريب الرياضى الأقل من الأقصى، فإن الفرد الرياضى يكون لديه معدل التنفس المناسب الذى يمّد الجسم بأكبر قدر من الهواء كل دقيقة مع أقل مجهود للتنفس. ويجب أن يتعلم الفرد الرياضى كيف ينظم العلاقة بين معدل تنفسه والحجم الكلى الطبيعى من الهواء أثناء التمرين دون الحاجة إلى أى نوع من التدريبات الخاصة مثل تمرينات التنفس أو تدريبات تقيد التنفس Restricted Breathing لتحقيق هذا الغرض. كما يجب أن يتعلم السباحون التنفس البطئ والعميق حتى يتلائم معدل التنفس مع رتم أداء السباحة.

ويتكون الهواء الذى نتنفسه من أكثر من ٢١٪ أكسجين، ٧٩٪ نتروجين، وكمية ضئيلة من ثانى أكسيد الكربون (٠,٠٣٪). فأثناء الراحة، فإننا نستنشق ما بين ٧-٩ لتر من الهواء فى الدقيقة الواحدة. ونظراً لأن نسبة الأكسجين فى الهواء تمثل خمس (١/٥) حجم الهواء الكلى، فإننا نستنشق ما بين ١,٥-١,٩ لتر من الأكسجين فى الدقيقة الواحدة ومع ذلك، فإننا نستخلص Extract ما بين ٠,٢٥-٠,٣٠ لتر فقط من هذا المقدار لاستخدامه

داخل أجسامنا وفى المقابل، فإننا نزفر لخارج أجسامنا أثناء الراحة الهواء محتوياً على ثانى أكسيد الكربون الذى أتى للرئتين من مجرى الدم.

الأداء فى السباحة واستهلاك الأكسجين:

Swimming Performance and Oxygen Consumption:

يعرف استهلاك الأكسجين بأنه ((كمية الأكسجين المستخدم أثناء التمرين الرياضى)). وهذه الكمية أو هذا الحجم يعادل مقدار الأكسجين الداخل للجسم أثناء التمرين مطروحاً منه حجم الأكسجين الذى يتم خروجه من الجسم أثناء عملية الزفير.

وعادة ما يفسر استهلاك الأكسجين وفقاً لعدد اللترات أو المليلترات من الأكسجين التى يستهلكها الجسم فى الدقيقة الواحدة من التمرين الرياضى. ومثالاً لذلك، إذا استنشق الفرد ١٠ لتر من الأكسجين وأزفر ٦ لتر فى الدقيقة، فإن الأكسجين المستهلك سيكون ٤ لتر/ دقيقة،

وترتبط كمية الأكسجين التى تستخدمها العضلات فى الدقيقة الواحدة، ترتبط بشكل مباشر بشدة التمرين الرياضى المستخدم حتى يصل للمعدل الأقصى منه والذى يبلغ ٢ لتر/ق للإناث، ٣ للتر/ق للذكور الغير رياضيين، أما الرياضيون، فإن المعدل الأقصى لديهم وخاصة رياضى التحمل يبلغ ما بين ٤-٦ لتر/ق. وقد اصطلح على تسمية أقصى حجم للأكسجين يمكن للفرد استنشاقه خلال دقيقة واحدة من التمرين بالحد الأقصى لاستهلاك الأكسجين maximal oxygen comsumption، ويرمز له بـ $\dot{V}o_2max$، والنقطة التى توضع أعلى حرف الـ $\dot{V}$ تعبر عن أن هذا الاستهلاك فى الدقيقة. وهذا المصطلح يعبر بشكل مباشر عن قدرة الفرد على مدّ العضلات بالطاقة خلال عمليات التمثيل الهوائى. ونظراً لأهمية الأكسجين المستهلك فى أداء الرياضيين فى سباقات التحمل، فسوف نناقش ذلك بالتفصيل فيما يلى:

الاستهلاك الأقصى للأكسجين Maximal Oxygen Consumption:

يحسب الحد الأقصى لاستهلاك الأكسجين بقياس حجم الأكسجين المستهلك أثناء أداء تكرارات فترية من التمرين الرياضى بسرعات متدرجة حتى يصل الفرد الرياضى إلى مستوى عال منه. فإذا زادت السرعة ولم يحدث فى المقابل أى زيادة فى استهلاك الأكسجين فهذا يدل على أن الفرد الرياضى وصل إلى أقصى قدرة لدية لاستهلاك الأكسجين. ويجب أن نلاحظ أن الفرد الرياضى يصل إلى أقصى استهلاك للأكسجين عندما يسبح بسرعة أبطء من أقصى سرعة لدية. كما أن الفرد الرياضى يمكنه الاستمرار فى زيادة سرعته حتى بعد أن يصل إلى أقصى قدرة لديه لاستهلاك الأكسجين نتيجة قدرته العالية على التمثيل اللاهوائى للطاقة. وهذا محتمل حدوثه حتى لو كان حجم الأكسجين المتوفر كافياً لإتمام عملية التمثيل للطاقة هوائياً. ولكن يجب أن نعلم أن ذلك يحدث لفترة زمنية قصيرة، ومع ذلك، ونتيجة هذا المستوى المرتفع للفرد الرياضى فى القدرة على التمثيل اللاهوائى للطاقة، فإن حمض اللاكتيك وأيونات الهيدروجين تتراكم فى العضلات، وبالتالى يتغير الـPH من التعادل الطبيعى إلى الحمضية. مما يؤدى إلى انخفاض سرعة وقوة انقباض العضلات العاملة وبالتالى بطء سرعة السباحة.

فأثناء التمرين الرياضى الأقل من الأقصى، فإن استهلاك الأكسجين سوف تزيد معدلاته التى تبلغ أثناء الراحة ٠,٢٥ لتر/ق تقريباً إلى المستوى الذى يدعم احتياجات العضلات من الطاقة للانقباض. وهذا يحتاج عادة إلى ١-٣ دقيقة حتى يصل لهذا المستوى من الزيادة فى استهلاك الأكسجين لأن حاجة العضلات العاملة لأكسجين إضافى تحدث أولاً فى العضلات قبل أن يتكيف الجهازين الدورى والتنفسى مما يزيد من الأكسجين المتحرر.

إن العجز فى الأكسجين يعبر عن الأكسجين الذى تحتاجه العضلات والغير متوفر خلال الدقائق الأولى من التمرين. فالفرد الرياضى يمكنه أن

يعوض هذا العجز أثناء ما تبقى من التمرين، هذا إذا كانت شدة العمل المستخدم منخفضة. وللوفاء بهذا العجز، فإن الجسم يمكنه توفيره خلال فترة قصيرة من الزمن والمدّ بمزيد من الأكسجين الذى تحتاجه العضلات للتزود بالطاقة المطلوبة للعمل الذى يقوم به، فمقدار الأكسجين المستهلك أثناء التمرين بالإضافة إلى العجز الأكسجينى اصطلح على تسميته "المتطلب الأكسجينى" Oxygen Requirement.

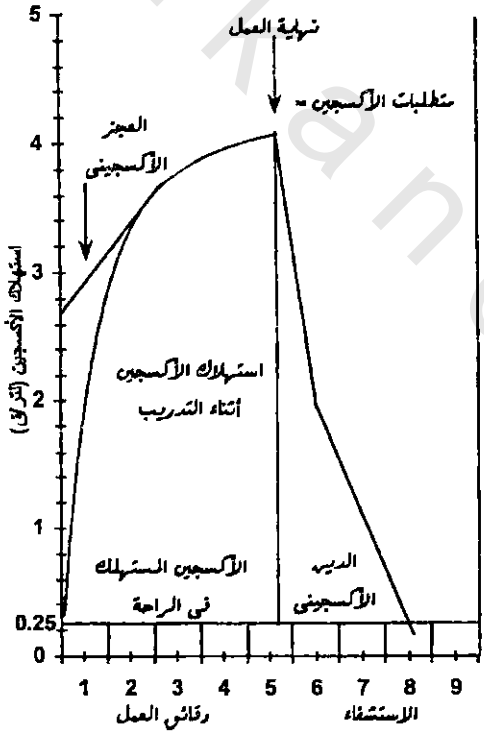
وإذا زادت متطلبات الأكسجين عن الكمية التى يمكن للفرد الرياضى أن يفى بها أثناء التمرين، فإنه قد يستطيع أن يفى بها بعد التمرين حتى يمكنه المحافظة على المستوى العالى من استهلاك الأكسجين لفترة قصيرة. هذه الفترة من استهلاك الأكسجين الإضافى بعد التمرين الرياضى أصبحت تعرف بالدين الأكسجينى Oxygen Debt.

