المرتفعات والأداء البدني:
اعتبارات فسيولوجية

د. هزاع بن محمد الهزاع

الأستاذ والمشرف على مختبر فسيولوجيا الجهد البدني

قسم التربية البدنية وعلوم الحركة

كلية التربية – جامعة الملك سعود

المصدر:

الهزاع، هزاع محمد ، كتاب موضوعات مختارة في فسيولوجيا الجهد البدني، تحت الطبع.

PDF created with pdfFactory trial version www.pdffactory.com

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 3 ألاف 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 الجرى والسباحة والدراجات والتزلج) تتأثر سلباً بالمرتفعات كما حدث في الدورة الأولمبية عام 1968م في مكسيكو سيتي (على ارتفاع 2300 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 ذات الطابع اللاهوائي التي تستغرق وقتاً قصيراً (أقل من دقيقة) فالمعتقد أن تأثير المرتفعات على الأداء البدني يعد ضئيل، بل أن كثافة الهواء المنخفضة تعمل على التقليل من مقاومة الهواء للرياضي، خاصة في مسابقات الوثب والعدو وسباقات السرعة في الدراجات، مما قد يحسن من الأداء البدني قليلاً.

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 3.5% لكل 305 متر صعود فوق ارتفاع 1500م من مستوى سطح البحر (أي أن مقدار الانخفاض في القدرة الهوائية القصوى يبلغ حوالي 12-15% عند الصعود إلى مستوى 2500 متر فوق مستوى سطح البحر). على أن البعض يعتقد أن الانخفاض في القدرة الهوائية القصوى قد يكون على صورة أشد من ذلك. ولقد تم التنبؤ بمقدار الاستهلاك الأقصى للأكسجين عند قمة أيفرست في جبال الهيملايا بحوالي 350- 500 ملليتر في الدقيقة، وهو لا يختلف كثيراً عن معدل استهلاك الأكسجين أثناء الراحة الذي يبلغ 260- 280 ملليلتر في الدقيقة لشخص متوسط الحجم. علماً بأن الاستهلاك الأقصى للأكسجين يتأثر لدى الرياضيين عند بلوغهم ارتفاع يصل إلى 900 متر فوق مستوى سطح البحر، غير أن الشخص العادي قد لا يتأثر استهلاكه الأقصى للأكسجين قبل الوصول إلى 1200 متر فوق مستوى سطح البحر.

ويحدث الانخفاض في الاستهلاك الأقصى للأوكسجين (والذي يعبر عن القدرة الهوائية القصوى) بسبب الانخفاض في الضغط الجوي للهواء، وما يعقبه من انخفاض في الضغط

PDF created with pdfFactory trial version www.pdffactory.com

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 الرئتين)، وبطبيعة الحال هذا يترجم إلى انخفاض في الأداء البدني في الرياضات التي تتطلب عنصر التحمل (مثل جري مسافة 1500م فأكثر).

ولتوضيح ذلك تجدر الإشارة إلى أن كثافة الهواء تنخفض مع الارتفاع عن مستوى سطح البحر، فالضغط الجوي للهواء عند مستوى سطح البحر يبلغ 760 ملي متر زئبقي، لكن هذا الضغط الجوي ينخفض مع الارتفاع عن سطح البحر، ليصل إلى 510 ملي متر زئبقي عند ارتفاع 3048 متر فوق مستوى سطح البحر. أما عند ارتفاع 5846 متر فوق مستوى سطح البحر، فيصل الضغط الجوي للهواء إلى نصف ما هو عليه عند مستوى سطح البحر.

وعلى الرغم من أن نسبة تركيز الأوكسجين في المرتفعات تبقى كما هي عند سطح البحر (20.93%)، 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 20.93% 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 159مم/ زئبقي (0.2093 × 760 مم/ زئبقي)، إلا أن هذا الضغط الجزئي للأوكسجين ينخفض عند ارتفاع 30489 متر فوق سطح البحر ليبلغ 107 مم/ زئبقي، ويوضح الجدول رقم (1) كل من الضغط الجوي وضغط الأكسجين عند مرتفعات مختلفة عن مستوى سطح البحر.

جدول رقم (1): الضغط الجوي وضغط الأكسجين تبعاً للارتفاع عن مستوى سطح البحر.

