الفصل الثاني

كفاءة الأداء الرياضي في ظروف انخفاض درجة حرارة الجو وضغطه (الجبال المتوسطة)

المقدمة

يمتلك الهواء الجوي وزنًا ملحوظًا يحدد بموجبه الضغط الجوي وينضغط هذا الهواء تحت تأثير وزنه ، لذا فإن ضغطه وكثافته عند سطح الأرض (على مستوى سطح البحر) يتخذان أكبر قيمة لهما من أي مكان آخر ، و تنخفض تلك القيمة من ارتفاع عمود الهواء (الجدول ٣) ويشكل هبوط الضغط الجوي مع الارتفاع ظروفًا لهبوط الضغط فكلما زاد الارتفاع عن مستوى سطح البحر انخفض الضغط الجوي وينخفض معه الضغط الجزيئي للغازات التي تشكل الهواء الجوي ، ويتخذ هبوط الضغط الجزيئي للأوكسجين وبالتالي انخفاض عدد جزئياته في حجم الهواء المستنشق، أي أن لظروف هبوط الأوكسجين أهمية كبرى بالنسبة للإنسان ، ويخضع الإنسان في المرتفعات لظروف مضاعفة بهبوط كمية الأوكسجين ، ويمكن أن تبرز مثل هذه الظروف في الحجرة البارومترية شديدة الإحكام من خلال انخفاض الضغط فيها ، ويمكن أحيانًا بطريقة ما تنفس مزيج من الغازات التي تكون كمية الأوكسجين فيها منخفضة بحيث يكون الضغط البارومتري للغازات اعتياديًا ، وبزيادة الارتفاع يؤدي النقص في كمية الأوكسجين في الهواء الجوي إلى هبوط في الضغط الجزيئي للأوكسجين في هواء الحويصلات وانخفاض كميته في الدم الشرياني ، وستسوء نتيجة لذلك عملية تأمين الأنسجة بالأوكسجين ، وعليه فإن عملية المكوث في الجبال تتطلب وسائل فسلجية متخصصة للمحافظة على تكيف عملية تزويد الجسم بالأوكسجين ، أما العامل الثاني في انخفاض كثافة الهواء الجوي في المرتفعات فيكمن في انخفاض المقاومة الخارجية للهواء إزاء الجسم المتحرك ، لذلك فعند التحرك بسرعة واحدة سيكون الشغل الخارجي في

المرتفعات أقل مما هو عليه في السهول ، ويظهر هذا بصورة خاصة في التمارين الرياضية ذات سرعة انتقال كبيرة ففي ركض المسافات القصيرة وكذلك في التزلج السريع على الجليد وفي سباق الدراجات لمسافات قصيرة في المرتفعات يمكن بلوغ نتائج رياضية أعلى مما عليه في السهول ، وكلما كانت درجة الحرارة منخفضة كلما كان الارتفاع عاليًا ، فإذا كان معدل درجة الحرارة عند مستوى سطح البحر يساوي ١٥ درجة سيلزيوسية فإنه يمكن أن ينخفض هذا المعدل بمقدار ٦,٥ درجة سيلزيوسية لكل ١٠٠٠ متر ويستمر هذا الانخفاض حتى بلوغ علو بمقدار ١١٠٠٠ متر.

«ما يهم التطبيق الرياضي هو معرفة كيفية التأثير الفسلجي على ذلك الجزء في المرتفعات الذي يبدأ بـ ١٥٠٠ متر وينتهي عند ٣٠٠٠ متر».

جدول رقم (٣)

الضغط الجوي والضغط الجزيئي للأوكسجين في الجو وفي هواء الحويصلات في ارتفاعات مختلفة

الارتفاع م	الضغط الجوي		الضغط الجزئي للأوكسجين في الهواء الجوي ملم زئبق ظرف الهدوء ملم/زئبق	الضغط الجزئي للأوكسجين في هواء الحويصلات
	ملم زئبق	ضغط جوي		
صفر	٧٦٠	١,٠	١٤٩	١٠٥
١٠٠٠	٦٨٠	٠,٩	١٤٢	٩٤
٢٠٠٠	٦٠٠	٠,٨	١٢٥	٧٨
٣١٠٠	٥٣٠	٠,٧	١١١	٦٢
٤٣٠٠	٤٥٠	٠,٦	٩٤	٥١
٥٦٠٠	٣٨٠	٠,٥	٧٥	٤٢
٧٠٠٠	٣٠٥	٠,٤	٦٤	٣١
٩٠٠٠	٢٣٠	٠,٣	٤٨	١٩

التأثيرات الفسلجية الحادة في الضغط الجوي المنخفض

تظهر عدد من التغيرات الفسلجية في الجسم حال مكوثه في الحجرة البارومترية وتسبب هذه التغيرات تكوين ظروف مواتية لهبوط كمية الأوكسجين .

