

المرتفعات والأداء البدني: اعتبارات فسيولوجية

تتوافر لدينا حالياً حصيلة كبيرة من المعرفة عن تأثير المرتفعات على الأداء البدني، ومدى قدرة الإنسان على التأقلم وتأثير ذلك على الأداء البدني عند مستوى سطح البحر. معظم هذه المعرفة في الواقع نتاج تجارب علمية شاقة في قمم المرتفعات عند ٣ آلاف متر فوق سطح البحر أو في غرف الضغط المحاكية للمرتفعات.

ومن الملاحظات الجديرة بالإشارة أولاً أن الأداء البدني في الرياضات التي تتطلب قدرة هوائية (أي التي تتطلب عنصر التحمل، كالمسافات الطويلة والمتوسطة في رياضات الجري والسباحة والدراجات والتزلج) تتأثر سلباً بالمرتفعات كما حدث في الدورة الأولمبية عام ١٩٦٨م في مكسيكو سيتي (على ارتفاع ٢٣٠٠ متر فوق مستوى سطح البحر)، حيث لم يتم تحطيم أي رقم قياسي في أي من السباقات التي تدوم أكثر من دقيقتين ونصف الدقيقة في تلك الدورة. أما في الرياضات التي تستغرق وقتاً قصيراً (أقل من دقيقة) فالمعتقد أن تأثير المرتفعات على الأداء البدني يعد ضئيلاً، بل أن كثافة الهواء المنخفضة تعمل على التقليل من مقاومة الهواء للرياضي، خاصة في مسابقات الوثب والعدو.

تأثير المرتفعات على القدرة الهوائية القصوى (Maximum Aerobic Power)

من المعروف أن القدرة الهوائية القصوى ($VO_2 \max$) تتأثر سلباً بالمرتفعات حيث تشير الدراسات العلمية إلى أن هناك فقداناً في القدرة الهوائية القصوى يصل إلى ٣,٥% لكل صعود ٣٠٥ متر أعلى من ارتفاع ١٥٠٠م فوق مستوى سطح البحر (أي أن مقدار الانخفاض في القدرة الهوائية القصوى يبلغ حوالي ١٢-١٥% عند الصعود إلى مستوى ٢٥٠٠ متر فوق مستوى سطح البحر). على أن البعض يعتقد أن الانخفاض في القدرة الهوائية القصوى قد يكون على صورة أشد من ذلك.

ويحدث الانخفاض في الاستهلاك الأقصى للأوكسجين (والذي يعبر عن القدرة الهوائية القصوى) بسبب الانخفاض في الضغط الجوي للهواء، وما يعقبه من انخفاض في الضغط الجزئي للأوكسجين، كلما ارتفعنا عن سطح البحر. إن انخفاض الضغط الجزئي للأوكسجين يؤدي إلى خفض ضغط الأوكسجين في الحويصلات الرئوية، وبالتالي انخفاض نسبة تشبع الدم الشرياني بالأوكسجين (الدم المغادر للرئتين)، وبطبيعة الحال هذا يترجم إلى انخفاض في الأداء البدني في الرياضات التي تتطلب عنصر التحمل (مثل جري مسافة ١٥٠٠م فأكثر).

ولتوضيح ذلك تجدر الإشارة إلى أن كثافة الهواء تنخفض مع الارتفاع عن مستوى سطح البحر، فالضغط الجوي للهواء عند مستوى سطح البحر يبلغ ٧٦٠ ملي متر زئبقي، لكن هذا

الضغط الجوي ينخفض مع الارتفاع عن سطح البحر، ليصل إلى ٥١٠ ملي متر زئبقي عند ارتفاع ٣٠٤٨ متر فوق مستوى سطح البحر. أما عند ارتفاع ٥٨٤٦ متر فوق مستوى سطح البحر، فيصل الضغط الجوي للهواء إلى نصف ما هو عليه عند مستوى سطح البحر، ويوضح الجدول رقم (١) مقادير الضغط الجوي وضغط غاز الأوكسجين تبعاً للارتفاع عن مستوى سطح البحر.