الارتفاع (متر)	الضغط الجوي (ملم زئبقي)	ضغط الأكسجين (ملم زئبقي)
مستوى سطح البحر	**760**	**159.2**
1000	**674**	**141.2**
2000	**596**	**124.9**
3000	**526**	**110.2**
4000	**462**	**96.9**

PDF created with pdfFactory trial version www.pdffactory.com

ويعتقد أن قدرة الإنسان العادي لا تسمح له بالعيش بشكل دائم عند ارتفاعات أعلى من 5200 متر فوق مستوى سطح البحر بدون استخدام اسطوانات الأوكسجين، حيث يصبح الضغط الجزئي للأوكسجين في الدم الشرياني عند هذا الارتفاع أقل من 40مم/ زئبقي، وعلى الرغم من ذلك تفيد بعض التقارير أن هناك بعض الأفراد الذين تمكنوا من العيش على ارتفاع يزيد عن 6000 متر، إلا أن هذه الأمثلة هي الاستثناء وليست القاعدة. أما قدرة الشخص على القيام بجهد بدني فتنخفض في المرتفعات التي تزيد على 4500 متر، حيث يكون الضغط الجوي دون 400 ملم زئبقي (مقارنة بمقدار الضغط الجوي عند مستوى سطح الأرض الذي هو 760 ملم زئبقي).

التأقلم للمرتفعات:

منح الله تعالى الجسم البشري قدرة عالية على التأقلم لمختلف الظواهر ومنها المرتفعات، حيث يعيش ويعمل أكثر من 40 مليون إنسان من الكرة الأرضية على ارتفاع أكثر من 3000 متر فوق سطح البحر. وعلى الرغم من الاختلافات الواضحة في قدرة الأفراد على التأقلم على المرتفعات، إلا أنه بمجرد انتقال الإنسان إلى ارتفاع يتجاوز 2000 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 2000 متر فوق سطح البحر يؤدي إلى تنبيه المستقبلات الكيميائية في الجسم (في الجسم السباتي وفي الجسم الأبهر) 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، الأمر الذي يجعل الجهد البدني ذاته يبدو أصعب في المرتفعات مقارنة بمستوى سطح البحر. أما معدل ضربات القلب القصوى ونتاج القلب الأقصى فينخفضان في المرتفعات، ويعتقد أن السبب في انخفاض معدل ضربات القلب القصوى في المرتفعات يعود إلى زيادة

PDF created with pdfFactory trial version www.pdffactory.com

تحفيز النشاط نظير السمبثاوي وتثبيط النشاط السمبثاوي من جـراء وجـود الشـخص فـي المرتفعات.

ومن الآثار الواضحة أيضاً لتأثير المرتفعات على الجسم حدوث فقدان لسـوائل الجسـم 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 وبـارداً الأمـر الذي يؤثر بالطبع على حجم سوائل الدم وخاصة حجم البلازما (أنظر إلى الفقرة التالية).

أما أهم آثار التكيف الفسيولوجي البطيء الذي يحدث نتيجة للعيش في المرتفعات (مـن أسبوع إلى أكثر)، فيتمثل في التغيرات التي تحدث في حجم بلازما الـدم والكريـات الدمويـة الحمراء، فالملاحظ أن حجم بلازما الدم ينخفض في المرتفعات مما يجعل تركيز كريات الـدم الحمراء يصبح عالياً مقارنة بمستوى سطح البحر. بالإضافة إلى ذلك فإن عدد كريـات الـدم الحمراء يرتفع نتيجة للعيش في المرتفعات، حيث يزداد معدل إنتاجها من نخاع العظام، وليس من المستغرب أن تزداد كريات الدم الحمراء بنسبة أكثر من 30% عند الصعود إلى ارتفـاع 4000 متر فوق مستوى سطح البحر. ومن الملاحظ أيضـاً أن نسـبة الهيموجلـوبين (**Hb**) والهيماتوكريت (**Hct**) ترتفعان من جراء البقاء في المرتفعات مقارنة بمستوى سـطح البحـر. ومما لا شك فيه أن زيادة كرات الدم الحمراء سوف يؤدي إلى زيادة السعة الأكسـجينية للـدم (قدرة الدم على حمل الأوكسجين)، إلا أن الزيادة غير العادية في كرات الدم الحمـراء تـؤدي إلى زيادة لزوجة الدم، مما يعيق بالتالي عملية انتشار ونقل الدم في الجسم (وما لذلك من تأثير على الأكسجين). وقد يصل الانخفاض في حجم البلازما حوالي 25% خلال العشـرة الأيـام الأولي من وجود الشخص في المرتفعات، وقد يستغرق عودة حجم الدم إلى مستواه في سـطح البحر عدة أسابيع إلى أشهر من العيش في المرتفعات. وعند عودة الرياضـي إلـى مسـتوى سطح البحر بعد قضاء عدة أسابيع في المرتفعات، فإن حجم بلازما الدم سرعان ما يعود إلـى مستواه السابق في غضون أسبوع من العيش عند مستوى سطح البحر.