والشكل التالى يوضح نموذج لاستهلاك الأكسجين أثناء التمرين. فعندما يبدأ التمرين، فإن حجم الأكسجين المستهلك يزداد خلال الدقيقتين الأوليتين من المجهود حتى تصل إلى المستوى الذى يسد حاجة الرياضى من الأكسجين لإتمام هذا المجهود. كما يبين الشكل أيضاً العجز الأكسجينى الذى حدث أثناء هذه الدقائق. ويلاحظ أن العجز فى الأكسجين يستمر فى الزيادة خلال فترة التمرين لأنه فى حاجة للمزيد من الأكسجين. وفى هذه الحالة، فإن متطلبات الأكسجين لإتمام التمرين تزداد لتصل إلى ٥ لتر/أكسجين/دقيقة، بينما الحجم الأقصى من الأكسجين الذى يمكن أن يستهلكه الفرد الرياضى يقل قليلاً عن ٤ لتر/أكسجين/ق.

وقد يكون قياس استهلاك الأكسجين باللتر/ق خادعاً (غير دقيق)، لأن هذا القياس يتأثر بحجم الجسم للشخص المُختَبر وخاصة الأجسام الكبيرة، فالفرد الرياضى الضخم سيكون مستوى الـVo_2max لدية أعلى بالمقارنة بالرياضيين ذوى الأحجام الصغيرة، لأن الرئتين لديهم كبيرة وبالتالى تقوم

بتبادل المزيد من الهواء، بالتالى مزيد من الأكسجين مع كل دقيقة من التمرين. وبالطبع، فإن الأجسام الكبيرة تتطلب مزيد من الأكسجين. ولهذا السبب، فإن استهلاك الأكسجين يتقرر أيضاً وفقاً لحجم الأكسجين المتوفر لكل كيلو جرام من وزن الجسم، وهذا ما يسمى باستهلاك الأكسجين النسبى. وهذا يؤكد أن تفسير استهلاك الأكسجين يجب ألا يوجه وفقاً لأحجام أجسام الأفراد الكلية. أما فى الطريقة النسبية، فإن استهلاك الأكسجين يفسر وفقاً لعدد المليلترات من الأكسجين التى يمكن للفرد استهلاكها لكل كيلو جرام من وزن الجسم أثناء كل دقيقة من التمرين ورمز وحدة قياسه mL/kg/min.

وقد بلغت المقادير النسبية لغير الرياضيين للـVo_2max من ٤٠، ٤٦ ملى لتر/كيلوجرام/ق للإناث والذكور على التوالى. أما السباحين الإناث والذكور المصنفين عالمياً فقد بلغ الـ Vo_2max ٦٦، ٨٠ ملى لتر/كيلوجرام/ق على التوالى (**فان هاندل وآخرون** VAN HANDEL et al., ١٩٨٨م). وأعلى مقدار تقرر للرياضيات من السيدات كان ٧٤ ملى لتر/كيلوجرام/ق، وأعلى مقدار للرياضيين الذكور كان ٩٤ ملى لتر/كيلوجرام/ق (لاعبى التزحلق لسباقات اختراق الضاحية النرويجيون) (**ويلمور، كوستل** ١٩٨٨م).



شكل (١٤) نتائج اختبار نموذجى لأقصى استهلاك للأكسجين

طرق قياس الحد الأقصى لاستهلاك الأكسجين:

: Methods of Measuring Vo_2max

وحتى نتعرف على القدرة الهوائية للفرد الرياضى بشكل دقيق، فإن اختبارات الـVo_2max هى أفضل الوسائل لقياسها، ولكن يفضل أن تكون الاختبارات أكثر تخصصية حتى تكون أكثر صدقاً فى نتائجها. فالعداءون يجب يستخدموا اختبارات الجرى، ولاعبى الدراجات يستخدموا الاختبارات التى بها تبديل على الدراجة الأرجومترية، والسباحون يستخدموا السباحة داخل الماء أو الدراجة الأرجومترية اليدوية. فالاختبارات التى ترتبط فى تطبيقها بأنشطة أخرى ولا يكون أدائها مماثلاً تقريباً للنشاط التخصصى قد تعطى نتائج غير دقيقة (ولمزيد من التفاصيل ، انظر ...) (*)

الحد الأقصى لاستهلاك الأكسجين وشدة المجهود Vo_2max & Work Intensity:

يستخدم العلماء عادة قياسات الـVo_2max لتحديد شدة التمرين الرياضى للأفراد والمجموعات من الرياضيين. فعندما نقول أن شدة الأداء عند سرعة تعادل ٧٠٪ من الـVo_2max، فإن ذلك يحدد مستوى الجهد الذى يجب أن يتوافق مع هذه النسبة من الـVo_2max للفرد الرياضى. ولكن هذه الطريقة لتحديد مستوى حمل العمل تعتبر طريقة جيدة للأغراض البحثية، ولكنها مقيدة بحدود بالنسبة للمدربون. حيث أننا نادراً ما نعرف مستوى الـVo_2max لسباحينا، وغالباً لا نعرف ما هو مقدار الأكسجين المستهلك أثناء التدريب. وفى مقابل ذلك فنحن نفضل ما ينطبق على المجهود الفعلى كنسبة مئوية من حدة الأقصى. وحتى نعادل بين الأسلوبين، فإن المعلومات التى أشارت إليها أبحاث الدارسين بخصوص شدة المجهود التى تقررت كنسبة مئوية من الـVo_2max أمكن ترجمتها كنسبة مجهود كما يلى:

١- المجهود الذى نسبته من ٥٠٪-٦٠٪ من الـVo_2max يعادل شعور الشخص بالمجهود عند نسبة من ٣٠٪-٤٠٪ من حدة الأقصى. (مجهود متوسط).

(*) استراتيجية التدريب الرياضى فى السباحة، الجزء الثانى، مركز الكتاب للنشر، القاهرة، ٢٠٠٥م.

٢- المجهود الذى نسبته من ٧٠٪-٩٠٪ من الـVo_2max يعادل شعور الشخص بالمجهود عند نسبة من ٦٠٪-٨٠٪ من حدة الأقصى. (مجهود فوق متوسط).

٣- المجهود الذى نسبته من ١٠٠٪ من الـVo_2max يعادل شعور الشخص بالمجهود عند نسبة من ٨٠٪-٩٠٪ من حدة الأقصى. (مجهود أقل من الأقصى).

٤- المجهود الذى نسبته من ١١٠٪-١٣٠٪ من الـVo_2max يعادل شعور الشخص بالمجهود عند نسبة من ٩٠٪-١٠٠٪ من حدة الأقصى. (مجهود أقصى).

وتؤثر مسافة تكرارات السباحة بشكل ما على هذه التقديرات الأولية. فقد يشعر الفرد الرياضى أثناء أداء التكرارات القصيرة بأن النسبة المئوية للمجهود أقل عند حسابها من منطلق حدة الأقصى بالمقارنة بحسابها بالنسبة لمستوى الـVo_2max. كما يشعر الفرد الرياضى أيضاً بأن نسبة المجهود الذى يبذله يتوافق بشكل كبير مع النسبة المئوية لمستوى الـVo_2max. عندما تكون التكرارات التى يؤديها السباح أكثر طولاً.

إن معدلات نبض القلب إذا حُسبت بعناية وحُللت Interpreted بدقة Properly، فإنه من الممكن أن تصبح الطريقة الأكثر دقة بالمقارنة بطريقة النسبة المئوية للمجهود الأقصى وفقاً لمستوى الـVo_2max. ويشير العلماء إلى أن معدل نبض القلب ما بين حدة الأقصى وعدد معين من نبضات القلب أقل تعّد مؤشراً جيداً لمعدلات نبض القلب وذلك وفقاً لما يلى:

١- معدلات نبض القلب ما بين حدة الأقصى و١٠ نبضات أقل من الأقصى تتوافق مع سرعة السباحة التى تسبب مقدار استهلاك للأكسجين يعادل ١٠٠٪ من حدة الأقصى.

٢- معدلات نبض القلب التى تقل عن حدة الأقصى بـ١٥-٢٠ ن/ق تتوافق مع سرعة السباحة التى تسبب مقدار استهلاك للأكسجين يعادل ٨٥٪-٩٠٪ من حدة الأقصى.

٣- معدلات نبض القلب التى تقل عن حدة الأقصى بـ٢٥-٣٠ ن/ق تعبر عن المجهود الذى يسبب استهلاك مقدار للأكسجين يعادل ٧٠٪-٨٠٪ من حدة الأقصى.

٤- معدلات نبض القلب التى تقل عن حدة الأقصى بـ٤٠-٦٠ ن/ق فإنها تتوافق مع معدلات استهلاك للأكسجين تعادل ٥٠٪-٦٠٪ من حدة الأقصى.

