

مقرر ٥٥٣ ترض

الجهاز التنفسي الدوري والجهد البدني

الاستهلاك الأقصى للأكسجين (القدرة الهوائية القصوى)

المصدر:

كتاب فسيولوجيا الجهد البدني: الاسس النظرية والإجراءات العملية للقياسات
الفسولوجية. هزاع بن محمد الهزاع، تحت الطبع.

ماذا يعني الاستهلاك الأقصى للأكسجين؟

يعد الاستهلاك الأقصى للأكسجين (Maximal oxygen uptake) أو القدرة الهوائية القصوى (Maximal aerobic power) من أكثر التعابير شيوعاً واستخداماً في حقل فسيولوجيا الجهد البدني، بل أن قياس الاستهلاك الأقصى للأكسجين ومعرفة مقداره أصبحا من الإجراءات الاعتيادية (الروتينية) ضمن اختبارات التقييم الفسيولوجي للرياضيين ولعامّة ممارسي النشاط البدني على السواء.

ويمثل الاستهلاك الأقصى للأكسجين، الذي يرمز له بالرمز (VO₂ max)، أقصى قدرة للجسم على أخذ الأكسجين (بواسطة الرئتين)، ونقله عبر الدم، ثم استخلاصه من قبل العضلات العاملة، لاستخدامه في عمليات إنتاج الطاقة اللازمة للانقباض العضلي. وهو يساوي إجرائياً حاصل ضرب أقصى نتاج للقلب (كمية الدم التي يضخها القلب في الدقيقة) في أقصى فرق شرياني وريدي للأكسجين (الفرق بين محتوى الشريان من الأكسجين ومحتوى الوريد من الأكسجين). ولتوضيح ذلك نشير إلى أن القلب يضخ في كل دقيقة كمية من الدم عبر الشرايين إلى أنسجة الجسم (تسمى نتاج القلب)، وبمرور هذه الكمية من الدم المحمل بالأكسجين عبر الأنسجة فإنها تقوم باستخلاص كمية من الأكسجين من هذا الدم الشرياني والذي يغادر الأنسجة (العضلات في هذه الحال) متوجهاً إلى القلب مرة أخرى عبر الأوردة، والنتيجة أن هناك فرقاً في كمية الأكسجين بين الدم الشرياني والدم الوريدي، هذا الفرق نسميه بالفرق الشرياني الوريدي للأكسجين وهو يمثل كمية الأكسجين التي استخلصتها العضلات، وعليه فإن:

الاستهلاك الأقصى للأكسجين = أقصى نتاج القلب × أقصى فرق شرياني وريدي للأكسجين.

أهمية الاستهلاك الأقصى للأكسجين

من المعروف أن الاستهلاك الأقصى للأكسجين يرتبط ارتباطاً قوياً مع الأداء البدني التحملي، وهو عامل مهم من عوامل التفوق والنجاح في الرياضات التحملية (أي الهوائية)، بالإضافة إلى عاملين آخرين هما العتبة اللاهوائية، وكفاءة الجري (أو اقتصادية الجري). ومما لا شك فيه أن أهمية الاستهلاك الأقصى للأكسجين كعامل محدد للتفوق الرياضي تعتمد إلى حد كبير على نوعية المسابقة التي يشارك فيها ذلك الفرد، ففي السباقات القصيرة مثل العدو السريع (١٠٠، ٢٠٠م) أو سباحة ٥٠ متراً، تقل أهمية الاستهلاك الأقصى للأكسجين كعامل محدد للتفوق (أي أن قدر عال من الاستهلاك الأقصى للأكسجين لا يرتبط بالضرورة

بأداء عال في تلك المسابقة). على أن هناك من جهة أخرى ارتباطاً وثيقاً بين امتلاك الفرد لكمية عالية من الاستهلاك الأقصى للأكسجين والأداء البدني في سباقات تتطلب عنصر التحمل (كالمسافات الطويلة والماراثون وما إلى ذلك). ويوضح الجدول رقم (١) مدى أهمية الاستهلاك الأقصى للأكسجين للعديد من الرياضات الشائعة.

وتتعدد الأغراض التي يمكن أن يستفاد فيها من نتائج قياس الاستهلاك الأقصى للأكسجين لدى الرياضي، سواء في التدريب أو التشخيص أو الانتقاء، غير أن تحديد القدرة الهوائية القصوى للرياضي عن طريق قياس استهلاكه الأقصى من الأكسجين بشكل دوري يساعد قطعاً في الأغراض التالية:

- ١ - التحقق من امتلاك قدرة هوائية عالية عن انتقاء رياضيي التحمل.
- ٢ - معرفة مدى ملائمة الإمكانية الهوائية لدى الرياضي للدور الذي يقوم به في رياضته.
- ٣ - إلى أي مدى يجب التركيز على التدريب الهوائي لدى ذلك الرياضي؟
- ٤ - معرفة نوعية التدريب الهوائي الواجب تطبيقه.
- ٥ - التعرف على معدل التحسن في مستوى قدره الهوائية من جراء تدريب معين.
- ٦ - ما هي الشدة المثلى التي يجب على اللاعب أن يتدرب عندها؟
- ٧ - مساعدة المدرب والرياضي في معرفة ما إذا كان الرياضي يشكو من انخفاض في مستوى أدائه البدني.

جدول رقم (١): مدى أهمية الاستهلاك الأقصى للأكسجين للعديد من الرياضات الشائعة.

نوع الرياضة	مقدار الأهمية
ألعاب القوى (٤٠٠ متر - ماراتون)، سباحة ١٠٠ م - سباحة طويلة، التجديف، الدراجات، وجميع الرياضات الأخرى التي تتطلب جهداً بدنياً مستمراً لأكثر من دقيقة.	ذو أهمية كبيرة
معظم الألعاب الجماعية، كرة القدم، والسلة، واليد، والرجبي، وألعاب المضرب، كالنتس والإسكواش.	ذو أهمية متوسطة
القفز، الرمي، تنس الطاولة، الغطس، الجولف، الرماية، وجميع الرياضات الأخرى المشابهة.	ذو أهمية منخفضة

(المصدر: MacDougal, et al,1991)

وعلى الرغم من أهمية امتلاك مقدار عالٍ من الاستهلاك الأقصى للأكسجين لدى رياضيي المسابقات التحملية، إلا أن العلاقة بين الاستهلاك الأقصى للأكسجين وزمن الأداء البدني في الرياضات التحملية يعد متفاوتاً جداً، ففي دراسة قام بها شيبارد تم خلالها مراجعة ٣٧ بحثاً تطرقت للعلاقة بين الأداء البدني ومعدل الاستهلاك الأقصى للأكسجين وجد أن معامل الارتباط تراوح ما بين ٠,٠٤ إلى ٠,٩٠، ويعود سبب ذلك التفاوت الكبير في العلاقة بين الأداء البدني ومقدار الاستهلاك الأقصى للأكسجين إلى عوامل عديدة، من أهمها طبيعة العينة المستخدمة في العلاقة (كلما كان الاستهلاك الأقصى للأكسجين متقارب جداً بين أفراد العينة كلما ضعفت العلاقة)، والحالة التدريبية للمشاركين في الدراسة، ومقدار العتبة اللاهوائية، وكفاءة الجري، والحالة النفسية للمتسابق والظروف المناخية المحيطة بالسباق، وغير ذلك. ومن الجدير بالإشارة في هذا الصدد أننا وجدنا من خلال البحوث التي قمنا بإجرائها على رياضيي المسافات الطويلة السعوديين أن معامل الارتباط بين الاستهلاك الأقصى للأكسجين وزمن الأداء البدني في سباق ١٥ كم جري لدى مجموعة من رياضيي منتخب المملكة للمسافات الطويلة كان -٠,٦٩ .

الحدود الاعتيادية للاستهلاك الأقصى للأكسجين

يجب الإشارة أولاً إلى أن الاستهلاك الأقصى للأكسجين يتم تسجيله أما مطلقاً باللتر في الدقيقة (الاستهلاك المطلق)، أو منسوباً إلى كل كيلوجرام من وزن الجسم (ملي لتر/كجم. دقيقة)، أو ما يسمى بالاستهلاك النسبي، كما ينسب أحياناً إلى كل كجم من وزن الأجزاء غير الشحمية. وفي السنوات الماضية بدء الاهتمام يعود إلى قسمة الاستهلاك الأقصى للأكسجين المطلق (باللتر في الدقيقة) إلى نسبة من ثلث وزن الجسم أو ثلاثة أرباع الوزن (أنظر فقرة لاحقة حول هذا الموضوع). وفي الرياضات التي يتم فيها حمل الجسم مثل الجري أو التزلج، فإن أفضل مؤشر للتعبير عن الاستهلاك الأقصى للأكسجين هو الاستهلاك النسبي (ملي لتر/كجم. في الدقيقة)، أما في الرياضات التي لا يتم فيها حمل الجسم، وتتطلب قدرة هوائية مطلقة مرتفعة مثل التجديف، فإن أفضل مؤشر للقدرة الهوائية القصوى للفرد هو الاستهلاك المطلق (لتر في الدقيقة)، لأن الغرض هنا هو إنتاج أكبر قدرة مطلقة.

ويبلغ الاستهلاك الأقصى للأكسجين لدى بعض الرياضيين المبرزين أكثر من ٥ لترات في الدقيقة (وقد يصل إلى ٦ أو ٧ لترات في الدقيقة، كما هو الحال لدى بعض المتزلجين الاسكندنافيين). أما الاستهلاك الأقصى للأكسجين النسبي، فيصل لدى بعض الرياضيين المتميزين في رياضات جري المسافات الطويلة والماراثون إلى ٨٠ ملي لتر /كجم. دقيقة (تم

تسجيل رقم قياسي لأحد الرياضيين الاسكندنافيين الذي تجاوز استهلاكه الأقصى من الأكسجين ٩٠ ملي لتر/كجم. دقيقة). ويبين الجدول (٢) معايير اللياقة القلبية التنفسية تبعاً للفئة العمرية ونوع الجنس، بناءً على بيانات في دراسة طولية أجريت في مركز تكساس للبحوث الهوائية في الولايات المتحدة الأمريكية.