ومن مظاهر التكيف البطيء أيضاً نتيجة للمرتفعات زيادة في ميوجلـوبين العضـلات وكذلك زيادة في عدد الميتوكوندريا (بيت الطاقة) وارتفاع في تركيز عـدد مـن الأنزيمـات المسئولة عن عمليات إنتاج الطاقة الهوائية في الجسم.

أما عن المدة اللازمة للتأقلم التام في المرتفعات فالملاحظ أنهـا تعتمـد علـى مقـدار الارتفاع، إلا أنه بشكل عام يمكن القول أنه يلزم أسبوعين للتأقلم لارتفاعات عند 2300 متـر فوق سطح البحر فأقل. ويعتقد كذلك أن التأقلم للمرتفعات يزول في غضون 2-3 أسابيع بعـد العودة إلى مستوى سطح البحر. غير أن القدرة الهوائية القصوى تتأثر سلباً في المرتفعات، بل

PDF created with pdfFactory trial version www.pdffactory.com

تظل متأثرة حتى بعد فترة من التأقلم في المرتفعات، ويوضح الجدول رقم (2) استجابة بعض المتغيرات الفسيولوجية القصوى ودون القصوى قبل وأثناء ثم بعد العودة من المكوث مدة 25 يوماً على ارتفاع 2100 متر فوق مستوى سطح البحر، حيث نلاحظ انخفاض الاستهلاك الأقصى للأوكسجين بمقدار 15.6% (من 4.87 لتر/ق إلى 4.11 لتر/ق) في اليوم الأول في المرتفعات، ثم تحسنه شيئاً فشيئاً حتى وصل إلى 4.32 لتر/ق بعد 25 يوماً من البقاء في المرتفعات (على الرغم من حدوث التأقلم، إلا أن مستوى الاستهلاك الأقصى للأوكسجين ما يزال منخفضاً بمقدار 11.3% بعد 25 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 4.76 لتر في الدقيقة، لكنه ما يزال دون مستواه السابق قبل الصعود إلى المرتفعات بحوالي 2.3%.

جدول رقم (2): تأثير الصعود إلى ارتفاع 2100 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 2110 متر فوق مستوى سطح الأرض (الضغط الجوي = 600 مم/ز)				عند مستوى سطح البحر (بعد)
		في اليوم الأول	بعد 3 أيام	بعد 18 يوماً	بعد 25 يوماً	
الاستهلاك الأقصى للأكسجين	4.87	4.11	4.17	4.23	4.32	4.76
ضربات القلب عند 240 شمعة	156	171	172	164	159	157
تركيز حمض اللبنيك عند 240 شمعة	2.8	4.6	4.8	3.6	3.0	2.6

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

أما المتغيرات الفسيولوجية دون القصوى (عند جهد بدني دون الأقصى)، كمعدل ضربات القلب دون القصوى وتركيز حمض اللبنيك دون الأقصى فإن تأثرها من جراء

PDF created with pdfFactory trial version www.pdffactory.com

المرتفعات يكون 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 تأثر المتغيرات دون القصوى من جراء البقاء في المرتفعات.

التدريب البدني في المرتفعات والأداء البدني:

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.

