الفصل الثالث

الاستجابات الفسيولوجية للتمرين الرياضى

Physiological Responses to Exercise

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 لأليافه 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 تُشّر 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 العاب 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	اقل	اقصى
الشعيرات	قليل	اقل	اقصى
نشاط الأنزيمات اللاهوائية	اكبر	أكبر	قليل
نشاط الأنزيمات الهوائية	قليل	اقل	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	اقل	اقصى
محتواها من الكالسيوم	زيادة	زيادة	اقل
قدرة المنظمات	زيادة	زيادة	اقل

ملحوظة: بالنسبة للحجم، فإن الألياف السريعة اكبر حجماً لدى الشخص العادى، هذه العلاقة يمكن أن تتغير بسهولة مع التدريب، فالرياضيون المتدربون جيداً على التحمل عادة ما يكون لديهم ألياف بطيئة اكبر حجماً، بينما الألياف السريعة المرتبطة بسرعة وقدرة الرياضيون المتدربون عادة ما تكون اكبر 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 ان 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 التى يحتاج إليها الفرد الرياضى لمّد العضلات بما تحتاجه من طاقة حتى يمكنها الاستمرار فى الأداء البدنى، كما أنه جهاز التخلص من المواد التى تسبب التعب إذا ما بقيت تلك المواد فى العضلات.

فالجهاز الدورى أساسى مثل جهاز الفلترة فى حمامات السباحة. فحمام السباحة مثل أنسجة الجسم، وفى مقدمتها العضلات. فالقلب هو المضخة، والشرايين والأوردة Arteries & Veins هى الأنابيب Pipes التى تذهب إلى حمام السباحة وتعود منه. ووفقاً لذلك، فإن الدم يمثل الماء الذى 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 التى ينقبضها القلب فى الدقيقة هو ما يُعبر عنه بمعدل نبض القلب. وفى الحقيقة، فإن كلاً من الجانب الأيمن والجانب الأيسر من القلب (البطينين Ventricles) ينقبضاً معاً فى وقت واحد Simultaneously، ولكن هاتين الانقباضتين يُعَداً معاً كضربة واحدة. فالبطين الأيسر من القلب يملأ بالدم الآتى 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 ثانى أكسيد الكربون إلى الرئتين.

إن معدلات نبض القلب فى 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 فى الراحة يقل مع التدريب، كما تصبح العضلات القلبية Cardiac Muscles بالقلب أكبر وأقوى وبالتالى 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، او الشريان الكعبرى Radial artery فى رسغ اليد، أو بوضع اليد على القلب على الجهة اليسرى من الصدر.

ولكل منا حدٌّ 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.

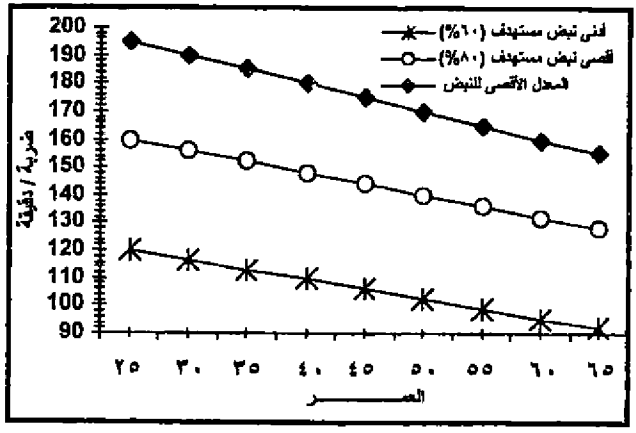
ويتجه الحدّ الأقصى لنبضات القلب إلى النقصان كلما تقدم عمر الإنسان، حيث يحدث نقص ثابت مقداره نبضة واحدة عن كل سنة بدءً من العمر ١٠-١٥ سنة. وعلى ذلك يخصم نبضة واحدة من الحد الأقصى عن كل عام من عمر الفرد والذى - كما ذكرنا من قبل - يبلغ ٢٢٠ن/ق. ولكن هذه الطريقة لا تعطى تقديراً دقيقاً، فمدى الحد الأقصى لنبض 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 اقصى 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 اقصى 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 تاثير 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 البطئ 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 انه 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 اصطلح 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.

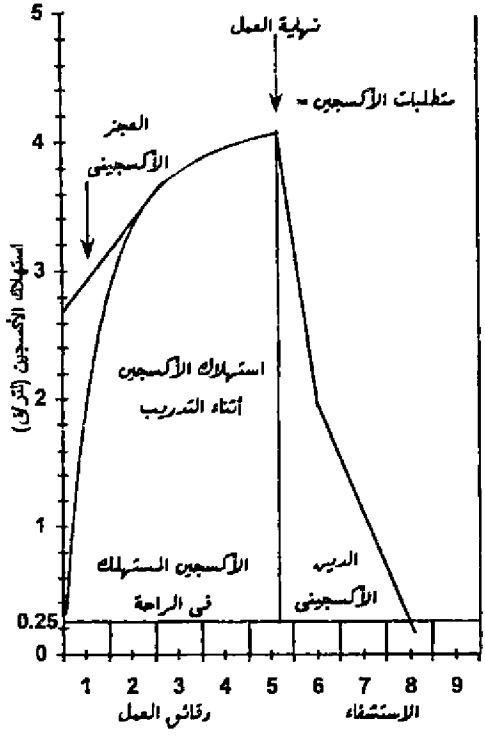
وإذا زادت متطلبات الأكسجين عن الكمية التى يمكن للفرد الرياضى أن يفى بها أثناء التمرين، فإنه قد يستطيع أن يفى بها بعد التمرين حتى يمكنه المحافظة على المستوى العالى من استهلاك الأكسجين لفترة قصيرة. هذه الفترة من استهلاك الأكسجين الإضافى بعد التمرين الرياضى أصبحت تعرف بالدين الأكسجينى Oxygen Debt.

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 الـ Vo_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 الثلجية 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 الـVo2max 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 الـ Vo_2max فى مثل هذه السباقات كان أدائه أفضل، فالفرد الرياضى الذى يستطيع التدريب باستخدام ٨٥٪-٩٠٪ من الـ Vo_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 الـ Vo_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 الـ Vo_2max دون الوصول للتعب بينما الآخر تنحصر قدرته عند مستوى ٨٠٪، وهنا يمكنا أن نقول أن الفرد الذى يستطيع أن يسبح بالقرب من الـ ١٠٠٪ من الـ Vo_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 الـ Vo_2max ترتبط بعلاقة دالة (قوية) بمستوى الأداء فى سباقات المسافات المتوسطة والمسافة، وحتى فى السباقات الأقصر من الـ ١٠٠م، 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 آخر، 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** (SALTIN (١٩٧٣م). 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 للـ Vo_2max دون تكون الأحماض، وفى حالة عدم حدوث تغير فى الـ Vo_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 الـ Vo_2max فى الدقيقة.

السباح (أ): الـ Vo_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 مليلتر/كيلوجرام/دقيقة.

$$٦٠ \times ٠,٩٢ = ٥٥,٢$$

السباح (ب): الـ Vo_2max = ٦٥ مليلتر/كيلوجرام/دقيقة.

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

$$٦٥ \times ٠,٧٥ = ٤٨,٧٥$$

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 شئ 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 أقتُرحت 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 ان 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 تُمد 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 المُستَقبلة، 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 جزاين 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 الأدرينالين	☆ الإنبى نفرين (الأدرينالين).	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 تجـ ـد 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 الترای 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 الFight-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 أخلاقى 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 والابنفرين 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: Birkauser 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

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