الحد الأقصى لاستهلاك الأكسجين والأداء الرياضى Vo_2max & Performance:

تشير الدلائل إلى أن الـVo_2max يتحسن بالتدريب، كما أظهرت البحوث أن الوراثة Heredity تعتبر من محددات التعرف على مقدار التحسن لكل فرد على حدة، وأشارت بعض الدراسات أن التوائم المتطابقة Identical Twins غالباً ما تتطابق فى أقصى قدرة لاستهلاك الأكسجين (**بوشارد** BOUCHARD ١٩٩٠ ، **كليسورساس** KLISSOURSAS ١٩٧١م). وعموماً فإن الرياضيون يمكنهم تحسين أقصى استهلاك للأكسجين لديهم لكل لتر/دقيقة بمقدار ما بين ١٥٪-٢٠٪، أما لو حسب كحد أقصى نسبى، أى لكل كيلو جرام من وزن الجسم، فإن مقدار التحسن يكون ما بين ٢٠٪-٤٠٪.

وكان يعتبر تحديد القدرة على استهلاك الأكسجين خلال السنوات العديدة الماضية، مقياساً جيداً لتقدير قدرة الفرد الرياضى على الأداء لسباقات التحمل، ونحن نؤيد ذلك، حيث أن الفرد الرياضى الذى يمتلك تزويد عضلاته العاملة بمزيد من الأكسجين كل دقيقة من التمرين، سيكون بلا شك قادراً على امتلاك المزيد من الطاقة الناتجة من عملية التمثيل الهوائى. لذا فالفرد الرياضى يمكن أن يصل إلى مرحلة التعب عند معدلات أقل نتيجة اعتماده فى الأداء بدرجة أقل على التمثيل اللاهوائى. فكلما زاد مقدار الـVo_2max لدى الفرد الرياضى، كلما كانت فرصته أفضل فى سباقات التحمل، ولهذا السبب فإن تدريب التحمل أكد تحسن هذا المقياس الفسيولوجى. وأصبح من الحقائق المتعارف عليها أنه كلما تحسن مستوى الـVo_2max كلما تحسن هذا المقياس الفسيولوجى. وأصبح من الحقائق المتعارف عليها أنه كلما تحسن مستوى الـVo_2max تحسن مستوى أداء الفرد للتحمل، ولكن **ماجلشو** (٢٠٠٣م) يرى أن ذلك واحداً فقط من الميكانزمات

الفسيولوجية العديدة التى تلعب دوراً فى ذلك، وليس التحسن فى الـVo_2max فقط هو المعبر عن التحسن فى مستوى التحمل. وفى هذا المجال، فقد أشارت العديد من الدراسات أن هناك علاقة قوية بين الـVo2max ومستوى أداء التحمل بلغت ٠,٧٥-٠,٨٠.

ويشير العلماء أن العوامل الوراثية تلعب دوراً كبيراً فى تحديد النسبة المئوية لمعدلات استهلاك الأكسجين حيث بلغت نسبتها ٩٣,٤٪ لدى الذكور، ٩٥,٩٪ لدى الإناث. (**لامب** LAMB (١٩٨٤م).

النسبة المئوية المستخدمة من الـ Vo_2max :

Percentage Utilization of Vo_2max:

ظهر فى السنوات الأخيرة مقياس أخر للتعرف على استهلاك الأكسجين، حيث يمكننا التنبؤ بالأداء فى سباقات التحمل بمزيد من الدقة وتحديد مستوى الـVo2max (**سجودين، جاكوبز** SJODIN & JACOBS ١٩٨١)، (**بيشوب، جنيكيز، ماك كينون** BISHOP, JENKINS & MAC KINNON ،١٩٩٨) وهذا المقياس هو النسبة المئوية الجزئية لأقصى استهلاك للأكسجين **Fractional Percentage of maximum oxygen consumption**، وهذا يشير إلى أعلى معدل من العمل الذى يستطيع الفرد أدائه لفترة طويلة من ٢٠-٤٠ دقيقة دون أن يصل إلى التعب، إن المعدل الذى سمى بالنسبة المئوية للقدرة القصوى للفرد على استهلاك الأكسجين هو الناتج الذى يتحدد بقياس استهلاك الفرد الرياضى للأكسجين أثناء أداء المجهود الأقصى بالسباحة لفترة الـ٢٠-٤٠ دقيقة، وعندئذ نحدد الجزء **Fraction** المعبر عن المعدل الأقصى لاستهلاك الأكسجين لدى الفرد الرياضى. ومثال لذلك، نفترض أن أقصى استهلاك للأكسجين للفرد الرياضى هو ٧٠ مليلتر/كيلوجرام/دقيقة، وإذا كان أعلى معدل لاستهلاك الأكسجين يمكن لهذا الفرد المحافظة عليه لفترة زمنية طويلة بدون تعب هو ٦٠ ملى لتر/كيلو جرام/ دقيقة، وعلى ذلك، فإن هذا الشخص تكون لدية القدرة على العمل عند مستوى ٨٥٪ من مستوى الـVo_2max .

أما الأشخاص الغير مدربين، فإن أعلى استخدام جزئى للـVo_2max الذى لا يحدث التعب هو ما بين ٥٠٪-٧٠٪ من الحد الأقصى، والتدريب يمكنه أن يحسن هذا المقدار ليصل إلى ٧٥٪-٩٠٪ من الحد الأقصى، ولا يفوتنا هنا أن نشير أن الوراثة تلعب دورا كبيرا فى تحديد أعلى نسبة مئوية من الحد الأقصى للأكسجين الذى يصل إليه الفرد الرياضى، ومن أكثر المصطلحات شيوعا لتحديد الحد الأقصى الجزئى للـVo_2max والذى يمكن للفرد المحافظة عليه لفترة طويلة هو العتبة الفارقة اللاهوائية Anaerobic Threshold (واسرمان وآخرون (١٩٧٣م) WASSERMANN, et al.,) .

ويرى بعض العلماء أن هذا المصطلح (العتبة الفارقة اللاهوائية) غير دقيق وغير ملائم Unfortunate، لأنه من المعتقد أن التمثيل اللاهوائى لا يبدأ حتى يتجاوز الفرد النسبة المئوية الخاصة المستخدمة للـVo_2max ، وفى الحقيقة، فإن التمثيل اللاهوائى يبدأ مع بداية التمرين ويستمر حتى نهايته، فالعتبة الفارقة اللاهوائية لا تعبر عن معدل العمل الذى تكون عنده عملية التمثيل اللاهوائى قد بدأت، وعلى الرغم من ذلك، فإنها تعبر عن المستوى المستخدم لعملية التمثيل اللاهوائى التى يمكن للشخص المحافظة عليها لفترة طويلة دون ظهور علامات التعب الشديد، وعند هذا المعدل، فإن استهلاك الأكسجين والآليات الهوائية الأخرى ستكون كافية لأكسدة معظم المواد التى تحرر الطاقة Energy-Liberating Substances فى العضلات، وبناء على ذلك فإن حمض اللاكتيك ينتج عند معدل أبطء ويتأخر ظهور التعب.

والسؤال الذى قد يطرح نفسه هو لماذا لا يستطيع الفرد الرياضى أداء المجهود لفترة طويلة عند مستوى ١٠٠٪ من الـVo_2max ؟ إن الاعتقاد الشائع، على الرغم من انه خاطئ، أن الفرد لا يصبح متعبا حتى يتجاوز معدلاته الأقصى من استهلاك الأكسجين، وذلك لأنه لم يبدأ فى إنتاج حمض اللاكتيك حتى يصل استهلاكها للأكسجين لقمته، ولكنه قد لا يكون كافيا لمواجهة احتياجاته من الطاقة، وكما أشرنا من قبل، فإن الأفراد

الرياضيين سوف ينتجون حمض لاكتيك لفترة طويلة قبل أن يصلوا بمستوى المجهود المبذول للمستوى الذى يتوافق مع الـ١٠٠٪ الـVo_2max .

فالسبب الأول أن الأفراد الرياضيون لن يكونوا قادرون على استهلاك الأكسجين عند معدله الأقصى إلا عندما تكون لديهم أكبر قدر محتمل من الاستثارة فى ميكانزمات كلا من الجهاز الدورى والتنفسى والعضلى، والتى تشارك فى توزيع الأكسجين واستهلاكه، وعاده ما لا يحدث ذلك حتى مرور من ١-٢ دقيقة من السباق حتى يحدث تراكم لحمض اللاكتيك فى الدم والعضلات (**سيرس وآخرون** (١٩٨٨م) SERRESSE, et al.,).

والسبب الثانى هو أن معدل المجهود المبذول يتطلب استثارة ردود أفعال الجهازين الدورى والعضلى والتى تنتج فى حالة المعدل الأقصى لاستهلاك الأكسجين التى تتطلب طاقة أكبر من تلك التى يمكن التزود بها بالأكسدة فقط. ومع ذلك، فإن هذه المعدلات ينتج عنها عجز فى الأكسجين مما يجعل حمض اللاكتيك يتراكم فى العضلات.