جدول رقم (١): مقادير الضغط الجوي وضغط الأوكسجين تبعاً للارتفاع عن سطح البحر

الارتفاع (متر)	الضغط الجوي (ملم زئبقي)	ضغط الأوكسجين (ملم زئبقي)
مستوى سطح البحر	٧٦٠	١٥٩,٢
١٠٠٠	٦٧٤	١٤١,٢
٢٠٠٠	٥٩٦	١٢٤,٩
٣٠٠٠	٥٢٦	١١٠,٢
٤٠٠٠	٤٦٢	٩٦,٩

وعلى الرغم من أن نسبة تركيز الأوكسجين في المرتفعات تبقى كما هي عند سطح البحر (٢٠,٩٣%)، إلا أن الضغط الجزئي للأوكسجين ينخفض مع الارتفاع عن سطح البحر نتيجة لانخفاض الضغط الكلي للهواء، حيث أن الضغط الجزئي للأوكسجين يساوي نسبة تركيز الأوكسجين والتي هي ٢٠,٩٣% مضروباً بمقدار الضغط الكلي للهواء، وحيث أن الضغط الكلي للهواء ينخفض مع الارتفاع فنجد أن الضغط الجزئي للأوكسجين ينخفض تبعاً لذلك، فالضغط الجزئي للأوكسجين عند مستوى سطح البحر يصل إلى ١٥٩ مم/زئبقي (٠,٢٠٩٣ × ٧٦٠ مم/زئبقي)، إلا أن هذا الضغط الجزئي للأوكسجين ينخفض عند ارتفاع ٣٠٤٨٩ متر فوق سطح البحر ليبلغ ١٠٧ مم/زئبقي.

ويعتقد أن قدرة الإنسان لا تسمح له بالعيش بشكل دائم عند ارتفاعات أعلى من ٥٢٠٠ متر فوق مستوى سطح البحر بدون استخدام اسطوانات الأوكسجين، حيث يصبح الضغط الجزئي

للأوكسجين في الدم الشرياني عند هذا الارتفاع أقل من ٤٠مم/ زئبقي، وعلى الرغم من ذلك تفيد بعض التقارير أن هناك بعض الأفراد الذين تمكنوا من العيش على ارتفاع يزيد عن ٦٠٠٠ متر، إلا أن هذه الأمثلة هي الاستثناء وليست القاعدة.

التأقلم للمرتفعات:

منح الله تعالى الجسم البشري قدرة عالية على التأقلم لمختلف الظواهر ومنها المرتفعات، حيث يعيش ويعمل أكثر من ٤٠ مليون إنسان من الكرة الأرضية على ارتفاع أكثر من ٣٠٠٠ متر فوق سطح البحر. وعلى الرغم من الاختلافات الواضحة في قدرة الأفراد على التأقلم على المرتفعات، إلا أنه بمجرد انتقال الإنسان إلى ارتفاع يتجاوز ٢٠٠٠ متر فوق سطح البحر تبدأ سلسلة من الاستجابات الفسيولوجية في الحدوث، دلالة على محاولة الجسم التكيف مع الوسط الجديد، بعض هذه الاستجابات فورية وتحدث بمجرد وصول الفرد إلى المرتفعات، والأخرى تأخذ وقتاً أطول حتى تظهر، قد تصل إلى أسابيع أو شهور.

فمن مظاهر الاستجابة السريعة للعيش في المرتفعات حدوث زيادة في التنفس (فرط التهوية الرئوية) لدى الفرد، ويعزى ذلك إلى أن الانخفاض في الضغط الجزئي للأوكسجين في الدم الشرياني عند مستوى ٢٠٠٠ متر فوق سطح البحر يؤدي إلى تنبيه المستقبلات الكيميائية في الجسم (في الجسم السباتي وفي الجسم الأبهري) والتي بدورها تؤثر على مراكز التحكم في التنفس في الدماغ، مما ينتج عنه بالتالي زيادة التهوية الرئوية، من أجل تعويض الانخفاض في الضغط الجزئي للأوكسجين في الدم الشرياني.

ومن مظاهر الاستجابة السريعة كذلك ما يحدث للجهاز القلبي الوعائي حيث تزداد معدلات ضربات القلب وحجم نتاج القلب في الراحة وفي الجهد البدني دون الأقصى، بينما يبقى حجم الضربة (حجم الدم المدفوع من القلب في كل ضربة من ضربات القلب) بدون تأثير ملحوظ. ومن الآثار الواضحة أيضاً لتأثير المرتفعات على الجسم حدوث فقدان لسوائل الجسم بشكل أكبر مما يحدث عند مستوى سطح البحر، حيث يفقد الجسم كمية من الماء نتيجة للتهوية الرئوية العالية نسبياً، بالإضافة إلى ذلك فإن الهواء في المرتفعات يكون جافاً وبارداً.