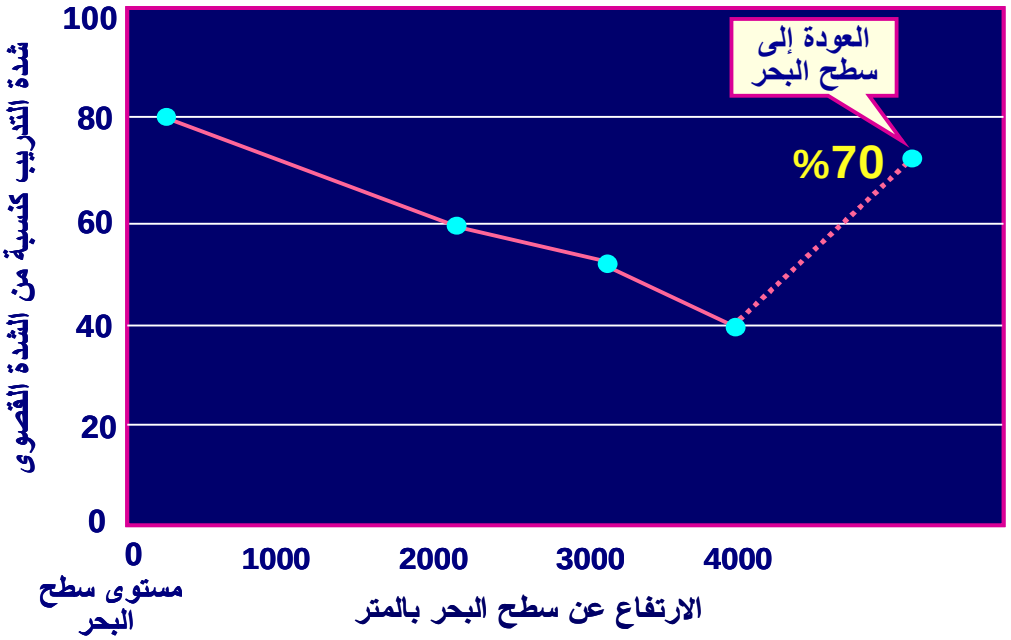
وعلى الرغم من معرفتنا بأن التدريب في المرتفعات يؤدي إلى زيادة السعة الأكسجينية للدم، إلا أن البحوث العلمية لا تدل على أن هناك أثر مساعد للتدريب في المرتفعات على الأداء البدني لمنافسة تقام عند مستوى سطح البحر، حيث أشارت العديد من الدراسات والبحوث إلى عدم حدوث تحسن في أي من الاستهلاك الأقصى للأوكسجين أو 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 2200 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 (1) مقدار الانخفاض في شدة التدريب عند قيام الشخص بالتدريب في المرتفعات. ويتضح من الشكل أن وجود الرياضي عند ارتفاع 2000 متر فوق مستوى سطح البحر يجعله قادراً على التدريب عند شدة لا تتجاوز 60% من الشدة القصوى التي يمكنها التدريب عندها فيما لو كان عند سطح البحر، بينما يمكن الرياضي المتميز التدريب عند شدة تصل إلى 80% من شدته القصوى أو تزيد قليلاً فيما لو كان عند مستوى سطح البحر.

PDF created with pdfFactory trial version www.pdffactory.com

العيش في المرتفعات والتدريب عند مستوى سطح البحر:

وفي الآونة الأخيرة ونظراً للاعتبارات التي تم التطرق لها في الفقرة السابقة فقد بدأ الاهتمام بإتباع نمط جديد من التكيف الناجم عن المرتفعات، ألا وهو العيش في المرتفعات والتدريب البدني عند مستوى سطح البحر، خاصة في ظل توفر غرف المرتفعات التي تمكن الرياضي من دخولها في الليل والنوم فيها مدة لا تقل عن ثمان ساعات ومن ثم الخروج في الصباح وممارسة التدريب عند مستوى سطح البحر. وتشير بعض الدراسات إن ذلك النمط من الحياة يؤدي إلى تحسن في الأداء البدني التحملي، حيث تتم الاستفادة من النوم في المرتفعات في تحفيز كريات الدم الحمراء في الجسم وزيادة نسبة الهيماتوكريت مع المحافظة على شدة التدريب البدني، كما يؤدي ذلك إلى زيادة مستوى الاستهلاك الأقصى للأكسجين وتحسين العتبة اللاهوائية، في المسافات التي تزيد على 3000 متر. وتبين التقديرات إلى أن إتباع هذا النظام من العيش في المرتفعات والتدريب عند مستوى سطح البحر قد يقود إلى تحسين زمن سباق الماراثون بحوالي 8.5 دقائق (أي حوالي 5%).