مميزات زيادة الحد الأقصى لاستهلاك الأكسجين:

Advantage of Increasing Vo_2max:

يمكن لمعظم الرياضيين المحافظة على السرعات التى تتطلب أقصى استهلاك للأكسجين لفترة من (١-٣ق) فقط من المجهود المستمر قبل أن تبطئ سرعتهم قسريا بسبب التعب (**هيل، رووِل** (١٩٩٧م) HILL & ROWELL)، أما فى السباقات الطويلة وأداء المجموعات التدريبية الطويلة، فيجب على الرياضيين أن يختاروا السرعات التى تتطلب معدلات أقل من الأقصى من استهلاك الأكسجين للدرجة التى لا يتراكم معها مقادير كبيرة من حمض اللاكتيك فى عضلاتهم مبكرا جدا، ومثال لذلك، فإن معظم العداءين يمكنهم إتمام أداء الماراثون (٤٢ كيلومتر أو ٢٦,٢ ميل)، إذا ما استخدموا سرعة ما بين ٧٥٪-٨٠٪ من أقصى قدرة لديهم لاستهلاك الأكسجين، فكلما زادت قدرة

الفرد على استخدام نسبة أكبر من الـVo_2max فى مثل هذه السباقات كان أدائه أفضل، فالفرد الرياضى الذى يستطيع التدريب باستخدام ٨٥٪-٩٠٪ من الـVo_2max دون الوصول للتعب فسيكون لدية القدرة على الجرى لمسافات أطول وعند مدى سرعة أسرع.

ولاشك أن قدره السباح على أداء المنافسة عند نسبة مئوية أكبر من الـVo_2max تعتبر ميزة فى السباقات القصيرة، وكذلك فى سباقات المسافات المتوسطة والمسافة، فإذا افترضنا أن هناك اثنين من الرياضيين متماثلان Identical فى القدرة القصوى لاستهلاك الأكسجين ولكن يختلفا فى قدرة كل منهما على الأداء دون الوصول للتعب، فأحدهما لدية القدرة على الأداء عند مستوى ٨٥٪ من الـVo_2max دون الوصول للتعب بينما الآخر تنحصر قدرته عند مستوى ٨٠٪، وهنا يمكنا أن نقول أن الفرد الذى يستطيع أن يسبح بالقرب من الـ١٠٠٪ من الـVo_2max سوف ينتج حمض لاكتيك أقل عند السباحة بسرعة السباق، وكذلك ستكون لدية القدرة على المحافظة على هذه السرعة لفترة أطول بالمقارنة بالأخر.

فإذا كان السباحان متماثلان فى كفاءة أداء السباحة، فإن السباح الأول "أ" ستكون لدية ميزة واضحة فى أى سباق وهى أن الأكسجين المطلوب للأداء هو ٤٨ ملى لتر/كيلو جرام/دقيقة أو أكثر، لأن هذا السباح يمكنه تحرير المزيد من الطاقة خلال عملية التمثيل الهوائى، ولذا يمكن أن نقول أن لدية القدرة على المحافظة على سرعة السباق دون حدوث التعب.

إن نتائج العديد من الدراسات أشارت إلى أن القدرة على استخدام نسبة مئوية أكبر من الـVo_2max ترتبط بعلاقة دالة (قوية) بمستوى الأداء فى سباقات المسافات المتوسطة والمسافة، وحتى فى السباقات الأقصر من الـ١٠٠م، وفى دراسة أجراها سجودين (١٩٨٢م) SJODIN على العداءين، أشارت نتائجها إلى وجود علاقة دالة بلغت ٠,٨٦ عند عدو مسافة ٤٠٠م بين النسبة المئوية المستخدمة

من الـVo_2max ومستوى أداء هذه المسافة، وهذه المسافة (٤٠٠م عدو) تتوافق مع مسافة الـ١٠٠م سباحة، فعدو الـ٤٠٠م تتطلب ٤٤-٦٠ث لدى معظم العداءين، وهذا الزمن تقريباً هو المطلوب لأداء سباقات الـ١٠٠م، والعلاقة بين الـVo_2max والأداء كانت ٠,٩٠ لعدو مسافة الـ١٠٠٠م والتى تتطلب تقريباً نفس الزمن الذى يحتاجه السباحون لأداء مسافة سباق الـ٢٠٠م.

وكما ذكرنا من قبل، فإن التدريب يمكن أن يحسن من النسبة المئوية لأقصى استهلاك للأكسجين بمقدار ٢٠٪-٣٠٪ دون أن يصل الفرد إلى التعب، ويعتقد البعض أن النسبة المئوية المستخدمة من الأكسجين وأقصى استهلاك للأكسجين يقتربا كثيراً جداً من بعضهما، فهما مترابطان بحيث لا نستطيع اعتبار كل منهما ظاهرة فسيولوجية منفصلة، بمعنى أخر، ففى حالة زيادة النسبة المئوية المستخدمة من الـVo_2max ، فإن هذه الزيادة لا يمكن أن تحدث دون أن يلازمها Concomitant زيادة فى أقصى استهلاك للأكسجين (**سالتين** (١٩٧٣م) SALTIN). ومع ذلك، فإن الدراسة التى أجراها **هورلى وزملائه** (١٩٨٤م) HURLEY & Associates أشارت إلى أن النسبة المئوية للـVo_2max يمكن أن تزيد دون زيادة مماثلة فى الحد الأقصى لاستهلاك الأكسجين، حيث أن زيادة التدريب أدت إلى زيادة إنتاج حمض اللاكتيك بالدم عند ٢,٥ ملى مول/لتر فى حين لم يحدث الوصول إلى أقصى استهلاك للأكسجين، حيث كانت شدة التمرين قبل التدريب تعادل ٦٥٪ من الحد الأقصى لاستهلاك الأكسجين ونتج عنها تركيز لاكتيك بالدم مقداره ٢,٥ملى مول/لتر، وبعد التدريب، فإن شدة التمرين التى تتطلب إنتاج نفس مقدار تركيز اللاكتيك بالدم كانت عند نسبة ٧٥٪ من الـVo_2max .

وتوضح هذه النتائج أن النسبة المئوية من أقصى استهلاك للأكسجين التى يمكن للفرد استخدامها أثناء التمرين يمكن تحسنها بشكل مستقل عن تنمية الـVo_2max ، والمبرر الرئيسى لتحسن النسبة المئوية للـVo_2max دون أن

يلازمها زيادة فى أقصى استهلاك للأكسجين تكون عندما تبدأ معدلات حمض اللاكتيك فى الانتقال من العضلات والدم بعد التدريب، فإذا كان معدل هذا الانتقال لحمض اللاكتيك أسرع بعد التدريب، فإن الفرد الرياضى يمكنه أداء المجهود قرب الحد الأقصى للـVo_2max دون تكون الأحماض، وفى حالة عدم حدوث تغير فى الـVo_2max، فإن إنتاج المزيد من حمض اللاكتيك فى العضلات يتطلب المزيد من المجهود، ولكن إذا كان حمض اللاكتيك قد بدأ فى الانتقال من العضلات بصورة أسرع، فإنه لن يبقى فى العضلات حيث يسبب التعب، ولذا، فإن التدريب الذى يزيد من معدل حمض اللاكتيك المنتقل من العضلات قد يكون ذو قيمة محدودة، وتزداد هذه القيمة إذا كان الغرض من التمرين تنمية التحمل الذى يزيد من أقصى استهلاك للأكسجين، وفيما يلى مقارنة النسبة المئوية لاستهلاك الأكسجين بين اثنين من السباحين مع اختلافهما فى مقدار الـVo_2max فى الدقيقة.

السباح (أ): الـVo_2max = ٦٠ مليلتر/كيلوجرام/دقيقة.

هذا السباح يمكنه السباحة عند مستوى ٩٢٪ من الحد الأقصى بدون حدوث تعب، ومع ذلك، يمكنه استهلاك أكسجين عند معدل ٥٥,٢ ملليلتر/كيلوجرام/دقيقة.

٦٠ × ٠,٩٢ = ٥٥,٢

السباح (ب): الـVo_2max = ٦٥ ملليلتر/كيلوجرام/دقيقة.

فهذا السباح يمكنه السباحة عند مستوى ٧٥٪ من الحد الأقصى دون حدوث تعب، ومع ذلك، يمكنه استهلاك أكسجين عند معدل ٤٨,٧٥ ملليلتر/كيلوجرام/دقيقة.