أما أهم آثار التكيف الفسيولوجي البطيء الذي يحدث نتيجة للعيش في المرتفعات (من أسبوع إلى أكثر)، فيتمثل في التغيرات التي تحدث في حجم بلازما الدم والكريات الدموية الحمراء، فالملاحظ أن حجم بلازما الدم ينخفض في المرتفعات مما يجعل تركيز كريات الدم الحمراء عالياً مقارنة بمستوى سطح البحر. بالإضافة إلى ذلك فإن عدد كريات الدم الحمراء يرتفع نتيجة للعيش في المرتفعات، حيث يزداد معدل إنتاجها من نخاع العظام، وليس من

المستغرب أن تزداد كريات الدم الحمراء بنسبة أكثر من ٣٠% عند الصعود إلى ارتفاع ٤٠٠٠ متر فوق مستوى سطح البحر. ومن الملاحظ أيضاً أن نسبة الهيموجلوبين (Hb) والهيماتوكريت (Hct) ترتفعان من جراء البقاء في المرتفعات مقارنة بمستوى سطح البحر. ومما لا شك فيه أن زيادة كرات الدم الحمراء سوف يؤدي إلى زيادة السعة الأوكسجينية للدم (قدرة الدم على حمل الأوكسجين)، إلا أن الزيادة غير العادية في كرات الدم الحمراء تؤدي إلى زيادة لزوجة الدم، مما يعيق بالتالي عملية انتشار ونقل الدم في الجسم (وما لذلك من تأثير على الأوكسجين).

ومن مظاهر التكيف البطيء أيضاً نتيجة للمرتفعات زيادة في ميوجلوبين العضلات وكذلك زيادة في عدد الميتوكوندريا (بيت الطاقة) وارتفاع في تركيز عدد من الأنزيمات المسؤولة عن عمليات إنتاج الطاقة الهوائية في الجسم.

أما عن المدة اللازمة للتأقلم التام في المرتفعات فالملاحظ أنها تعتمد على مقدار الارتفاع، إلا أنه بشكل عام يمكن القول أنه يلزم أسبوعين للتأقلم لارتفاعات عند أو أقل من ٢٣٠٠ متر فوق سطح البحر. ويعتقد كذلك أن التأقلم للمرتفعات يزول في غضون ٢-٣ أسابيع بعد العودة إلى مستوى سطح البحر. غير أن القدرة الهوائية القصوى تتأثر سلباً في المرتفعات، بل تظل متأثرة حتى بعد فترة من التأقلم في المرتفعات، ويوضح الجدول رقم (٢) استجابة بعض المتغيرات الفسيولوجية القصوى ودون القصوى قبل وأثناء ثم بعد العودة من المكوث مدة ٢٥ يوماً على ارتفاع ٢١٠٠ متر فوق مستوى سطح البحر، حيث نلاحظ انخفاض الاستهلاك الأقصى للأوكسجين بمقدار ١٥,٦% (من ٤,٨٧ لتر/ق إلى ٤,١١ لتر/ق) في اليوم الأول في المرتفعات، ثم تحسنه شيئاً فشيئاً حتى وصل إلى ٤,٣٢ لتر/ق بعد ٢٥ يوماً من البقاء في المرتفعات (على الرغم من حدوث التأقلم، إلا أن مستوى الاستهلاك الأقصى للأوكسجين ما يزال منخفضاً بمقدار ١١,٣% بعد ٢٥ يوماً في المرتفعات، مقارنة بمستواه عند سطح البحر). لكن عند العودة مرة أخرى إلى مستوى سطح البحر، نجد أن مقدار الاستهلاك الأقصى للأوكسجين قد عاد وأرتفع عما كان عليه في المرتفعات ليصل إلى ٤,٧٦ لتر في الدقيقة، لكنه ما يزال دون مستواه السابق قبل الصعود إلى المرتفعات بحوالي ٢,٣%.