شكل رقم (1): الانخفاض في شدة التدريب البدني تبعاً لمقدار لارتفاع عن مستوى سطح البحر. **المصدر**: **Kollias & Buskirk, 1974**

PDF created with pdfFactory trial version www.pdffactory.com

توصيات بشأن التكيف في المرتفعات:

- يعتمد حدوث التأقلم التام للاعب على مقدار الارتفاع، حيث يتراوح بين أسبوعين إلى ثلاثة في الارتفاعات التي عند 2000-2500 متر فوق سطح البحر.
- في حالة وجود مسابقة في المرتفعات ولم يكن باستطاعة اللاعب أن يقضي فترة التأقلم اللازمة قبل السباق في المرتفعات، فينبغي عليه أن يجدول وصوله إلى المرتفعات قبل السباق بوقت قصير جداً (بيوم واحد).
- فيما يتعلق بالتدريب البدني في المرتفعات، ينبغي على اللاعب المحافظة على شدة التدريب مع خفض مدة التدريب والإبقاء على التكرارات الأسبوعية.
- ينبغي على اللاعب الذي يتدرب في المرتفعات الإكثار من تناول السوائل وخاصة الماء حيث يتم فقده بسهولة في المرتفعات نتيجة للتنفس المتزايد.

PDF created with pdfFactory trial version www.pdffactory.com

المراجع

المراجع العربية:

1. **الهزاع، هزاع محمد. المرتفعات والأداء البدني. مطوية صادرة من المؤلف، 1990.**
2. **الهزاع، هزاع محمد. زيادة السعة الأكسجينية للدم، محاضرة ألقيت في ندوة المنشطات والمكملات الغذائية، أبو ظبي: القوات المسلحة، دولة الإمارات العربية المتحدة، 2007.**

المراجع الإنجليزية:

3. Bailey D, Davies B. Physiological implications of altitude training for endurance performance at sea level: a review. *Br J Sports Med* 1997; 31:183-90.
4. Berglund B. High-altitude training: Aspects of haematological adaptation. *Sports Med* 1992; 14: 289-303.
5. Burtscher M, Faulhaber M, Flatz M, Likar R, Nachbauer W. Effects of short-term acclimatization to altitude (3200 m) on aerobic and anaerobic exercise performance. *Int J Sports Med* 2006; 27:629-35.
6. Cerretelli P, Ferretti G, (Eds). Muscular exercise at high altitude. *Int J Sports Med* (suppl 1) 1990; 11: s1-s34.
7. Chapman R, Levine B. Altitude training for the marathon. *Sports Med* 2007; 37: 392-395.
8. Coudert J. Anaerobic performance and altitude. *Int J Sports Med* (suppl 1) 1992; 13: s82-s85.
9. Kollias J, Buskirk E. Exercise and altitude. In Johnson W and Buskirk E. (Eds): *Science and Medicine of Exercise and Sports*. New York, Harper and Row, 1974: 211-227.
10. Roels B, Bentley D, Coste O, Mercier J, Millet G. Effects of intermittent hypoxic training on cycling performance in well-trained athletes. *Eur J Appl Physiol* 2007; 101: 359-68.
11. Rusko H, Tikkanen H, Peltonen J. Altitude and endurance training. *J Sports Sci* 2004; 22:928-44.
12. Saltin B. Exercise and the environment: focus on altitude. *Res Q Exerc Sport* (suppl), 1996; 67: 1-10.
13. Sutton J, Jones N, Griffith L, Pugh C. Exercise at altitude. *Ann Rev Physiol* 1983; 45: 427-437.
14. Sutton J, Reeves J, Groves B, et al. Oxygen transport and cardiovascular function at extreme altitude: Lessons from Operation Everest II. *Int J Sports Med* (suppl 1) 1992; 13: s13-s18.
15. Terrados N. Altitude training and muscular metabolism. *Int J Sports Med* (suppl 1) 1992; 13: s206-s209.
16. Wehrlin J, Zuest P, Hallén J, Marti B. Live high-train low for 24 days increases hemoglobin mass and red cell volume in elite endurance athletes. *J Appl Physiol* 2006; 100:1938-45.
17. Wolski L, McKenzie D, Wenger H. Altitude training for improvements in sea level performance- Is there scientific evidence of benefit? *Sports Med* 1996; 22: 251-263.

PDF created with pdfFactory trial version www.pdffactory.com