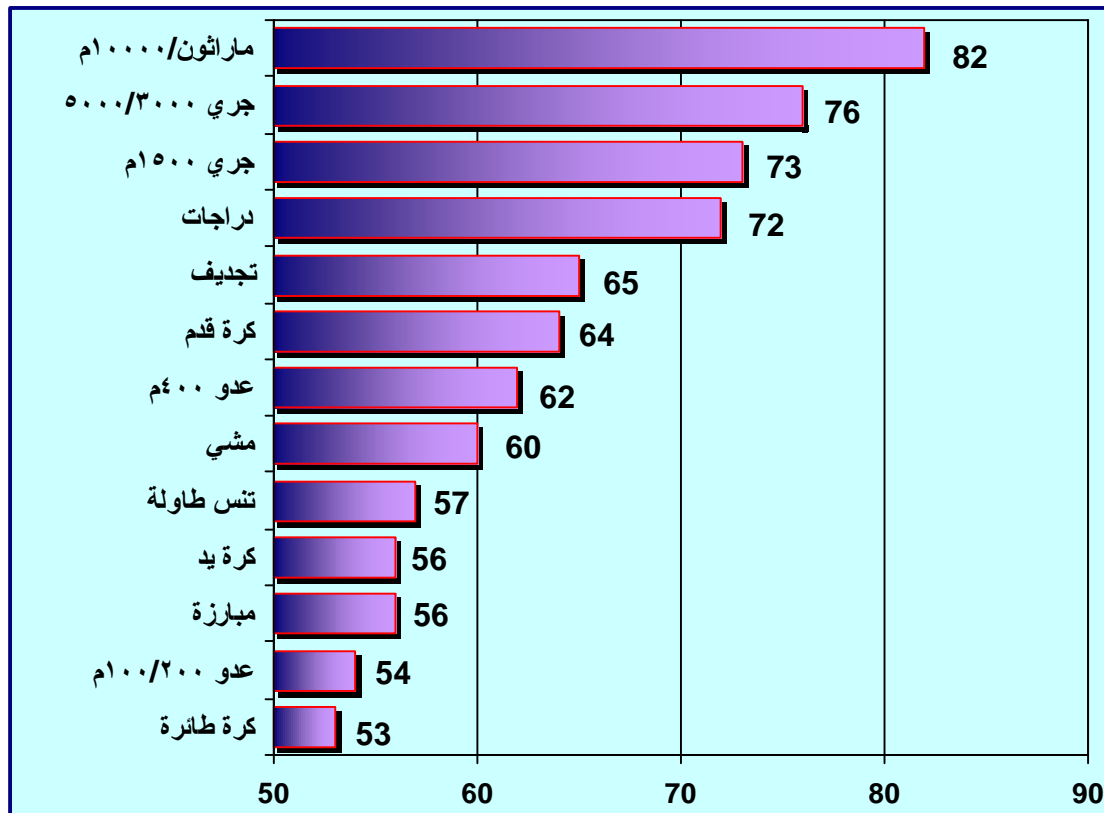
جدول رقم (٢): معايير لقيم الاستهلاك الأقصى للأكسجين (ملي لتر/كجم. دقيقة) تبعاً للعمر ونوع الجنس بناءً على بيانات من دراسة طولية في مركز تكساس الهوائي.

إناث	ذكور	مستوى اللياقة القلبية التنفسية
العمر: ٢٠-٢٩ سنة منخفض متوسط عال	٣٠,٦٣ أو أقل ٣٦,٦٤ - ٣٠,٦٤ ٣٦,٦٤ أو أكثر	٣٧,١٣ أو أقل ٤٤,٢٢ - ٣٧,١٤ ٤٤,٢٣ أو أكثر
العمر: ٣٠-٣٩ سنة منخفض متوسط عال	٢٨,٧٠ أو أقل ٣٤,٥٩ - ٢٨,٧١ ٣٤,٦٠ أو أكثر	٣٥,٣٥ أو أقل ٤٢,٤١ - ٣٥,٣٦ ٤٢,٤٢ أو أكثر
العمر: ٤٠-٤٩ سنة منخفض متوسط عال	٢٦,٥٤ أو أقل ٣٢,٣٠ - ٢٦,٥٥ ٣٢,٣١ أو أكثر	٣٣,٠٤ أو أقل ٣٩,٨٨ - ٣٣,٠٥ ٣٩,٨٩ أو أكثر

تم تصنيف مستوى اللياقة القلبية التنفسية بناءً على النسب المئوية التالية لنفس المجموعة العمرية ونوع الجنس: منخفض = أقل من المئين ٢٠ ، متوسط = بين المئين ٢٠ على المئين ٥٩ ، عال = المئين ٦٠ أو أعلى. المصدر: Sanders & Duncan, Med Sci Sports Exerc, 2006

أما بالنسبة للرياضيين الدوليين، فيوضح الشكل البياني رقم (١) قيم الاستهلاك الأقصى للأكسجين بالملي لتر لكل كجم من وزن الجسم في الدقيقة لمجموعة من الرياضيين الفرنسيين المشاركين في رياضات متنوعة، ويتبين من الشكل أن عدائي الماراثون والمسافات الطويلة يمتلكون أعلى مقدار من الاستهلاك الأقصى للأكسجين، بينما يمتلك الرياضيون في الرياضات التي تعتمد على القدرة المتفجرة والسرعة أدنى المقادير منه، ومن المعلوم أن وزن الجسم

يؤثر على قيم الاستهلاك الأقصى للأكسجين النسبي، إلا أنه ينبغي أن ندرك أيضاً أنه في الرياضات التي تعتمد على حمل الجسم كالجري لا يحفز امتلاك الرياضي لكتلة جسم كبيرة، لأن ذلك يؤثر سلباً على أداءه.



شكل رقم (١): الاستهلاك الأقصى للأكسجين (ملي لتر/كجم في الدقيقة) لدى مجموعات من الرياضيين الفرنسيين المشاركين في رياضات متنوعة (البيانات من: Jousselein, et al. *J Sports Med* 1984). (Phys Fitness 1984).

الاستهلاك الأقصى للأكسجين لدى السعوديين

على مدى العشرين سنة الماضية، أجرينا المئات من قياسات الاستهلاك الأقصى للأكسجين في مختبر فسيولوجيا الجهد البدني بجامعة الملك سعود، ولقد تضمنت عينات المفحوصين طلاب جامعين، ورياضيون من عدة ألعاب رياضية، كما شملت القياسات أطفالاً وناشئين، والجدول رقم (٣) يستعرض المتوسطات والانحرافات المعيارية لقيم الاستهلاك الأقصى للأكسجين لدى مجموعات متعددة من الأفراد السعوديين. ويتبين من الجدول أن عدائي المسافات الطويلة قد بلغ متوسط استهلاكهم الأقصى من الأكسجين حوالي ٧١ ملي لتر/كجم في الدقيقة، كما وصل الاستهلاك الأقصى للأكسجين لدى لاعبي منتخب المملكة لكرة القدم المشاركين في بطولة

كاس العالم لكرة القدم في فرنسا عام ١٩٩٨م حوالي ٥٧ ملي لتر/ كجم في الدقيقة، غير أن نتائج دراسة أخرى أجريتها على لاعبي كرة القدم في أحد الأندية الممتازة بمدينة الرياض عام ٢٠٠٣م قد أظهرت قيمة عالية لمتوسط الاستهلاك الأقصى للأكسجين لديهم بلغت ٦٥,٦ ملي لتر/ كجم في الدقيقة، أما الطلاب الجامعيين فقد تمكنوا من الوصول إلى القيم المتوقعة للأشخاص العاديين في مثل هذا العمر، ويتبين من الجدول أيضاً أن الناشئة الرياضيون يمتلكون قيم أعلى مقارنة بالأطفال أو الناشئة غير الرياضيين.

جدول رقم (٣): الاستهلاك الأقصى للأكسجين لدى فئات مختلفة من السعوديين.