٦٥ × ٠,٧٥ = ٤٨,٧٥

تحديد العتبة الفارقة اللاهوائية:

Determining the Anaerobic Threshold:

إن أعلى نسبة مئوية لأقصى استهلاك للأكسجين والتى يستطيع الفرد المحافظة عليها لفترة طويلة دون حدوث التعب اصطلح على تسميتها بالعتبة الفارقة اللاهوائية، والمصطلح الأكثر دقة هو عتبة التهوية اللاهوائية Respiratory Anaerobic Threshold، ولتحديدها فإن استهلاك الأكسجين يجب أن يقاس أثناء التمرين، ولاشك أن هذا القياس أثناء التمرين شيئ معقد وإجراءاته صعبة، ووفقاً لذلك، فإن **مادر وهيك وهولمان** (١٩٧٦م) MADER, HECK & HOLLMANN طوروا طريقة أخرى لتحديد العتبة الفارقة حيث قاموا بقياس عينات من الدم لمعرفة محتواها من حمض اللاكتيك بعد أداء مجهود بشدات مختلفة وقد استخدمت هذه الطريقة كثيراً مع الرياضيين بعدما أثبتت دقتها.

الفكر الجديد عن الدين الأكسجينى:

New Thought on the Oxygen Debt:

عُرف مصطلح الدين الأكسجينى على يد هيل A.V. HILL وهو العالم الحائز على جائزة نوبل، وأصبح لفترة ما مفهوماً شائعاً فى فسيولوجيا الرياضة، فعرف الدين الأكسجينى بأنه "الأكسجين الإضافى المستهلك بعد التمرين الرياضى فوق المستوى الطبيعى الذى يستهلكه الفرد فى حالة الراحة، وكان تفسير الدين الاكسجينى بأنه يحدث عندما يكون المطلوب من الأكسجين – وخاصة خلال فترة التمرين – قد جاوز الحجم من الأكسجين الذى يمكن للفرد الرياضى أن يستهلكه أثناء أداء التمرين الرياضى، ومع ذلك، فمن المعروف أن الفرد الرياضى يكون تنفسه أسرع وأعمق لفترة زمنية قصيرة بعد الانتهاء من التمرين وذلك للحصول على الأكسجين الإضافى الذى يحتاجه جسم الفرد الرياضى ولم يتمكن من الحصول عليه أثناء أداء التمرين.

وكان الاعتقاد أن الأكسجين الإضافى يعوض عجز الأكسجين الناتج عن عملية التمثيل اللاهوائى للطاقة أثناء أداء التمرين الرياضى، والمثال الذى أشرنا إليه من قبل يوضح مفهوم الدين الأكسجينى الزائد والذى يستهلك أثناء فترة الاستشفاء التى تلى التمرين مباشرة.

وعلى الرغم من تفسير العلماء لعمق وسرعة التنفس الذى يحدث أثناء فترة الاستشفاء، إلا أن البعض يشير إلى أن المقادير الإضافية من الأكسجين المستهلك أثناء هذه الفترة لا تعادل العجز فى الأكسجين، حيث أنه بشكل عام سيكون أكبر من عجز الأكسجين المحسوب لأن تمثيل حمض اللاكتيك بعد التمرين يتطلب المزيد من الطاقة بالمقارنة بما هو مطلوب لإنتاجه بعد التمرين (**فاندوال، بيرز، مونود** (١٩٨٧م) VAND WALLE, PERES & MONOD)، وقد أظهرت العديد من الدراسات أن الدين الأكسجينى يكون اكبر من العجز الأكسجينى بمقدار ٥٠٪-١٠٠٪ (**بانجسبو وآخرون** ١٩٩٠م BANGSBO, et al.)، (**هوجسون** (١٩٨٤م) HUGHSON)، **بورز وآخرون** (١٩٨٧م) POWERS, et al.)، (**روز وآخرون** (١٩٨٨م) ROSE, et al.,):

لذا، نفهم من ذلك أن زيادة استهلاك الأكسجين بعد التمرين لا يكافئ بشكل كلى الدين الأكسجينى الحادث أثناء التمرين، ولهذا السبب يقترح العلماء مصطلحات أخرى للأكسجين الإضافى المستهلك خلال فترة الاستشفاء، ومن هذه المصطلحات استهلاك الأكسجين الزائد بعد التمرين Excess Post-Exercise Oxygen Consumption(EPOC)، وكذلك مصطلح "الأكسجين المستهلك فى الاستشفاء" Recovery Oxygen up Take وهذا المصطلح يميل ماجلشو (٢٠٠٣م) لاستخدامه. وحول هذه النقطة، فإن العلماء لم يقدموا لنا تفسيراً واضحاً شاملاً عن دور الأكسجين الإضافى المستنشق أثناء فترة الاستشفاء فى عملية تمثيل الطاقة، ومع ذلك، فهناك تفسيرات عديدة مقبولة ظهرت نعرض لبعضها فيما يلى:

إن الأكسجين المأخوذ فى الاستشفاء له مكونات سريعة وأخرى بطيئة حيث أن نصف إجمالى مقدار الأكسجين المستهلك تقريباً أثناء الاستشفاء يستهلك خلال ٣٠ث-٣ق من انتهاء التمرين، وهذا يعتمد على الفترة الزمنية للتمرين وشدته، وقد أصطلح على تسمية هذا الجزء بالمكون السريع Fast Component، واعتقد فى فترة ما أن المكون السريع يمثل حجم الأكسجين المطلوب لاستعادة تكون الـATP-CP الذى نضب خلال التمرين. ومع ذلك، أثبت **بانجسبو وزملائه** (١٩٩٠م) BANGSBO & Coworkers أن ما ينسب لهذه العمليات لا يزيد عن ٢٠٪ من الجزء السريع من الأكسجين المستهلك فى فترة الاستشفاء، أما عن الجزء المتبقى من الأكسجين المستهلك فى الاستشفاء فقد أُقتُرِحت ميكانزمات أخرى، ومنها أنه يوضح أن الأكسجين اللازم لتحرير المقدار المخزون فى ميتاكوندريا العضلات وهيموجلوبين الدم قبل التمرين، وأخر يشير إلى أن رد الفعل الطبيعى للجهاز التنفسى للتمرين هو أن معدل التنفس سوف يستمر فى الارتفاع حتى ينتج ثانى أكسيد كربون إضافى أثناء التمرين والذى ينقل إلى خارج جسم الفرد.

أما المكون (الجزء) البطيء لاستهلاك الأكسجين فى الاستشفاء يرجع إلى الارتفاع البسيط فى معدل التنفس والذى يمكن أن يستمر للعديد من الدقائق، وقد تناولت العديد من التفسيرات هذه الظاهرة أيضاً، ومنها أن ذلك قد يرجع إلى زيادة الحاجة للأكسجين الإضافى المحتمل استخدامه فى عملية التمثيل لحمض اللاكتيك الناتج أثناء التمرين، ومنها أيضاً أن الزيادة فى درجة حرارة الجسم هى التى تحافظ على معدل التنفس مرتفعاً، فدرجة حرارة الجسم تزداد أثناء التمرين الشديد ولا تعود لمستواها الطبيعى لبعض الوقت فيما بعد، فمعدل تنفس الشخص قد يبقى مرتفعاً حتى تعود درجة حرارة الجسم لحالتها الطبيعية، وهناك تفسير أخر يشير إلى أن هذا يحدث مع إفراز الهرمونات حيث يسبب التمرين الشديد زيادة كبيرة فى إفراز الهرمونات وخاصة هرمونى الأبنوفرين والنورابنوفرين (الأدرينالين والنورادرينالين) أثناء التمرين،

وربما يبقى معدل التنفس مرتفعاً حتى يعود تركيز هذه الهرمونات بالدم إلى مستواها الطبيعى.

التنفس الثانى وآلام الجانب Second Wind and Stitch in the Side:

أولاً: التنفس الثانى:

إن الشعور بالراحة التى تحدث أثناء التمرين المستمر تعرف بالتنفس الثانى، وفى حالة تعود الفرد عليه، فإن التنفس المجهد الغير طبيعى يصبح سهلاً، وكذلك العمل المجهد المؤلم يصبح مقبولاً ويمكن تحمله، ولم يتوفر حتى الأن تفسير دقيق **Definitive Explanation** لهذه الظاهرة، ولكن التفسير التالى قد يكون مقبولاً، حيث أن شعور الفرد الرياضى بالألم أثناء المراحل المبكرة من التمرين قد يصاحبه زيادة مؤقتة **Temporary** فى معدل التمثيل اللاهوائى، وتستمر هذه الحالة حتى يزيد استهلاك الأكسجين وبالتالى تزداد النسبة المئوية من الطاقة اللازمة لإتمام المجهود المبذول وذلك عن طريق زيادة نشاط عملية التمثيل الهوائى للطاقة، ومع حدوث ذلك، فإن معدل التمثيل اللاهوائى يقل ويبطء ويبدأ الفرد الرياضى فى الشعور بنفس قدر عبء المجهود.