أما المتغيرات الفسيولوجية دون القصوى (عند جهد بدني دون الأقصى)، كمعدل ضربات القلب دون القصوى وتركيز حمض اللبنيك دون الأقصى فإن تأثيرها من جراء المرتفعات كان أقل، خاصة بعد فترة من التأقلم في المرتفعات، كما أن مستوياتها بعد العودة من المرتفعات عادت إلى معدلاتها عند مستوى سطح البحر، مما يعني أن المتغيرات الفسيولوجية القصوى تتأثر بصورة أشد من تأثير المتغيرات دون القصوى من جراء البقاء في المرتفعات.

جدول رقم (٢): تأثير الصعود إلى ارتفاع ٢١٠٠ متر فوق مستوى سطح البحر على القدرة الهوائية القصوى (لتر في الدقيقة) ومعدل ضربات القلب وتركيز حمض اللبنيك (ملي مول/لتر) لدى مجموعة من الذكور تم إجراء اختبارات الجهد البدني لهم باستخدام دراجة الجهد.

المتغير	عند مستوى سطح البحر (قبل)	عند ارتفاع ٢١١٠ متر فوق مستوى سطح الأرض (الضغط الجوي = ٦٠٠ مم/ز)				عند مستوى سطح البحر (بعد)
		في اليوم الأول	بعد ٣ أيام	بعد ١٨ يوماً	بعد ٢٥ يوماً	
الاستهلاك الأقصى للأكسجين	٤,٨٧	٤,١١	٤,١٧	٤,٢٣	٤,٣٢	٤,٧٦
ضربات القلب عند ٢٤٠ شمعة	١٥٦	١٧١	١٧٢	١٦٤	١٥٩	١٥٧
تركيز حمض اللبنيك عند ٢٤٠ شمعة	٢,٨	٤,٦	٤,٨	٣,٦	٣,٠	٢,٦

المصدر: Saltin, B. *RQES* (Suppl), 1996, 67: 1-10

التدريب البدني في المرتفعات:

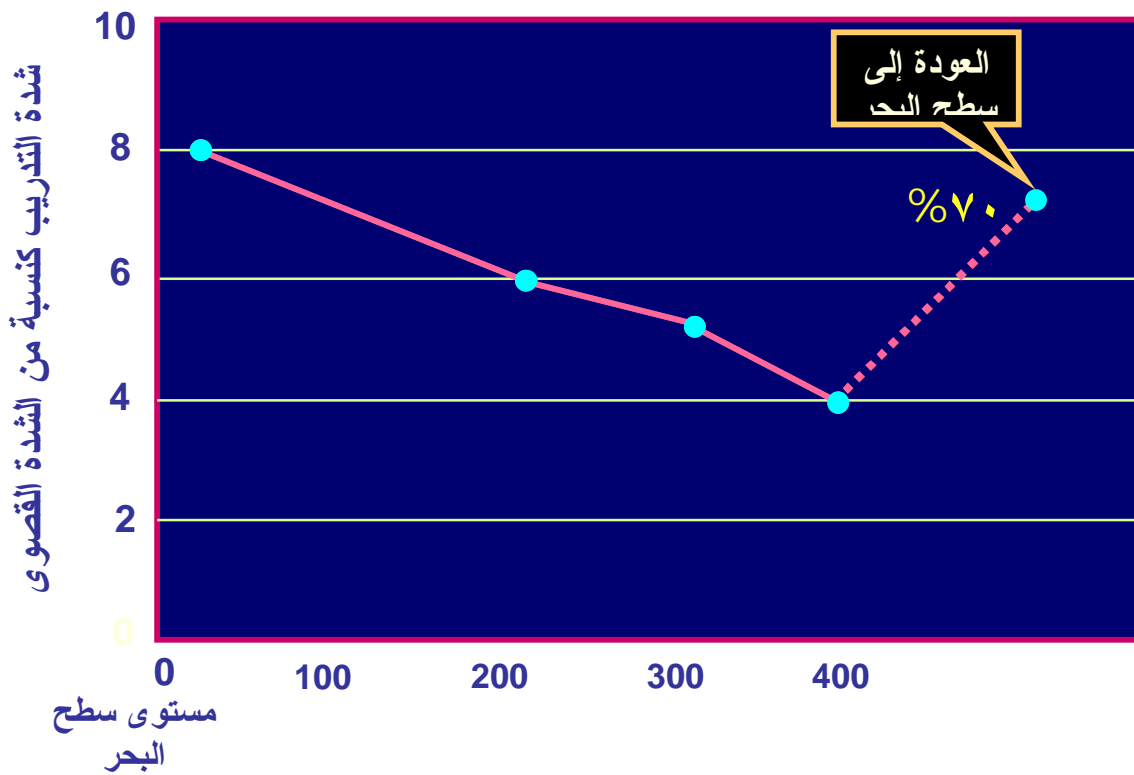
هل يمكن للتدريب البدني في المرتفعات من تحسين أداء الفرد في مسابقة لاحقة تقام عند مستوى سطح البحر؟