الاستهلاك الأقصى للأكسجين (متوسط ± انحراف معياري)			الفئة
ملي لتر/ كجم. دقيقة	لتر/ دقيقة	العمر بالسنوات	
٤,٣ ± ٧٠,٧	٠,٣٤ ± ٤,٠٢	٢٢,٦	عدائو مسافات طويلة
٤,٨ ± ٥٦,٨	٠,٣٤ ± ٤,١٦	٢٥,٢	لاعبو منتخب كرة القدم عام ١٩٩٨
٣,٩ ± ٦٥,٦	٠,٢٨ ± ٤,٠٥	٢٢,٢	لاعبو نادي الدرجة الممتازة
٤,٩ ± ٤٧,٨	٠,٥٦ ± ٣,٠	٢٢,١	طلاب جامعيون
٥,٨ ± ٥٥,٥	٠,٥ ± ٢,٣	١٥-١١	ناشئون (كرة قدم)
٦,٠ ± ٤٨,٤	-	١٣-٧	أطفال

بيانات عدائي المسافات الطويلة: Al-Hazzaa H, Saudi Med J, 1995

بيانات منتخب كرة القدم: Al-Hazzaa H, et al. J Sports Med Phys Fitness, 2001

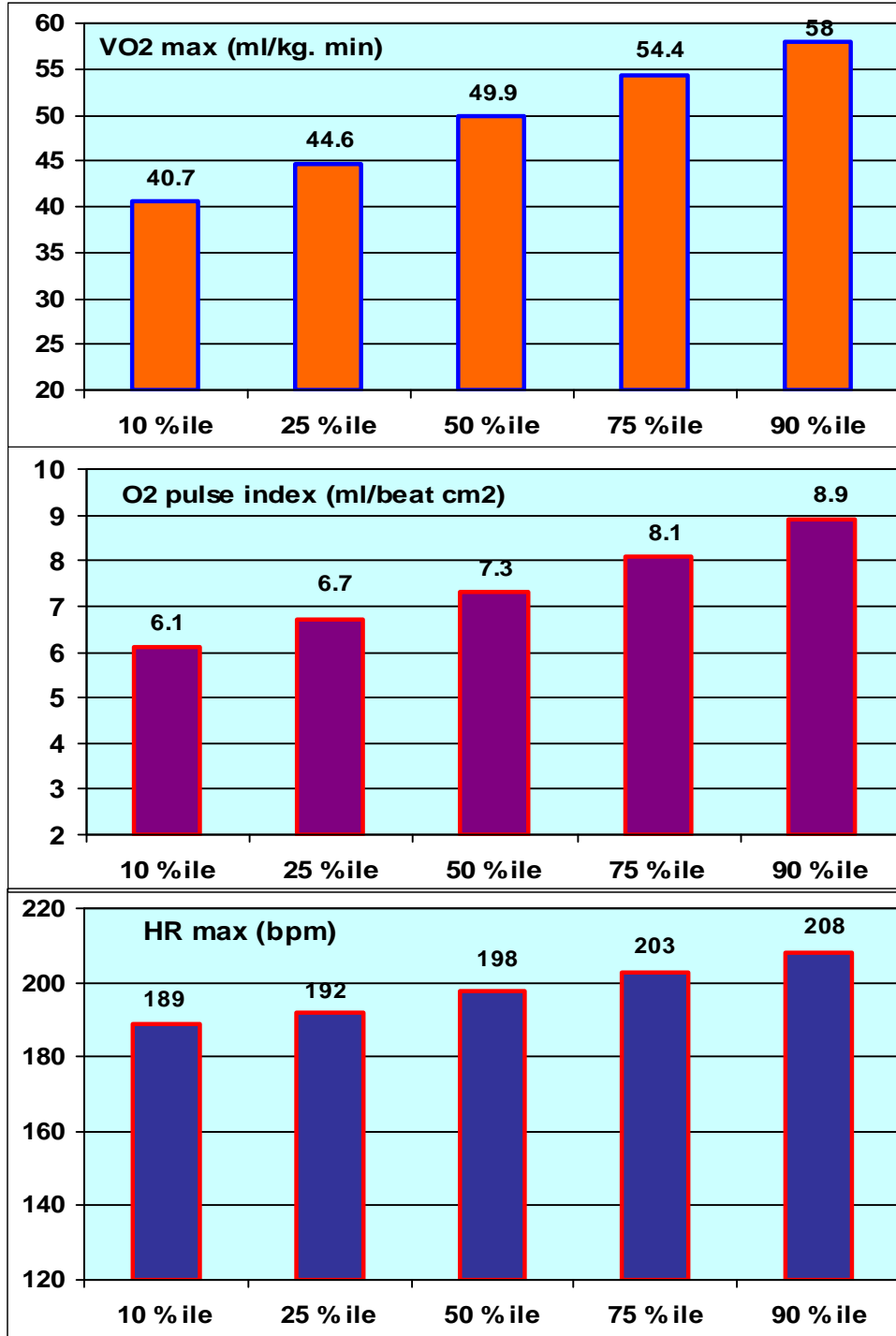
بيانات لاعبي نادي الدرجة الممتازة: الهزاع، هزاع. مركز البحرين للبحوث والدراسات، ٢٠٠٥

بيانات الطلاب الجامعيين: Al-Hazzaa H, In: Sports, Medicine & Health, 1990

بيانات ناشئ كرة القدم: Al-Hazzaa H, et al. Pediatr Exerc Sci, 1998

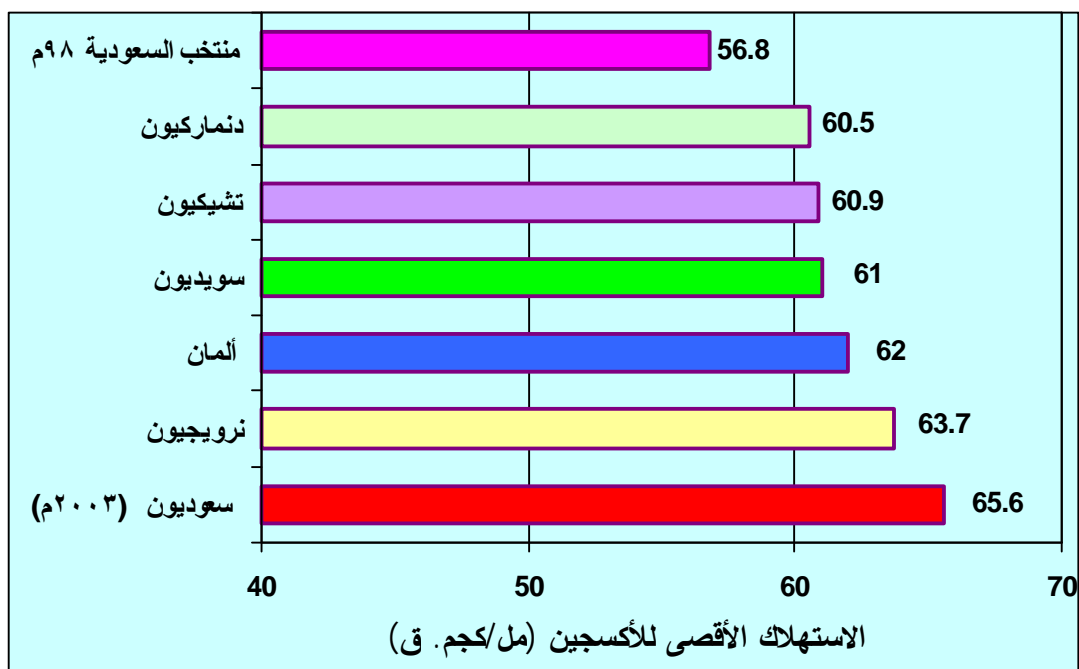
بيانات الأطفال: Al-Hazzaa H, et al. Pediatr Exerc Sci, 1993

وفي دراسة موسّعة أجريتها على الأطفال والناشئين السعوديين الأصحاء في الأعمار من ٧ سنوات إلى ١٥ سنة، توصلنا فيها إلى تحديد معايير اعتيادية (Norms) للعديد من الوظائف القلبية التنفسية لهذه الفئة العمرية، والشكل البياني رقم (٢) يوضح تلك المعايير مرتبة على شكل درجات مئوية من ١٠ إلى ٩٠، لكل من الاستهلاك الأقصى للأكسجين، ومؤشر النبض الأكسجيني (أي النبض الأكسجيني مقسوماً على مساحة سطح الجسم)، وكذلك ضربات القلب القصوى. والشكل البياني في الواقع لا يحتاج إلى تعليق، بل أن تلك البيانات القصوى لبعض الوظائف القلبية التنفسية للبنين الأصحاء يمكن استخدامها كمعايير اعتيادية عند إجراء اختبارات الجهد البدني للأطفال السعوديين.



شكل رقم (٢): الرتب المئينية (من ١٠% إلى ٩٠%) لكل من الاستهلاك الأقصى للأكسجين (نسبة إلى كل كجم من وزن الجسم)، ومؤشر النبض الأوكسجيني، وضربات القلب القصوى لدى الأطفال والناشئين السعوديين (البيانات من: AL-Hazzaa H. Saudi Med J 2001; 22: 875-881).

أما الشكل البياني رقم (٣) فيبين قيم الاستهلاك الأقصى للأكسجين لدى لاعبي كرة القدم السعوديين مقارنة مع بيانات الاستهلاك الأقصى للأكسجين لدى مجموعات متنوعة من لاعبي منتخبات كرة القدم الأوروبية، ويتضح من الشكل البياني أن لاعبي كرة القدم السعوديين المنتمين لأحد الأندية الممتازة من الذين أجرينا عليهم القياسات عام ٢٠٠٣م لا يقلون مستوى في مقادير الاستهلاك الأقصى للأكسجين عن أفضل اللاعبين الأوروبيين، بل أنهم في الواقع يتفوقون عليهم في مستوى القدرة الهوائية القصوى. غني عن القول أن مستوى الاستهلاك الأقصى للأكسجين لدى لاعبي كرة القدم المتميزين ينبغي أن يكون ما بين ٦٠ إلى ٦٥ ملي لتر/ كجم في الدقيقة طبقاً لبعض التوصيات.



شكل رقم (٣): الاستهلاك الأقصى للأكسجين (ملي لتر/كجم. دقيقة) لدى لاعبي كرة القدم السعوديين مقارنة مع لاعبي كرة القدم الأوروبيين (البيانات من: الهزاع، مركز البحرين للدراسات والبحوث، ٢٠٠٥؛ AL-Hazzaa H. *J Sports Med Phys Fitness* 2001).

والجدير بالذكر أن أعلى معدل للاستهلاك الأقصى للأكسجين تم تسجيله في مختبر فسيولوجيا الجهد البدني بجامعة الملك سعود كان لأحد عدائي المسافات الطويلة السعوديين الذي أجرينا عليه القياس في بداية حياته الرياضية كعداء مسافات متوسطة، ولقد بلغ استهلاكه الأقصى من الأكسجين ٨١,٤ ملي لتر/ كجم في الدقيقة، هو معدل عالٍ بالفعل، ولقد قمنا

بنصحه في المشاركة في السباقات التحملية الطويلة (١٠ آلاف فأكثر) بدلاً من المتوسطة، وفعلاً أصبح عداء مسافات طويلة فيما بعد، وبعد فترة من الزمن والتدريب الجيد تمكن هذا العداء من الحصول لاحقاً على بطولة آسيا في سباق ١٠ آلاف متر.