وحقيقة أن التنفس الثانى يحدث فقط أثناء أداء مجهود التحمل لاقت بعض التأييد، هذا بالإضافة إلى أن الفرد الرياضى بشكل عام يكتشف الإحساس بالتنفس الثانى فقط عند تنفيذ برنامج التدريب بعد التوقف عن التمرين لفترة طويلة **Long Layoff**، فالفرد الرياضى المتدرب جيداً نادراً **Rarely** ما يكتشف هذه الظاهرة، وربما يكون ذلك نتيجة كفاءة الجهازين الدورى والتنفسى اللذان يتكيفا بسرعة أكبر مع المجهود المبذول.

ثانياً: آلام الجانب Stitch in the Side:

فى بعض الأحيان يشعر الفرد الرياضى أثناء التمرين بألم حاد فى جانبه، أسفل الرئتين، وعُرفَ ذلك بأنه آلم الجانب، ولا يوجد دليل علمى مناسب لتفسير أسباب هذه الآلام، والفكرة الشائعة عند الكثيرين أن هذه الآلام

تحدث نتيجة نقص وقتى Temporary Lack فى الأكسجين والذى يؤثر بالتالى على الحجاب الحاجز Diaphragm او يؤثر على العضلات التى بين الضلوع Inter coastal muscles (عضلات التنفس) أثناء أداء مجهود التحمل ويعتقد بعض العلماء أن العجز الأكسجينى Oxygen Deficiency يحدث نتيجة أن الجهازين الدورى والتنفسى لا يمكنهما أن يتكيفا بسرعة كافية للاستجابة لمتطلبات الأكسجين أثناء التمرين، وكما هو فى التنفس الثانى، فإن ألم الجانب عادة ما يحدث للرياضيين أصحاب التكيفات الفسيولوجية الضعيفة، ولا تحدث هذه الحالة لفترة طويلة بعد ذلك إذا ما تدرب الفرد الرياضى جيداً وتحسنت حالته التكيفية، وكما هو أيضاً فى التنفس الثانى، فإنه من المحتمل أن ألم الجانب لا يظهر لأن التدريب يزيد من معدل التكيف للجهازين الدورى والتنفسى.

هل تمرينات التنفس العميق تحسن الأداء؟

Do Deep-Breathing Exercises improve Performance?

إن عملية الشهيق والزفير تمد الجسم بالأكسجين وتطرد ثانى أكسيد الكربون، لذا، فإن عملية التنفس هامة إلى حّد بعيد فى التدريب (التمرين) الرياضى، وعلى الرغم من ذلك، فإن الرياضيون والمدربون لا يحتاجون لاستخدام تمرينات التنفس العميق الخاصة لتنمية عملية تبادل الهواء، وتحدث التكيفات التى تحسن من وظيفة التنفس أثناء أداء سباقات التحمل والسرعة نتيجة العمليات التدريبية الأخرى التى يشارك فيها الفرد الرياضى، فالتدريب الخاص بعملية التنفس لن يحسنها إلى حّد بعيد، هذا بالإضافة إلى أن الجهاز التنفسى لا يقيد عملية تبادل الأكسجين وثانى أكسيد الكربون أثناء التمرين الرياضى. حتى فى حالة الرياضيون ذوى المستوى المتوسط، فإن الأكسجين المتوفر بالدم سيكون كبيراً وأزيد مما يمكنه حمله، والدليل على ذلك هو أن مقدار كبير من الأكسجين الموجود داخل الرئتين يخرج مع الهواء أثناء عملية الزفير، وهناك العديد من العوامل التى تحدّ من قدرة

الفرد الرياضى على استهلاك الأكسجين الموجود بالجهازين الدورى والعضلى، وليس الجهاز التنفسى، ووفقاً لذلك، فإن أداء تمرينات التنفس العميق بغرض زيادة حجم الأكسجين الواصل للجهاز الدورى والعضلى ليس بالشئ الواقعى، وعلى الرغم من ذلك، فإن العديد من الرياضيون يتدربون على تمرينات التنفس العميق، ويجب أن نعلم أيضاً أن مثل هذه التمرينات لن تحسن من السعة الحيوية **Vital capacity** لدى الفرد الرياضى.

دور الهرمونات فى التدريب والمنافسة:

Role of Hormones in Training and Competition:

نحن نعلم جميعاً أن الهرمونات هى مركبات (مواد) كيميائية تنتجها الغدد الصماء وتصب إفرازاتها مباشرة فى مجرى الدم دون قنوات توصيل، فالهرمونات التى تنتجها هذه الغدد تصب **Pour** داخل الدم وتنقل خلال الجسم إلى مواقع الأنسجة المُستقبلة، حيث تؤدى العديد من العمليات، وتحتوى الخلايا ما بين ٢٠٠٠-١٠٠٠٠ موقع مستقبل، حيث يمكن لهرمونات خاصة أن تؤثر عليها وتؤدى وظائفها ، ويجب على المدربون والرياضيون أن يهتموا بالوظائف المرتبطة بما يلى:

١-الهرمونات التى تعزز من التزود بالطاقة أثناء التمرين الرياضى.

٢-استعادة تكوين الطاقة خلال فترة الاستشفاء.

إن الهرمونات لا تصب فى الدم بمعدل ثابت، فهى تتحرر عندما يكون هناك استثارة، ويلعب الجهاز العصبى اللاإرادى **Autonomic nervous system** دوراً كبيراً فى تنظيم عملية إفراز الهرمونات، وهذا الجهاز العصبى اللاإرادى له جزايين يعرفا باسم الجهاز العصبى السمبثاوى والباراسمبثاوى **Sympathetic and Parasympathetic Nervous System**، فالجهاز السمبثاوى ينظم عملية تمثيل الطاقة المطلوبة للتمرين الرياضى خلال ما يعرف برد فعل الهجوم أو الدفاع **Fight-or-Flight Reaction**، أما الجهاز

العصبى الباراسمبثاوى فإنه يسيطر على استعادة Replacement الطاقة أثناء فترة الاستشفاء والجدول التالى يوضح معظم الهرمونات المعروفة ووظائفها.

جدول (٥)

الهرمونات ووظائفها

المصدر	الهرمون	الوظيفة
★ البنكرياس	☆ الأنسولين. ☆ الجلوكاجون. ☆ سوماتوستاتين	تنبيه الجلوكوز والأحماض الدهنية الحرة لاستهلاكها عن طريق الخلايا تحرير الجلوكوز من الكبد، وكذلك يساعد فى تكوين الجليكوجين من البروتين فى الكبد. تقليل إفراز الأنسولين والجلوكاجون.
★ غدة الادرينالين	☆ الإنبى نفرين (الادرينالين).	تنبيه تكسير جليكوجين العضلة والتراى جلسرايد وكذلك استثارة معدل نبض القلب، وتوصيل الإشارة العصبية، والانقباض العضلى.
★ النخاع Medulla	☆ النورابنوفرين (النورادرينالين)	تحفيز معدل نبض القلب وتدفق الدم عن طريق رفع ضغط الدم وتحفيز تحرر الأحماض الدهنية الحرة من الأنسجة الدهنية.
★ القشرة Cortex	☆ الكورتيزول.	تنبيه تحرر الأحماض الأمينية من العضلات والأحماض الدهنية الحرة فى النسيج الدهنى.
	☆ الدوسترون	تنظيم الاحتفاظ بالصوديوم وبالتالى التوازن المائى والتحلل الكهربى
★ الغدة النخامية الجزء الداخلى	☆ هرمون النمو ☆ هرمون الاستثارة الدرقى ☆ هرمون ACTH (الادرينوكورتيكوتروبين) ☆ هرمون استثارة الحوصلة (FSH) ☆ هرمون اللوتينج (LH)	تنبيه بناء الأنسجة وتمثيل الدهون. الحكم فى مقدار الثيروكسين المنتج والمتحرر من الغدة الدرقية تنبيه تحرر هرمونات الأدرينالين. المساعدة فى نمو التجويفات فى المبيضين وتعزيز إفراز الاستروجين من المبايض (لدى الإناث). تعزيز إفراز الاستروجين والبروجسترون، ويجعل التجويفات فى المبايض تطلق البويضات (لدى الإناث).
الجزء الخارجى	☆ هرمون انتيديورتك Antidiuretie (ADH)	تنبيه احتباس الماء وتقليل البول الخارج.

تابع جدول (٥) الهرمونات ووظائفها

المصدر	الهرمون	الوظيفة
الغدة الدرقية	☆ الثيروكسين	زيادة تمثيل الخلايا التى تزيد من استهلاك الأكسجين، وتكسير الدهون والجليكوجين وتجديد الأنسجة.
	☆ كالسيتونين Calcitonin	التحكم فى تركيز الكالسيوم فى الدم.
الغدة الجاردرقية	☆ البارثورمون Parathormone	تنبيه نمو العظام من خلال تأثيره على الكالسيوم، وكذلك هو المسئول عند تنمية قوة الأسنان.
غدة التناسل Gonads	☆ التستسترون.	تنبيه بناء الأنسجة وتجددها.
	☆ الاستروجين.	تعزيز تنمية الأعضاء التناسلية عند الإناث، وتعزيز زيادة الدهون المخزونة، كما يساعد فى تنظيم الدورة الشهرية menstrual cycle لدى البالغات.
	☆ البروجسترون	المساعدة فى تنظيم الدورة الشهرية لدى البالغات من الإناث.