قبل الإجابة على هذا التساؤل يجدر بنا أن نشير إلى أن التأقلم على المرتفعات يؤدي إلى زيادة إمكانية الفرد على أداء جهد بدني عند ذلك الارتفاع.

وعلى الرغم من معرفتنا بأن التدريب في المرتفعات يؤدي إلى زيادة السعة الأوكسجينية للدم، إلا أن البحوث العلمية لا تدل على أن هناك أثر مساعد للتدريب في المرتفعات على الأداء البدني لمنافسة تقام عند مستوى سطح البحر، حيث أشارت العديد من الدراسات والبحوث إلى عدم حدوث تحسن في أي من الاستهلاك الأقصى للأوكسجين أو في زمن الأداء البدني بعد العودة من تدريبات المرتفعات، بل أن بعض الدراسات تظهر لنا أن التدريب في المرتفعات لا

يفوق التدريب عند مستوى سطح البحر في رفع الأداء البدني في مسابقة تقام عند مستوى سطح البحر.

ولعل من أسباب عدم فعالية التدريب في المرتفعات كما تشير إليه البحوث المذكورة أنه عند ارتفاع ٢٣٠٠ متر أو أكثر فوق مستوى سطح البحر يصعب جداً على اللاعب أن يتدرب بشدة تماثل تلك الشدة التي كان يتدرب عليها عند مستوى سطح البحر، مما لا يلقي عبئاً كافياً على الجهاز العصبي العضلي لإحداث التكيف المطلوب للجهاز الأيضي في العضلات العاملة بشكل تام، على الرغم من أن التدريب في المرتفعات يجهد بشكل ملحوظ الجهاز القلبي التنفسي، ويوضح الشكل البياني رقم (١) مقدار الانخفاض المتوقع في شدة التدريب من جراء المرتفعات تبعاً للبعد عن سطح البحر .



شكل رقم (١): مقدار الانخفاض في شدة التدريب البدني كنسبة من الشدة القصوى تبعاً للارتفاع

عن مستوى سطح البحر . المصدر: Kollias & Buskirk, 1974

توصيات بشأن التكيف في المرتفعات:

- يعتمد حدوث التأقلم التام للاعب على مقدار الارتفاع، حيث يتراوح بين أسبوعين إلى ثلاثة في الارتفاعات التي عند ٢٥٠٠-٢٠٠٠ متر فوق سطح البحر.
- إن لم يكن باستطاعة اللاعب أن يقضي فترة التأقلم اللازمة قبل السباق في المرتفعات، فعليه أن يجدول وصوله إلى المرتفعات قبل السباق بوقت قصير جداً (بيوم واحد).
- فيما يتعلق بالتدريب البدني، ينبغي على اللاعب المحافظة على شدة التدريب مع خفض مدة التدريب والإبقاء على التكرارات الأسبوعية.
- ينبغي على اللاعب الإكثار من تناول السوائل وخاصة الماء حيث يتم فقده بسهولة في المرتفعات نتيجة للتنفس المتزايد.
- تشير البحوث الحديثة إلى أن الأداء البدني يتحسن بصورة أفضل لو عاش الرياضي في المرتفعات وتدريب عند مستوى سطح البحر، ولقد أصبح ذلك ممكناً في ظل توافر الغرف المحاكية للمرتفعات، مما يمكن الرياضي أن ينام في تلك الغرف التي يقل فيها الضغط الجوي ثم يتدرب في النهار عند مستوى سطح البحر.