نسبة الاستهلاك الأقصى للأكسجين إلى جزء من وزن الجسم (VO2 max scaling)

عرفنا فيما سبق أن وزن الجسم وخاصة الكتلة العضلية منه يرتبط ارتباطاً موجباً مع مقدار الاستهلاك الأقصى للأكسجين باللتر في الدقيقة. لذا عند مقارنة أفراد مختلفين في وزن الجسم يتم قسمة مقدار الاستهلاك الأقصى للأكسجين باللتر في الدقيقة على وزن الجسم فنحصل على مقدار الاستهلاك النسبي (بالملي لتر لكل كجم من وزن الجسم في الدقيقة)، وعليه تبدو المقارنة في هذه الحالة من الناحية النظرية عادلة. غير أن العلماء لاحظوا أنه بقسمة استهلاك الأكسجين على وزن الجسم كاملاً يتضرر ذوي الأجسام الثقيلة، حيث تبين أن ذوي الكتل العضلية الكبيرة، وعلى الرغم من امتلاكهم مقداراً عالياً من استهلاك الأكسجين باللتر في الدقيقة، إلا أن قسمة ذلك المقدار على الوزن كاملاً يقود إلى انخفاض استهلاكهم الأقصى للأكسجين (بالملي لتر/كجم في الدقيقة) بشكل ملحوظ، كما أن العكس يحدث لذوي الأجسام الصغيرة. هذا الأمر قاد العلماء إلى أن الاستنتاج بأن قسمة الاستهلاك الأقصى للأكسجين على الوزن كاملاً ليس الحل المناسب لتحديد اختلافات الوزن لدى الأفراد، خاصة عند مقارنة أفراد يتفاوتون بشكل ملحوظ في كتلة الجسم أو في حالات النمو لدى الأطفال والمراهقين. ومن هنا ظهرت فكرة نسبة الاستهلاك الأقصى للأكسجين ليس لوزن الجسم كاملاً بل إلى جزء منه، كتلته أو ثلاثة أرباعه، وهذا ما يسمى بتشذيب قيمة الاستهلاك الأقصى للأكسجين (VO2 max scaling).

على أن النسبة المثلثية من التشذيب (Scaling factor) غير متفق عليها بالتمام، فهناك من يرى أنها تساوي ٠,٦٧ من وزن الجسم، وهناك من يرى أنها ٠,٧٥ من وزن الجسم، غير أن هناك فريق ثالث يرى أنها متغيرة حسب الفئة العمرية والحالة التدريبية وعوامل أخرى. ومعظم الدراسات التي ترى أن معامل التشذيب الذي ينبغي أن تتم قسمة الاستهلاك الأقصى للأكسجين عليه هو ٠,٦٧ (أي ثلثي وزن الجسم) وتبرر ذلك وتربطه بمعاملات التشذيب لدى الحيوانات، والمبنية على العلاقات الرياضية فيما بين كل من الطول (Length) وكتلة الجسم (Mass) والقوة (Force)، كما هو مبيناً في الفقرة التالية:

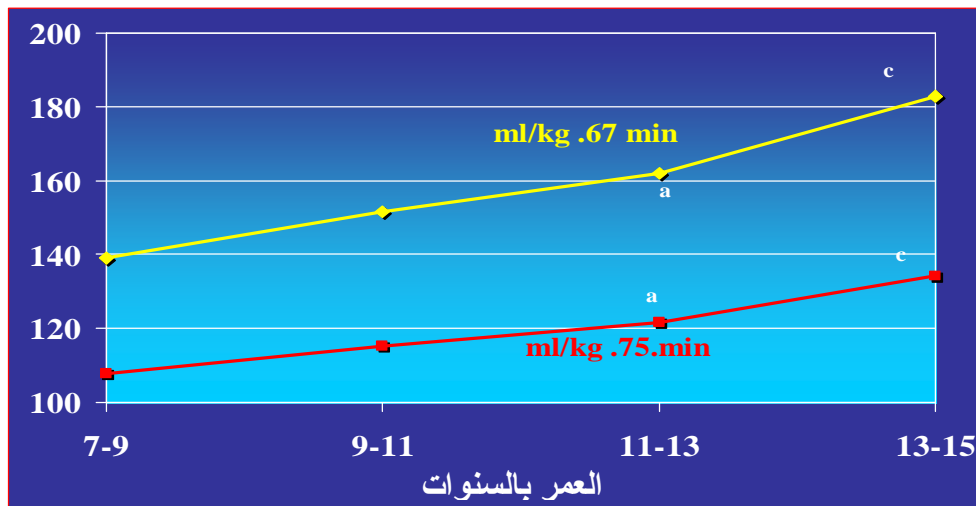
§ بما أن القوة العضلية القصوى من الناحية النظرية تعتمد على المقطع العرضي للعضلة،

فإن القوة العضلية تتناسب إذاً مع مربع الطول (L^2)، حيث يعبر التربيع عن المساحة.

§ ولأن الشغل يساوي القوة في المسافة، إذاً الشغل يساوي القوة في الطول ($F \times L$).
 § يمكن إذاً أن نستبدل الآن القوة بمربع الطول، كما أثبتنا ذلك سابقاً فتصبح المعادلة على النحو التالي: الطاقة = الطول × مربع الطول = مكعب الطول، أو (L^3).
 § ولأن استهلاك الأوكسجين هو تعبير عن الطاقة المصروفة في زمن معين أو عند قدرة محددة، أي تساوي القوة × المسافة (أو الطول) ÷ الزمن.
 § ولأن الزمن يتناسب مع المسافة (أو الطول)، إذاً فإن القدرة على استهلاك الأوكسجين = مكعب الطول ÷ الطول = مربع الطول. أي ($L^2 / L^1 = L^2$).
 § وبما أن الكتلة (M) تتناسب مع الحجم الذي يتناسب بدوره مع مربع الطول (L^2)، إذاً: ينبغي أن يتناسب استهلاك الأوكسجين مع ثلثي الكتلة أو ($M^{2/3}$).

على أن نتائج دراسة أجريتها على الناشئة السعوديين في الأعمار من ١١ إلى ١٥ سنة ممن يمارسون تدريبات رياضية منتظمة أوضحت أن معامل التشذيب الأنسب للاستهلاك الأقصى للأوكسجين الذي تم قياسه أثناء الجري على السير المتحرك كان ٠,٨٠ .

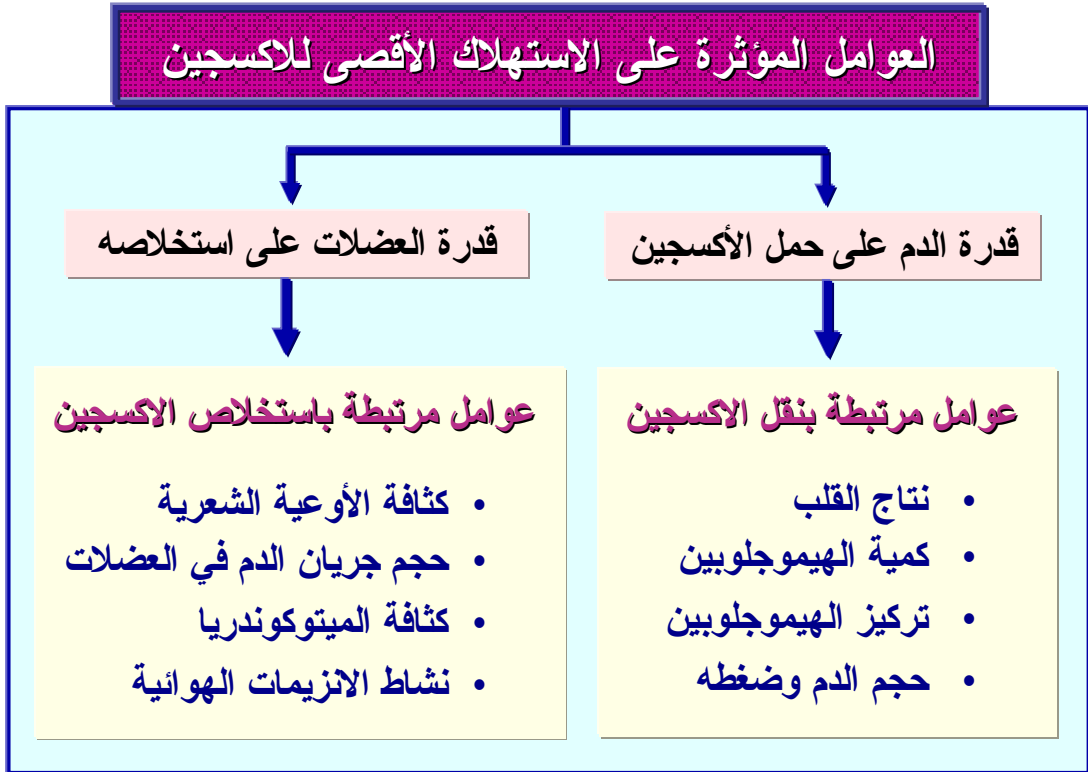
ويوضح الشكل البياني رقم (٤) رسماً لقيم الاستهلاك الأقصى للأوكسجين للأطفال والناشئة السعوديين من ٧ إلى ١٥ سنة وهي مرفوعة إلى ثلثي وزن الجسم وإلى ثلاثة أرباعه، ويتضح من الشكل أن تلك القيم تتطور مع النمو والتقدم في العمر، على عكس قيم الاستهلاك الأقصى للأوكسجين المنسوبة إلى وزن الجسم كاملاً، مما يعزز القول بأن قيمة الاستهلاك الأقصى للأوكسجين مقسومة على الوزن كاملاً لا تعكس التطور الوظيفي الذي يحدث لأجهزة الجسم الفسيولوجية تبعاً للنمو.