إن نظام التغذية الراجعة العكسية تنظيم عملية إفراز الهرمونات، وخاصة التى تحدث تغيرات خاصة فى الجسم، حيث تمنع فى صورة عكسية إفراز هذا الهرمون، ومثال لذلك، فعندما يرتفع تركيز الجلوكوز فى الدم عن مستواه الطبيعى، فإن البنكرياس سوف يحرر الأنسولين. والأنسولين يزيد من حركة الجلوكوز للخارج إلى الدم ويدخل خلايا الجسم، وعندما يترك الجلوكوز الدم ويدخل الخلايا، فإن الجلوكوز بالدم ينخفض مستواه، وبالتالى يمنع تحرر المزيد من الأنسولين، وعندما يزيد مستوى الجلوكوز بالدم مرة أخرى، فإن إفراز الأنسولين يزيد وتبدأ هذه العملية مرة أخرى.

الاستجابات الهورمونية أثناء التمرين الرياضى:

Hormonal Responses During Exercise:

تلعب الهرمونات دوراً هاماً فى تزويد العضلات والأعصاب بالطاقة، كما أنها ترتبط أيضاً باستعادة تكوين هذه الطاقة، هذا بالإضافة إلى أنها تلعب دوراً فى تجدد وبناء الأنسجة، وفيما يلى نعرض لبعض الوظائف الهامة التى تؤديها الهرمونات فى الأداء الرياضى.

لاشك أن مجهود التحمل يزيد من استخدام العضلات للجلوكوز، وهناك بعض الهرمونات لتسهل من عملية استخدام واستعادة الجلوكوز بالعضلات، فالزيادة فى إفراز هرمون الجلوكاجون يسهل من حركة الجلوكوز من الكبد إلى الدم، الذى يحمله إلى العضلات العاملة، وهرمونات الابنوفرين والنورابنوفرين هما أيضاً يفرزا بكميات إضافية، فهما تساعدا فى حركة جلوكوز الكبد للدم، وإفراز هرمون آخر، وهو هرمون الكورتيزول يسهل من عملية تحويل جليكوجين الكبد إلى جلوكوز، وكما ذكرنا من قبل، فإن زيادة إفراز هرمون الأنسولين يرتبط بشكل مباشر بنقل جلوكوز الدم إلى داخل الألياف العضلية العاملة.

فهورمونات الكورتيزول والإبنوفرين والنورابنوفرين والنمو جميعاً تسهل أيضاً من عملية تحويل دهون التراى جلسريد المخزونة فى الكبد إلى أحماض دهنية حرة وجليسرول Glycerol التى يمكن للدم حملها للعضلات، وهناك فإن الأحماض الدهنية الحرة (FFA) يمكن استخدامها للحصول على الطاقة.

كما أن الهورمونات التى تعزز من غدة الادرينالين تنال الكثير من اهتمام المدربين والرياضيين، فالابنوفرين والنورابنوفرين يعرفا إجمالا بالكاتيوكولامين Catecholamines، ويستجيب هذين الهرمونين لميكانزم الـFight-or-Flight (الهجوم والدفاع)، فهما ينبها الجهاز الدورى حتى يستجيب بسرعة أكبر لحاجة الجسم للجلوكوز والأكسجين بعد بداية التمرين الرياضى، وفى الحقيقة، فإن هذه الظاهرة تعرف بالاستجابة المتوقعة Response Anticipatory فالاستجابات المتوقعة هامة لأنها تقلل من زمن الاستجابة للتكيفات الفسيولوجية المختلفة التى تسهل من تحرر الطاقة وإزالة التعب الناتج أثناء التمرين الرياضى. ويعتقد بعض العلماء أن تكرار الضغوط واستمرارها لفترة طويلة يمكن أن يضعف من استجابة الكاتيكولامين لهذه الضغوط مما يقلل من مستوى الأداء الرياضى.

وهورمون النمو Growth Hormone، والذى ينتج من الجزء الداخلى من الغدة الدرقية، فهو هورمون يعزز من نمو العضلات، والكمية المحررة منه أثناء التمرين البدنى تزيد، ويشير العلماء أن الطريقة التى يتفاعل بها هذا الهورمون لتحقيق استثارة النمو العضلى لم تستكمل عملية فهمها بعد، ويلاحظ أن بعض الرياضيون يتناولون بعض من هورمون النمو بغرض زيادة حجم أجسامهم وعضلاتهم وزيادة قدرتها وذلك عن طريق الحقن بهورمون النمو الاصطناعى، وقد يحقق ذلك التأثير المطلوب، ولكن هذا الهورمون الإضافى يمثل خطورة ويعتبر عمل غير اخلاقى unethical.

تأثير التدريب على الهورمونات Effects of Training on Hormones: (*)

يتمثل التأثير العام للتدريب الرياضى على الهورمونات فى تقليل معدل الإفراز الهورمونى أثناء التمرين الرياضى ولكن فى نفس الوقت تظل هذه الإفرازات لفترة زمنية أطول، وهذه التأثيرات الغير مباشرة تجعل التمرين الرياضى يستمر لفترة أطول مع تقليل عملية حدوث خلل فى إنتاج الطاقة، فمثلاً، التدريب الرياضى يقلل من معدل إفراز الأنسولين أثناء التمرين الرياضى، وهذا التغير يؤدى إلى المحافظة على مستوى جلوكوز الدم مرتفعاً لفترة أطول، كما يقلل من جليكوجين العضلة المستخدم أثناء التمرين، وفى المقابل، وعلى نفس القدر فالانخفاض الزائد فى إفراز هذا الهورمون يجعل تزود العضلات العاملة به بكمية أقل ولكن لفترة أطول، مما يسمح بتزويد العضلات بجلوكوز الدم لفترة أطول. وتفسير ذلك، أنه عندما يصبح الفرد الرياضى متدرباً بشكل جيد، فإن الجلوكاجون والكاتيكولامين والابنى‌نفرين والنورابنوفرين جميعها سوف تستجيب لأقل نشاط تقوم به العضلات، ووفقاً لذلك، فإن معدل استخدام الجليكوجين سوف يقل بينما معدل تمثيل الدهون سوف يزيد لدرجة أن التمرين التحملى المستخدم يمكن استمرار أدائه لفترة أطول قبل أن ينضب الجليكوجين من العضلات العاملة.

(*) لمزيد من المعلومات عن الهورمونات يراجع كتاب المؤلف فسيولوجية الرياضة وتدريب السباحة – الجزء الثانى – مركز الكتاب للنشر، القاهرة، ٢٠٠٢م.

References

1- ***Anderson, D.S., & Sharp, R.L., (1990):*** Effect of muscle glycogen depletion on Protein Catabolism during exercise, Medicine and Science in Sports and Exercise 22(2). S 59.

2-***Astrand, P.O., & Rodahl, K., (1977):*** Textbook of work physiology, New York: McGraw – Hill.

3-***Bangsbo, J., P.D. Gollnick, T.E. Grahan, C. Jeul, B. Kie, M. Mizuno, and Saltin, (1990):*** Anaerobic energy production and O_2 deficit – debt relationship during exhaustive exercise in humens. Journal of physiology, 422:539-559.

4-***Beltz, J.D., D.L. Costill, R. Thomas, W.J. Fink, and J.R. Kirwan, (1988):*** Energy demand of interval training for Competitive swimming, J Swim. Research, 4(3): 5-9.

5-***Brooks, G.A., and T.D. Fahey, (1984):*** Exercise physiology: Human Bioenergetics and Its Applications. New York: John Wiley & Sons.

6-***Brooks, G.A., T.D. Kahey T.P. White, and K.M. Baldwin, (1996):*** Exercise physiology, Human Bioenergetics and its Applications, mountain view, CA: Mayfield, Com. Publishing, U.S.A.

7-***Buskirk, E.R., and Haymas. E.M., (1972):*** Nutritional requirements for women in sport, Proceedings of National Research conference sponsored by the college of Health, physical Education and Recreation, Pennsylvania State University.

8-***Costill, D.L., (1978a):*** Fluids for Athletic performance: Why and what should you Drink During Prolonged Exercise? Toward an Understanding of Human Performance, ed. EJ. Burke, PP. 63-67. Ithaca, New York: Movement publications.

9-***Costill D.L., (1978):***"Sports Nutrition: The Role of carbohydrates" Nutrition news, 41:1.4., U.S.A.