شكل رقم (٤): قيم الاستهلاك الأقصى للأوكسجين للأطفال والناشئة السعوديين تبعاً للنمو من ٧ إلى ١٥ سنة وهي مرفوعة إلى ثلثي وزن الجسم (الخط الأصفر) وإلى ثلاثة أرباعه (الخط الأحمر) (المصدر: (Al-Hazzaa, Saudi Med J, 2001)

ما لذي يحدد الاستهلاك الأقصى للأكسجين؟

لم يشغل موضوع من الموضوعات المتعلقة بفسولوجيا الجهد البدني على مر الخمسين سنة الماضية العلماء المشتغلين بهذا الحقل مثلما شغلهم موضوع العوامل المحددة للاستهلاك الأقصى للأكسجين. وعلى الرغم من أن هذا الموضوع ما يزال يثير اهتمام العلماء ويذكي نقاشاتهم، إلا أن حدته قد خفت في وقتنا الحاضر. وعلى مر العقود الماضية هناك فريق من العلماء يرى أن العوامل المركزية (Central) والمتعلقة بتوفير الأكسجين ونقله (O₂ supply) هي العوامل المحددة للاستهلاك الأقصى للأكسجين والأكثر أهمية في التأثير عليه. أما الرأي الآخر فيرى أن العوامل المحلية أو الطرفية (Peripheral) والمرتبطة باستخلاص الأكسجين (O₂ utilization) هي العوامل المحددة للاستهلاك الأقصى للأكسجين. ويوضح الشكل رقم (٥) أهم العوامل المركزية (المرتبطة بالجهاز القلبي الدوري) والطرفية (المرتبطة بالعضلات) المؤثرة على الاستهلاك الأقصى للأكسجين.



شكل رقم (٥): تنقسم العوامل المحددة للاستهلاك الأقصى للأكسجين إلى عوامل مركزية (مرتبطة بنقل وتوفير الأكسجين)، وأخرى محلية (مرتبطة باستخلاصه من قبل العضلات العاملة).

ويسوق أصحاب كل وجهة نظر من الفريقين العديد من الشواهد والدلائل العلمية التي تدعم موقفهم. ولن نتطرق إلى كل هذه الأدلة التي تتناول وجهة نظر كل طرف مقارنة بالآخر، نظراً لكثرتها وتشعبها. لكننا سنذكر مثلاً واحداً لكل وجهة من وجهتي النظر، فالذين يؤيدون العوامل المركزية يقولون بأن زيادة ضغط الأكسجين في الهواء المستنشق تؤدي على زيادة معدل الاستهلاك الأقصى للأكسجين، وبالتالي فإن هذه الزيادة من غير الممكن أن تحدث لو أن العوامل المحلية هي العامل المحدد. وتتمثل العوامل المركزية بكل من نتاج القلب، وحجم الضربة، ومحتوى الدم من الهيموجلوبين، وحجم الدم وضغطه الشرياني. على أن دراسة مرجعية نشرت قبل بضع سنوات أوضحت أن تأثير استنشاق نسبة عالية من الأكسجين على معدل الاستهلاك الأقصى للأكسجين يعتمد على طبيعة المفحوص، فالرياضيون المتدربون يزداد استهلاكهم الأقصى للأكسجين بعد زيادة نسبة الأكسجين في الهواء المستنشق، بينما لا يتأثر مقدار الاستهلاك الأقصى للأكسجين لدى الشخص غير المتدرب، مما يعني أن العوامل المركزية (معدل تزويد العضلات بالأكسجين) هي العامل المهم في تحديد مقدار الاستهلاك الأقصى للأكسجين، بينما لدى الأشخاص المتدربين لكن ليس لدى الأفراد غير المتدربين. ويؤكد على هذه النقطة الشواهد القادمة من حيوانات السباق المتدربة مقارنة بتلك الغير متدربة، ويوضح الجدول رقم (٤) وزن عضلة القلب نسبة إلى وزن الجسم، وحجم نتاج القلب، ومعدل الاستهلاك الأقصى للأكسجين لدى الإنسان مقارنة ببعض الحيوانات الأخرى. ونلاحظ من الجدول أنه كلما ازداد وزن القلب نسبة إلى وزن الجسم ازداد نتاج القلب والاستهلاك الأقصى للأكسجين، مما يؤكد على أهمية حجم الدم وحجم الضربة وحجم نتاج القلب في تحديد الاستهلاك الأقصى للأكسجين، كما يتضح أن التدريب البدني يقود إلى زيادة معدل الاستهلاك الأقصى للأكسجين لدى الإنسان والحيوان على السواء.

أما وجهة النظر الأخرى والمؤيدة لأهمية العوامل الطرفية في تحديد الاستهلاك الأقصى للأكسجين فتستشهد أيضاً بالعديد من نتائج الأبحاث العلمية التي تدعم وجهة نظرهم، ومن بينها أن تدريب ساق واحدة مثلاً يقود إلى تحسن الاستهلاك الأعلى للأكسجين (**Peak oxygen uptake**) وزيادة حجم نتاج القلب الأعلى عندما يتم إجراء الاختبار بتلك الساق المتدربة فقط مقارنة مع إجراء الاختبار على الساق غير المتدربة، ويسوقون هذا الدليل وأدلة أخرى على أن حدوث التكيف المحلي للعضلة أدى إلى تحسن الاستهلاك الأعلى للأكسجين. وتتمثل العوامل المحلية بتلك العوامل المرتبطة باستخلاص الأكسجين في العضلة بما في ذلك كثافة الأوعية الدموية الشعرية وحجم جريان الدم في العضلة، وكثافة الميتوكوندريا وحجمها، ونشاط الإنزيمات الهوائية داخل العضلة.

وعلى الرغم من هذا الجدل العلمي حول أي من العوامل المركزية أو المحلية أكثر أهمية في تحديد الاستهلاك الأقصى للأكسجين، يمكن القول أن الأغلبية من الآراء العلمية تجد أن كل من العوامل المركزية والمحلية ذات تأثير مهم على مقدار الاستهلاك الأقصى للأكسجين، لكن عندما يكون الجهد البدني يتطلب استخدام كتلة عضلية كبرى فالاعتقاد السائد هو أن العوامل المركزية أكثر تأثيراً على الاستهلاك الأقصى للأكسجين، أما عند استخدام كتلة عضلية صغيرة مثل ساق واحدة أو ذراعين فإن العوامل المحلية المرتبطة بالعضلة مباشرة تكون أكثر تأثيراً على الاستهلاك الأعلى للأكسجين.

جدول رقم (٤): بعض المواصفات التشريحية والوظيفية للجهاز القلبي التنفسي لدى الإنسان مقارنة ببعض الحيوانات.

النوع	وزن القلب (نسبة إلى وزن الجسم)	نتاج القلب (لتر في الدقيقة/ حجم من وزن الجسم)	الاستهلاك الأقصى للأكسجين (مل/ حجم في الدقيقة)
الإنسان غير متدرب	٠,٣	٠,٢٥	٤٠
متدرب	٠,٤	٠,٤٠	٧٥
جرذ التجارب	٠,٦	٠,٥٠	٧٥
كلب الصيد غير متدرب	٠,٨	٠,٨٠	١٢٠
متدرب	٠,٩	٠,٩٠	١٤٥
الحصان غير متدرب	٠,٨	٠,٧٠	١٢٠
متدرب	٠,٩	٠,٩٠	١٥٠

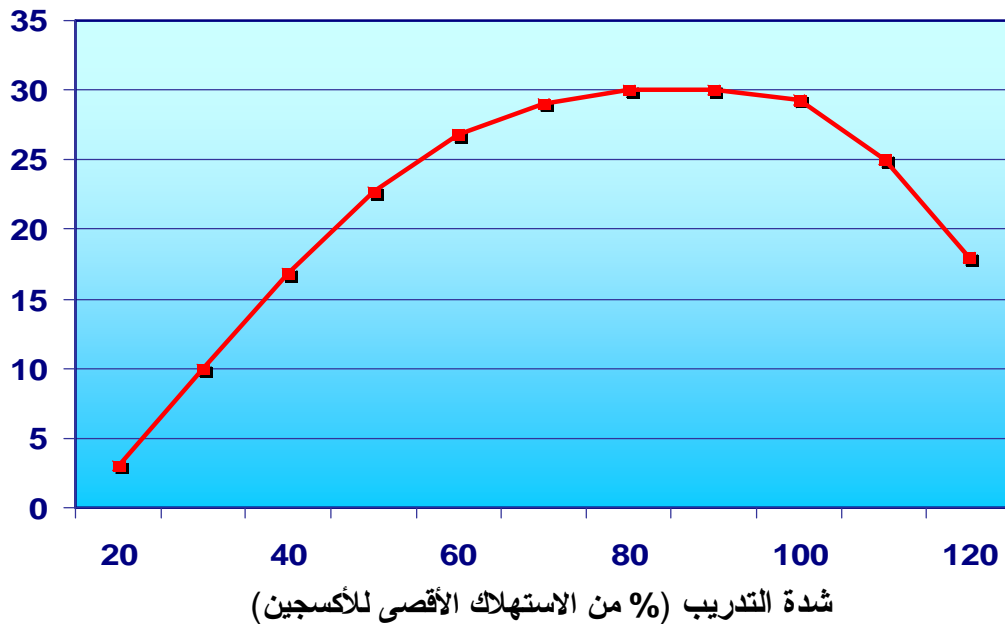
المصدر: من مصادر متعددة نقلًا من: Saltin B, In: Biological Effects of Physical Activity, 1989, p. 10

التدريب البدني والاستهلاك الأقصى للأكسجين

على الرغم من أن الوراثة تسهم بدور ملحوظ في مدى امتلاك الفرد لحجم عالٍ من الاستهلاك الأقصى للأكسجين، إلا أن التدريب البدني الهوائي (التحملي) يؤدي إلى ارتفاع حجم الاستهلاك الأقصى للأكسجين لدى الفرد مقارنة بما قبل التدريب. ويُقصد بالتدريب الهوائي ذلك التدريب البدني ذا الوتيرة المستمرة والذي غالباً ما يتطلب انقباضاً عضلياً مستمراً لفترة من الوقت، كما في الهرولة والجري المستمر أو السباحة أو الدراجات أو التزلج

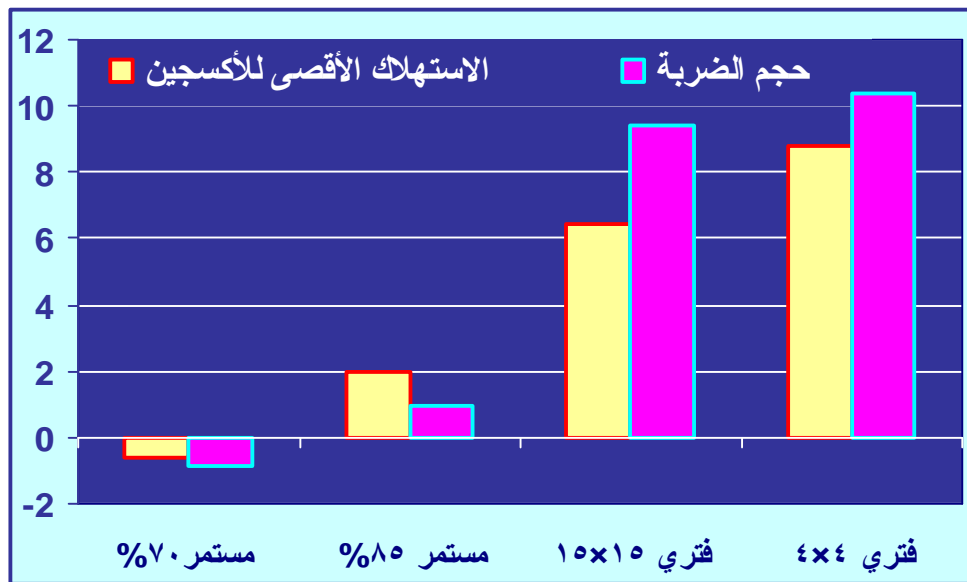
أو التجديف أو ما شابه ذلك. وعلى عكس التدريب الهوائي، لا يؤدي التدريب اللاهوائي كما في تدريبات السرعة أو القدرة العضلية إلى أي تحسن ملحوظ في الاستهلاك الأقصى للأكسجين. ويتفاوت الأفراد في الاستجابة للتدريب البدني، فالبعض يستجيب بشكل ملحوظ والبعض الآخر تكون استجابته منخفضة. والملاحظ أن التحسن في الاستهلاك الأقصى للأكسجين من جراء التدريب البدني التحملي أو الهوائي يعتمد على عدة عوامل منها شدة التدريب البدني، ومدته وتكراره في الأسبوع، والحالة اللياقية للفرد قبل التدريب، وعمر المتدرب أيضاً.

ويوضح الشكل البياني رقم (٦) رسماً لمقدار التحسن الناجم عن التدريب البدني تبعاً لشدة، منسوبة لمقدار الاستهلاك الأقصى للأكسجين، ويتبين من الشكل أن التحسن الأمثل يكون عند شدة تبلغ حوالي ٨٠-٨٥% من الاستهلاك الأقصى للأكسجين، وإن زيادة الشدة لما فوق ١٠٠% من الاستهلاك الأقصى للأكسجين تؤدي إلى انخفاض معدل الاستهلاك الأقصى للأكسجين وليس إلى تحسنه، حيث يصبح التدريب البدني حينئذ لا هوائياً. وتشير معظم الدراسات العلمية إلى أن الزيادة في الاستهلاك الأقصى للأكسجين من جراء التدريب البدني تصل في المعدل من ١٠-٢٠% نتيجة لبرنامج تدريبي تتراوح مدته من ٣-٦ أشهر، على الرغم من أن بعض الدراسات قد سجلت زيادة كبيرة في الاستهلاك الأقصى للأكسجين من جراء التدريب البدني لدى غير المتدربين وصلت إلى حوالي ٤٠% مقارنة بما قبل التدريب.



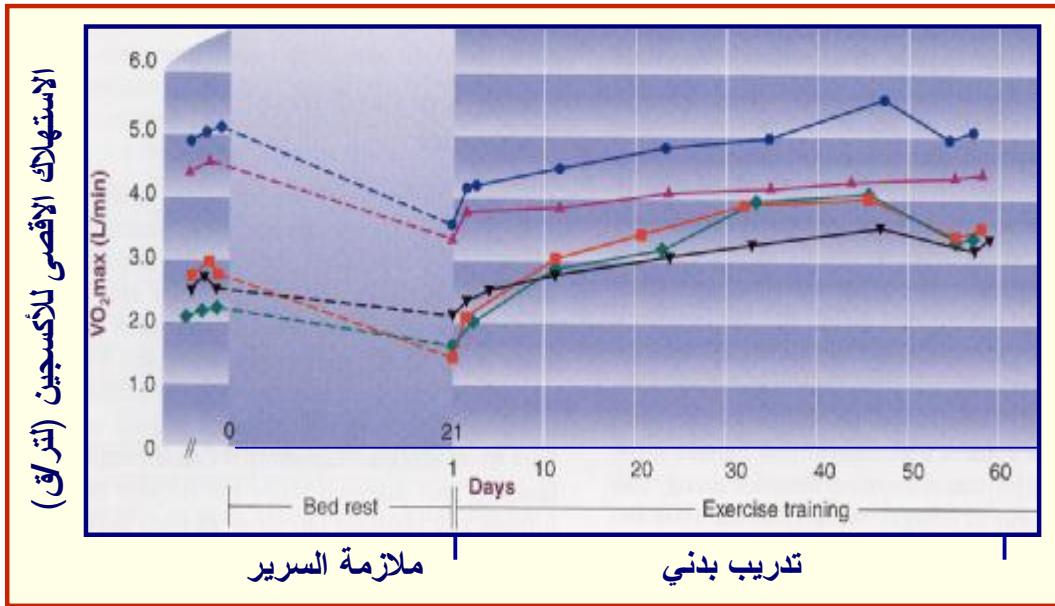
شكل رقم (٦): نسبة التحسن في الاستهلاك الأقصى للأكسجين (%) تبعاً لشدة التدريب البدني كنسبة من الاستهلاك الأقصى للأكسجين (المصدر: Wilmore & Costill, 1994, p. 303).

وعلى الرغم من أهمية التدريب الهوائي المستمر إلا أن بعض البحوث تشير إلى أن التدريب الفتري (الذي يتم فيه التناوب بين الجهد البدني المرتفع الشدة والراحة البيئية) يؤدي أيضاً إلى تحسن في الاستهلاك الأقصى للأكسجين، ففي تجربة أجريت حديثاً تم فيها إخضاع مجموعة من الأفراد الجامعيين بشكل عشوائي إلى أربع أنماط من التدريب البدني لمدة ٨ أسابيع، حيث مارست المجموعة الأولى التدريب البدني الهوائي المستمر لمدة ٤٥ دقيقة في كل مرة عند شدة تعادل ٧٠% من ضربات القلب القصوى (مستمر ٧٠%)، والمجموعة الثانية مارست تدريباً بدنياً هوائياً مستمراً لكن عند شدة تعادل مستوى عتبة حمض اللبنيك (٨٥% من ضربات القلب القصوى) لمدة ٢٤,٣ دقيقة (مستمر ٨٥%)، والمجموعة الثالثة مارست تدريباً فترياً عند شدة ٩٠-٩٥% من ضربات القلب القصوى لمدة ١٥ ثانية مع راحة نشطة لمدة ١٥ ثانية (فتري ١٥ × ١٥)، أما المجموعة الرابعة فمارست تدريباً فترياً عند شدة تعادل ٩٠-٩٥% من ضربات القلب القصوى لمدة ٤ دقائق تكررت ٤ مرات، وكان بينها راحة نشطة مدتها ٣ دقائق عند شدة توازي ٧٠% من ضربات القلب القصوى (فتري ٤ × ٤). ولقد بينت نتائج هذا البحث الموضحة في الشكل رقم (٧) أن التدريب الفتري فقط نتج عنه تحسن ملحوظ في كل من الاستهلاك الأقصى للأكسجين وفي حجم الضربة (Stroke volume).



شكل رقم (٧): نسبة (%) التغير في الاستهلاك الأقصى للأكسجين وحجم الضربة نتيجة لأربعة أنماط من التدريب البدني لمدة ٨ أسابيع (Helgerud, et al, MSSE, 2007).