10-***Costill, D.L., M.G. Flynn, J.P. Kirwin, J.A. Houmard, J.B. Mitchell, R. Thomas, And S.H. park, (1988):*** effects of repeated days of intensified training on muscle glycogen and swimming performance, Medicine and Science in Sports and Exercise , 20 (3) 249- 254.

11-***Donovan, C.M. and M.J. Pagliassolt, (1990):*** Enhanced efficiency of Lactate removal after endurance Training, Journal of Applied Physiology, 68: 1053-1058.

12-***Dudley, G.A., Abraham, & R.L. Terjung, (1992):*** influence of exercise intensity and duration on biochemical adaptations in skeletal muscle, J. App. Physiol., 53 (4): 844 – 850.

13-***Fitts, R.H., and, J.J. Widrick, (1996):*** Muscle mechanics: Adaptations with exercise Training, In Exercise and Sport Sciences Reviews, Vol. 24, edited by J.o. Holloszy, 427-473: Baltimore: Williams & Wilkins.

14-***Gollnick, P.D., and Hodgson, (1986):*** Enzymatic adaptation and its significance for metabolic response to exercise, In Biochemistry of Exercise VI: international series on sport sciences, Vol. 16 edited by Saltines 199-200. Champaign, Il: Human Kinetics.

15-***Green, H.J., J.R. Sulton, G. Coutes, M.ali, and Jones,s., (1991):*** Response of red cell and plasma volume to prolonged Training in human, Journal of Applied physiology, 70(4): 1810 - 1815.

16-***Hill, D.W., and, A.L. Rowell (1997):*** Responses to exercise at the velocity associated with Vo_2 max, Medicine and Science in Sports and Exercise, 29 (1) : 113 – 116, U.S.A.

17-***Houston, M.E., (1978):*** Metabolic responses to exercise with special reference to training and competition in swimming, In Swimming Medicine IV, edited by B. Eriksson and B. Furberg, 207 – 232, Baltimore: University park press, U.S.A.

18-***Hultman, E.K. soderlund, J.A. Timmons, G. cederblad, and P.L. Greenhaff, (1996):*** Muscle creatin loading in man. J. Appl. Physiol. 81 (1) : 232 – 237.

19-***Hultman, E.M. Bergstrom, L.L. Spriet, and K. Soderlund, (1990):*** Energy metabolism and fatigue, In Biochemistry of Exercise, VII, international series of sport science, vol. 21, edited by A.W. Taylor, P.D Gollnick, H.J. Greene C.D. Lanuzzo, E.G. Noble G. Metivier, and J.R. Sutton, 73 – 92, Human kinetics.

20-***Jackson, A.j., Morrow, JR.,D. Hill, and R. Dishman, (1999):*** Physical Activity for Health and Fitness, champaign, IL: Human Kinetics, U.S.A.

21-***Jacobs. I., M. Esbjornsson, C. sylvan, I. Holm, and E. Jansson, (1987):*** sprint training effects on muscle myoglobin, enzymes, Fiber types, and blood lactate, Medicine and Science Sports and Exercise, 19 (4): 368 – 374.

22-***Katz, A., Broberg, K. Sahlin, and J. Wahren, (1986):*** Muscle ammonia and amino acid metabolism during dynamic exercise in man, Clinical Physiology, 6: 365 – 379.

23-***Lamb, D.R., (1984):*** Physiology of Exercise, Responses & Adaptations, 2nd ed., Macmillan publishing company, New York.

24-***Mac Dougall, J.D., Ward, G.R., Sale D.C., and Sutton, J.B., (1975):*** Muscle Glycogen Repletion After High intensity intermittent Exercise, J. Appl. Physiol., 42: 129 – 132, U.S.A.

25-***Mac Rae, H. S.H., S.C.D ennis, A.N. Bosch, and T.D. Noakes, (1992):*** Effects of training on lactate production and removal during progressive execise in humen, J.Appli. Physiol., 72 (5) 1649- 1656.

26-***Mader*, A., H. Heck, and W. Hollmann, (1976):** Evaluation of lactic acid anaerobic energy contribution by determination of post – exercise Lactic acid concentration or ear capillary blood in middle distance runners and swimming in exercise physiology, edited by F. landing and W. orban, 187-199, Miami, Fl: symposia specialists, U.S.A.

27-***Maglischo*, E. W., (2003):** Swimming fastest, the essential reference on technique, training and program design, Human Kinetics publishing, U.S.A.

28-***Maglischo*, E.W., (1993):** Swimming Even faster, May Fiald publishing company, California state university, U.S.A.

29-***Maglischo* E.W., (1982):** Swimming faster, May Field publishing company, California state university. U.S.A.

30-***Mathews, D.K., and Fox, E.L., (1976):*** The physiological Basis of physical Education and Athletics. Philadelphia: W.B. Saunders.

31-***Morehouse, L.E., and Miller, A.T., (1971)***: Physiology of Exercise, ST. Louis Mosby, U.S.A.

32-***Moughan, R.J., (1995)***: Creatine supplementation and exercise performance, International Journal of Sports Nutrition, 5: 44-101.

33-***Mc Ardle, W.D., F.I. Katch, and V.L. Katch, (1996):*** Exercise physiology: Energy, Nutrition, and Human performance, Baltimore: Williams & Wilkins.

34-***Mc Ardle W.D., Katch, F.I., & Katch, V.L., (1981):*** *Exercise Physiology, Philadelphia: Lea and Febiger.*

35-***Olbrecht, J., (2000):*** Planning, periodization, Training, competing, and winning, New York; Sports Resources Group.

36-***Phillips, S.M., H.J. Green, M.A. Tarnopolsky, and S.M. Grant, (1995):*** Increased clearance of Lactate after short- term training in men, J. Appl. Physiol. 79 (6): 1862 – 1869.

37-***Robert C. France, (2004):*** introduction to Sports Medicine & Athletic Training, Thomson Delmar learning published, New York.

38-***Ron Maughan, and Michael Gleeson, (2004):*** *The Biochemical Basis of Sport Performance, Oxford University Press Published, New York,*

39-***Serresse, O., G. Lortie, C. Bouchard, and M.R. Boulay, (1988):*** Estimation of the contribution of the various energy systems during Maximal work of short duration, International Journal of Sports Medicine, 4 (6): 456-460.

40-***Shapp, R.L., L.E. Armstrong, D.S. King, and D.L. Costill, (1983):*** Buffer capacity of blood in trained and untrained males. Biochemistry of Exercise: International Journal of Sports Medicine, 9 (6): 461-469.

41-***Shephard, R.J., (1982):*** Physiology and Biochemistry of Exercise, New York. Praegener.

42-***Sjodin, B., and I. Jacobs, (1981):*** onset of blood lactate accumulation and Marathon running performance, International Journal of Sports Medicine, 2:23-26.

43-***Taylor, A.W., (1975):*** "The Effect of Exercise and Training on the Activites of Human skeletal Exercise, D.H. Howold and J.R. Poortmans, PP: 451 – 462, Basel: Bırkauser Verlage, U.S.A.

44-***Treffene, R.J., R. Bickson, C. Craven, C. Osborne, K. Woodhead, and K. Hobbs, (1980):*** lactic acid accumulation during constant speed swimming at controlled relative intensities, J. Sports Medicine, 20: 244 – 254.

45-***Troup, J., Reese, R., (1983):*** A scientific Approach to the sport of swimming, scientific sports, Inc. Gainesville, U.S.A.

46-***Van Handel, P.J., a. Katz, J.R. Morrow, J.P. Troup, J.T. Daniels, and P.W. Bardley (1988):*** Aerobic economy and competitive swimming performance of U.S. elite swimmers. In swimmers. In swimming science V: International series on sport sciences, Vol. 18. edited by B.E. Ungerechts, K. Wilke, and k. Reischle, 219-227 Champaign, Il. Human kinetics, U.S.A.

47-***Wilmore, J, H., and D.L. Costill, (1999):*** Physiology of sport and Exercise, Champaign, IL: Human Kinetics. U.S.A.

رقم الإيداع بدار الكتب المصرية
٢٠٠٥/٢٣١٧٤

الترقيم الدولى I.S.B.N
977-294-355-7

obeikandl.com

obeikandl.com

الإخراج الفنى والطباعة والنشر
المركز العربى للنشر
شارع الخليفة الراشد - حى السلام - الزقازيق - محافظة الشرقية - ج.م.ع
ت - ٠٥٥٢٣٠٢٣٢٣ - ٠١٢١٠١١٦٧٩

توزيع
مركز الكتاب للنشر
٢١ شارع الخليفة المأمون - القاهرة - مصر الجديدة - ج.م.ع
ت: ٢٩٠٨٢٠٣ - ٢٩٠٦٢٥٠ فاكس ٢٩٠٦٢٥٠

obeikandl.com