وكما أن التدريب البدني الهوائي يؤدي إلى زيادة الاستهلاك الأقصى للأكسجين فإن الركون للراحة يؤدي إلى انخفاض قدرة الفرد الهوائية (أو استهلاكه الأقصى للأكسجين)، ولعل نتائج الدراسة الشهيرة، التي أجريت في مدينة دالاس الأمريكية في نهاية الستينات الميلادية من القرن العشرين من قبل العالم الفسيولوجي سالتن ومجموعة من مشركيه، توضح لنا مقدار التأثير السلبي للاستلقاء على السرير لمدة معلومة من الوقت على الاستهلاك الأقصى للأكسجين، وكذلك ما للتدريب البدني من أثر ايجابي في استعادة مستوى ذلك الاستهلاك، حيث تم إخضاع مجموعة من الأفراد إلى الراحة التامة على السرير لمدة ٢١ يوماً ثم قاموا بعد ذلك بإجراء تدريب بدني هوائي لمدة شهرين، وتم قياس الاستهلاك الأقصى للأكسجين لهم قبل فترة الركون للراحة، وبعدها، ثم أثناء التدريب البدني، ولقد أظهرت نتائج التجربة أن مقدار التحسن في الاستهلاك الأقصى للأكسجين من جراء التدريب البدني قد تجاوز ٣٠% مقارنة بما قبل التدريب، علماً بأنه قد انخفض كثيراً بسبب فترة الاستلقاء على السرير، ويوضح الشكل البياني رقم (٨) نتائج تلك التجربة الفريدة في حينها التي دامت لأكثر من ٨٠ يوماً، وتم فيها إخضاع مجموعة من الأشخاص للاستلقاء على السرير ثم معرفة تأثير ذلك على الوظائف الفسيولوجية في الجسم ومدى تأثير التدريب البدني في استعادة مستوى تلك الوظائف إلى مستوى ما قبل الاستلقاء على السرير .



شكل رقم (٨): تأثير الاستلقاء على السرير لمدة ٢١ يوماً على الاستهلاك الأقصى للأكسجين وتأثير التدريب البدني على مقدار استعادة مستواه قبل الاستلقاء على السرير (المصدر: Saltin, et al, Circulation, 1968).

العوامل المؤثرة على قيمة القدرة الهوائية القصوى

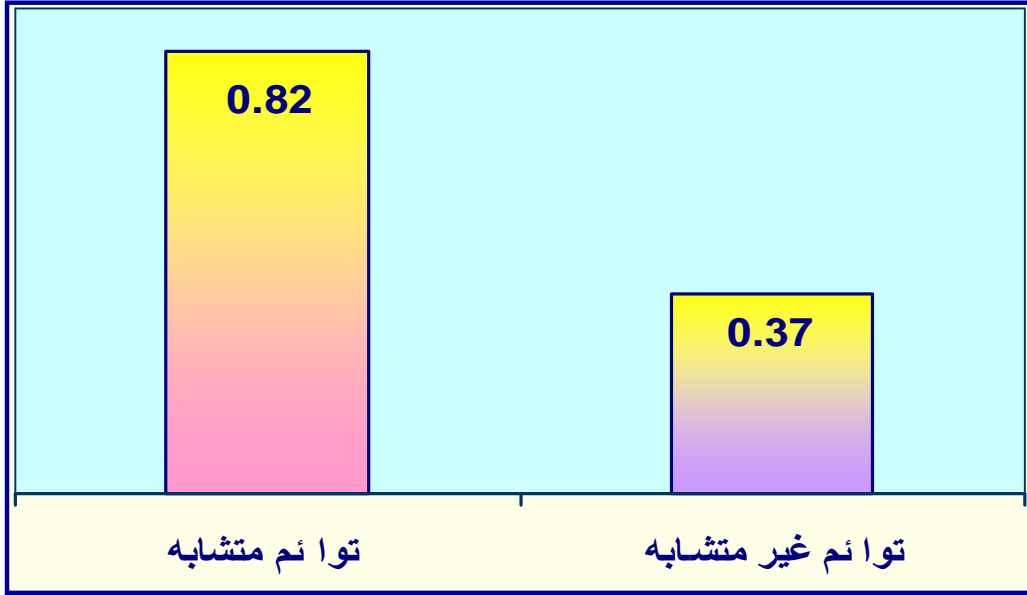
عندما نقوم بإجراء اختباراً للقدرة الهوائية القصوى لأحد الأفراد، فإن مقدار استهلاكه الأقصى للأكسجين سيتحدد بفعل جملة من العوامل، والتي من أهمها ما يلي:

١ - نوعية الاختبار المستخدم:

من المتعارف عليه أن الاختبار الذي يتم فيه استخدام كتلة عضلية كبيرة أثناء الجهد البدني يعطي مقدراً من الاستهلاك الأقصى للأكسجين أعلى مقارنة بالاختبار الذي تستخدم فيه كتلة عضلية صغيرة من الجسم، فاستخدام السير المتحرك على سبيل المثال يؤدي إلى الوصول في الغالب إلى مستوى من الاستهلاك الأقصى للأكسجين أعلى مما في حالة استخدام الدراجة الثابتة، كما أن استخدام أداة قياس للجهد البدني تحاكي إلى حد كبير ما يستعمله الرياضي أثناء التدريب أو المسابقة يعطي مقدراً أعلى من الاستهلاك الأقصى للأكسجين مقارنة بأداة أخرى غير متعود عليها الرياضي.

٢ - الوراثة:

ما زال السؤال حول تأثير الوراثة على الأداء البدني يثير فضول الكثير من العلماء والمهتمين بفسولوجيا الجهد البدني. ومن المعلوم أن لكل من الوراثة والتدريب البدني دوراً في تحديد الاستهلاك الأقصى للأكسجين لدى الفرد، حيث تشير الدراسات التي أجريت على التوائم المتطابقين أن الوراثة تلعب دوراً مهماً في تحديد نسبة الاستهلاك الأقصى للأكسجين التي يستطيع الفرد تحقيقها، والاعتقاد السائد حالياً أن تأثير الوراثة على الاستهلاك الأقصى للأكسجين يصل إلى حوالي ٤٠-٥٠%. وفي الدراسة المشهورة والمعروفة اختصاراً بدراسة هيريتاج (HERITAGE) استطاعت العوامل الوراثية أن تفسر ٤٠% من التباين في الاستهلاك الأقصى للأكسجين، ولقد كان التباين موجوداً في كل الفئات العمرية وبغض النظر عن مستوى الاستهلاك الأقصى للأكسجين قبل التدريب، أو نوع الجنس، مما جعل الباحثين يستنتجون أن هناك مجموعة من الجينات تتحكم في مستوى الاستهلاك الأقصى للأكسجين قبل التدريب البدني ومجموعة أخرى من الجينات تتحكم في مقدار استجابة الشخص للتدريب البدني. ومن المعلوم أن الدراسات التي أجريت على التوائم المتشابهة مقارنة بالتوائم غير المتشابهة قد أظهرت أن التباين في مقادير الاستهلاك الأقصى للأكسجين لدى التوائم المتشابهة محدود مقارنة بالتوائم غير المتشابهة، كما هو موضحاً في الشكل البياني رقم (٩)، حيث العلاقة الارتباطية عالية بين التوائم المتشابهة، لكنها منخفضة فيما بين التوائم غير المتشابهة، مما يدل على مدى تأثير الوراثة على الاستهلاك الأقصى للأكسجين.



شكل رقم (١٧-٩): العلاقة الارتباطية بين الاستهلاك الأقصى للأكسجين لدى التوائم المتشابهة مقارنة بالتوائم غير المتشابهة (المصدر: Rankinen, et al, 2001).

٣ - الحالة التدريبية:

غني عن القول أن التدريب البدني يؤدي إلى تحسين مستوى الاستهلاك الأقصى للأكسجين على الرغم من تفاوت نسبة التحسن بين فرد وآخر، على أنه يجب الإشارة إلى أنه كلما كان الفرد في حالة لياقية عالية قبل الانخراط في التدريب كان التحسن في مقدار الاستهلاك الأقصى للأكسجين من جراء التدريب البدني أكثر ضآلة، والعكس صحيح. وفي دراسة هيريتاج تبين أن التغيير في مقادير الاستهلاك الأقصى للأكسجين بعد التدريب البدني بلغ في المتوسط ١٩%، لكن حوالي ٥% من الأفراد لم يتجاوز التحسن في الاستهلاك الأقصى للأكسجين لديهم نسبة ٥% أو حتى بدون تغيير، بينما وصلت نسبة التحسن في الاستهلاك الأقصى للأكسجين لدى ٥% من المشاركين في الدراسة إلى ٤٠-٤٥% مقارنة بما قبل التدريب، ولم يكن هناك علاقة بين مقدار التحسن في الاستهلاك الأقصى للأكسجين ومستوى الاستهلاك الأقصى للأكسجين قبل برنامج التدريب البدني.

٤ - نوع الجنس:

تشير المعدلات الاعتيادية للأفراد بأن الرجال يمتلكون في المتوسط استهلاكاً للأكسجين يفوق ما تمتلكه النساء، حيث يتراوح هذا الفرق من ١٥-٢٠% عند احتسابه بالمليمتر لكل كجم من وزن الجسم في الدقيقة. ويعتقد أن سبب ذلك يعود إلى أن النساء يمتلكن نسبة أعلى

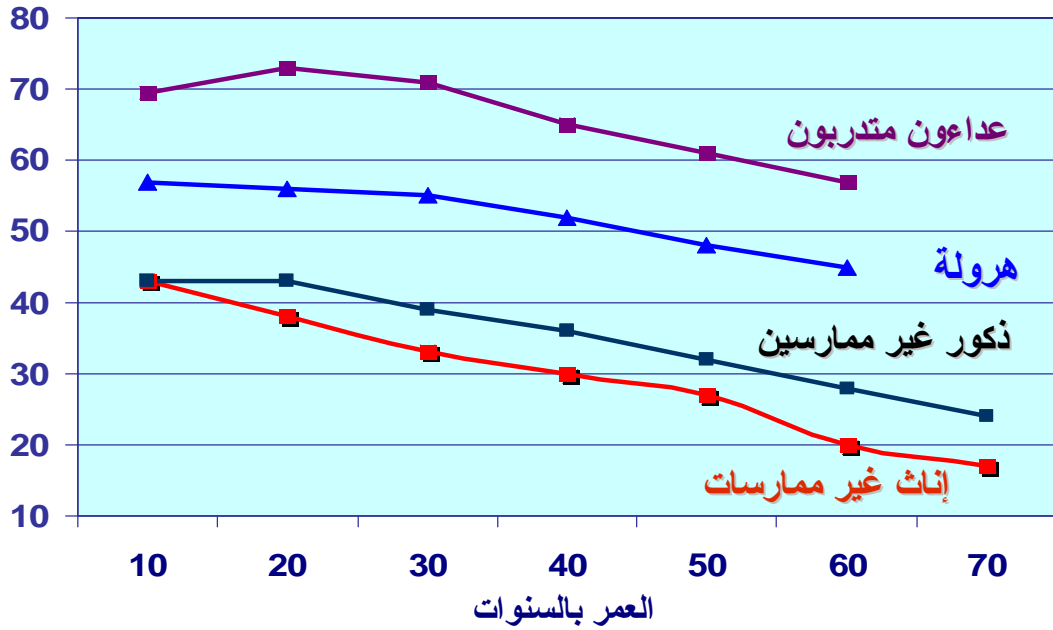
من الشحوم مقارنة بالرجال، كما يعتقد أن مرد ذلك أيضاً إلى انخفاض مستوى الهيموجلوبين لدى النساء مقارنة بالرجال حيث يقل لديهن بنسبة من ١٠-١٤% عما هو لدى الرجال، مما يجعل السعة الأكسجينية للدم (أو قدرة الدم على حمل الأكسجين) لدى الرجال أكبر مما هي لدى النساء.

٥ - التكوين الجسمي للفرد:

عند حساب الاستهلاك الأقصى للأكسجين بالحجم المطلق (لتر في الدقيقة)، فإن الأفراد الذين يمتلكون أجساماً ضخمة وعضلات كبيرة سيحققون في الغالب مستوى عالياً من الاستهلاك الأقصى للأكسجين. أما في الرياضات التي تتطلب أن يحمل الفرد جسمه كما في الجري فإن العبرة ليست بالاستهلاك المطلق وحده ولكن ينبغي حساب الاستهلاك الأقصى للأكسجين نسبة إلى كل كجم من وزن الجسم، لأن ذلك يعتبر مؤشراً أفضل لمعرفة القدرة الهوائية القصوى للفرد، وبالتالي قدرته على الأداء البدني التحملي في رياضة تتطلب الجري، والمعروف أن الشحوم على عكس العضلات تُعد عبئاً على الشخص أثناء القيام بالأنشطة البدنية، لذا نجد أن مقدار الاستهلاك الأقصى للأكسجين يُعد أدنى بينما زمن الجري هو أعلى لدى البدناء مقارنة بغير البدناء عند القيام بممارسة الأنشطة البدنية التي تتطلب حمل الجسم.

٦ - العمر:

تصل أعلى قيمة للاستهلاك الأقصى للأكسجين لدى الفرد بين ١٨-٢٥ سنة، على أن هذه القيمة تبدأ بالتناقص التدريجي مع التقدم في العمر، حيث نجد أن الاستهلاك الأقصى للأكسجين للفرد عند عمر ٦٠ سنة يقل عن مستواه عند سن العشرين بنسبة تصل إلى حوالي ٣٠%. والجدير بالملاحظة أن التدريب البدني المنتظم يقلل من هذا التناقص التدريجي الذي يحدث مع التقدم في العمر. ويعتقد أن مرد الانخفاض في الاستهلاك الأقصى للأكسجين مع التقدم في العمر يعود جزئياً إلى الانخفاض في ضربات القلب القصوى والانخفاض في حاصل القلب الأقصى مع التقدم في العمر، بالإضافة إلى انخفاض مستوى النشاط البدني للفرد. ويوضح الشكل البياني رقم (١٠) رسماً للعلاقة بين العمر والاستهلاك الأقصى للأكسجين لدى أربعة مجموعات من الناس، هم ذكور وإناث غير ممارسين للنشاط البدني، وأشخاص ممن يمارسون الهرولة، وعداؤون متدربون، ويتبين من الشكل انخفاض مقادير الاستهلاك الأقصى لدى جميع الفئات الأربع، لكن من الملاحظ أن الرياضيين في عمر ٦٠ سنة يمتلكون مقداراً أعلى من الاستهلاك الأقصى للأكسجين لغير الرياضيين ممن هم في العشرين من العمر.

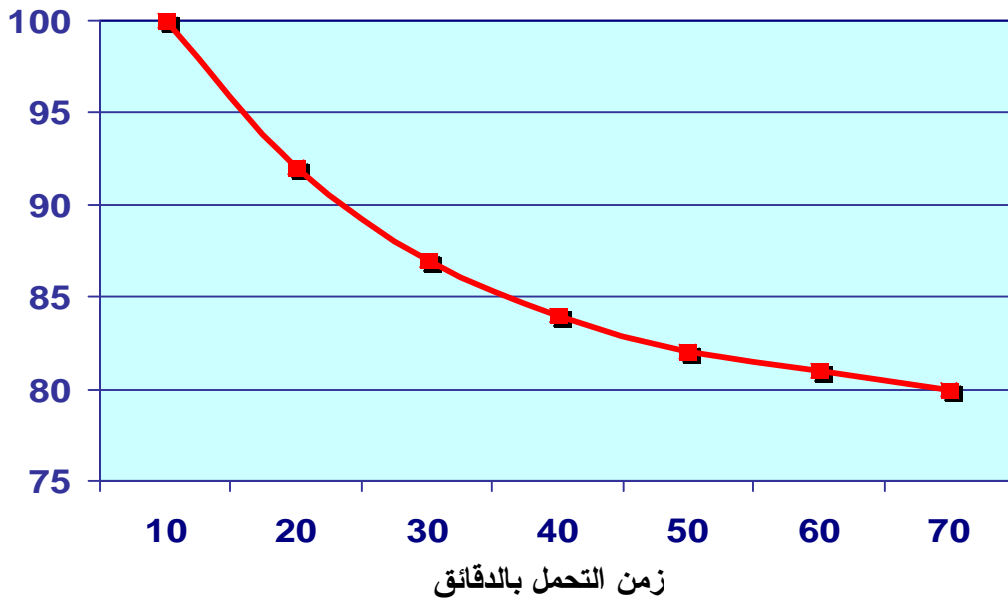


شكل رقم (١٠): معدلات الاستهلاك الأقصى للأكسجين (ملي لتر/كجم. دقيقة) تبعاً للعمر لدى الأفراد المتدربين وغير الممارسين للنشاط البدني (المصدر: Costill D. *Inside Running*. 1986: 173).

ملاحظة:

على الرغم من معرفتنا بأن الرياضيين المتميزين في رياضات التحمل يمتلكون بلا شك استهلاكاً أقصى للأكسجين يزيد على ما لدى غير المتدربين أو ما لدى الرياضيين في الرياضات غير التحملية، على الرغم من ذلك فإنه يجب أن نشير إلى أن قياس الاستهلاك الأقصى للأكسجين لدى مجموعة من الرياضيين المتميزين في رياضات التحمل لن يعطينا القدرة التامة على التنبؤ بمن سيتفوق في سباق تحملي وليكن مثلاً سباق ماراتون أو ١٠,٠٠٠ متر. ولتوضيح ذلك بمثال، نفترض أن لدينا ثلاثة متسابقين ماراتون أ، ب، ج يمتلكون استهلاكاً أقصى للأكسجين يساوي ٧٢، ٧٤، ٧٧ مل/كجم في الدقيقة على التوالي. فعلى الرغم من أن تلك الأرقام تعد عالية نسبياً إلا أننا لا نستطيع التنبؤ بالتأكيد بمن سيفوز في السباق، حيث أن هناك عاملاً آخر يدخل في الحسبان وهو قدرة الرياضي على استخدام قدر كبير من استهلاكه الأقصى للأكسجين بدون اللجوء بشكل متصاعد للطاقة اللاهوائية، وبالتالي تزايد إنتاج حمض اللبنيك باطراد. أي بمعنى آخر مستوى العتبة اللاهوائية لديه، فالرياضي الذي يمتلك عتبة لا هوائية عالية واستهلاكه الأقصى للأكسجين مرتفع سيتمكن من أداء السباق بمستوى عال بدون الدخول في العمليات الأيضية اللاهوائية.

ومن المعلوم أن إمكانية الفرد على أداء جهداً بدنياً ترتبط بمقدار قربه من استهلاكه الأقصى للأكسجين، فعند ١٠٠% من الاستهلاك الأقصى للأكسجين، لا يمكن للفرد من الاستمرار على أداء ذلك الجهد المرتفع الشدة لأكثر من عدة دقائق، لكن إذا كانت شدة الجهد البدني تتطلب ٨٠% من استهلاكه الأقصى للأكسجين فالمتوقع منه أن يستمر في الجهد البدني لمدة تتجاوز الساعة، وكلما انخفضت شدة الجهد البدني التي يمارس عندها الفرد كلما تمكن من الاستمرار في الممارسة لوقت أطول. وغني عن القول أن بعض عدائي الماراثون المتميزين يمكنهم الجري في سباق الماراثون عند شدة تعادل ٨٧% - ٩٠% من استهلاكهم الأقصى للأكسجين وهذا مستوى عال جداً. ويوضح الشكل البياني رقم (١١) مدى إمكانية الفرد على أداء جهد بدني تحملي تبعاً للشدة التي يقوم عندها بأداء الجهد، موضحة كنسبة مئوية من استهلاكه الأقصى للأكسجين.



شكل رقم (١١): إمكانية الفرد بالدقائق على تحمل أداء الجهد البدني نسبة إلى الاستهلاك الأقصى للأكسجين (المصدر: Leger, in: Measurement in Ped Exer Sci, 1996, p. 204).