وظائف التنفس

تبقى حاجة الجسم إلى الأوكسجين في ظروف الهدوء أو عند تنفيذ حمولات دون القصوى في المرتفعات كما هي عليه في المناطق المستوية ، لذا فإن التأمين التكيفي

للجسم بالأوكسجين يتطلب أن يكون انخفاض عدد جزيئات الأوكسجين في وحدة الحجوم في الهواء ذي الضغط المنخفض في المرتفعات قابلًا للتعويض من خلال زيادة حجم التنفس الرئوي. ومع الارتفاع عن مستوى سطح البحر تنخفض قيمة الرطوبة النسبية للهواء ، ولما كان الهواء في الجبال أكثر جفافًا لذا فإن فقدان الماء الذي يصاحب هواء الزفير سيكون أكبر في هذه الظروف مما هى عليه في مستوى سطح البحر ، وإذا ما نفذنا عملاً لفترة طويلة في المرتفعات فإن الفقدان الكبير للماء يمكن أن يؤدي إلى نزع الماء.

إن الأشعة الشمسية والأشعة فوق البنفسجية تكون في الجبال أكثر كثافة مما هي عليه في المناطق المنبسطة مما يمكن أن يسبب صعوبات إضافية ، ولما كانت قوة الجاذبية تتناقص كلما زاد الارتفاع لذا فإن الظروف في المرتفعات يمكن أن تهيئ أساسًا جديًا لبلوغ نتائج رياضية عالية في تلك الأنواع من الرياضة كالقفز والوثب ، وينفذ التدريب والسباق في جميع الأنواع الرياضية باستثناء تسلق الجبال في مرتفعات يصل علوها إلى ٢٥٠٠ - ٣٠٠٠ متر، لذا فإن هذا يُعَدُّ أكبر ميكانيكية وظائفية أساسية لتكيف الجسم السريع لظروف هبوط الأوكسجين في المرتفعات ، وعند الارتفاعات التي تصل إلى ٣٠٠٠ - ٣٥٠٠ متر، وفي ظروف الهدوء يكون تعزز التنفس الرئوي في بداية الأمر غير ذي شأن يذكر ، لذا سرعان ما يلاحظ انخفاض كبير في الضغط الجزيئي للأوكسجين في هواءالحويصلات ، أما عند تنفيذ العمليات العضلية في المرتفعات فإن حجم التنفس الرئوي يكون منذ البداية أكبر كثيرًا مما عليه في المناطق المنبسطة ، ويلاحظ عند الفرد نفسه أن حجم التنفس الرئوي الذي يحتاجه وهو ينفذ حمولة مطلقة واحدة (تساوي كمية الأوكسجين المستهلك) يزداد شدة كلما زاد الارتفاع .

إن هبوط كثافة الهواء في المرتفعات العالية تخفف عملية التنفس الخارجي من جانب، إلا أن الضغط البارومتري المنخفض يقلل كفاءة العضلات التنفسية في مضاعفة الضغط الصدري الداخلي من جانب آخر ، ولكن على العموم تكون الإمكانية القصوى للجهاز التنفسي في المرتفعات أكبر مما هى عليه عند مستوى سطح البحر ، ويمكن للتنفس الرئوي عند تنفيذ حمولة قصوى على ارتفاع عالٍ أن يصل إلى قيمة مقدارها ٢٠٠ ل/دقيقة.

يؤدي انخفاض الضغط البارومتري إلى هبوط الضغط الجزيئي للأوكسجين في جميع حلقات منظومة نقل الأوكسجين في الدم بالرغم من أن تعزيز التنفس الرئوي وغيرها من الآليات الفسلجية تعيق هبوط الأوكسجين في الدم وفي أنسجة الجسم الأخرى.

ونتيجة لذلك فيمكن لضغط الأوكسجين أن يساوي بالقرب من الحبيبات ١٠ ملم زئبق عند مستوى سطح البحر وحوالي ٥ ملم زئبق على ارتفاع ٥٠٠٠ متر ، إن مثل هذا الضغط لا يزال كبيرًا بحيث يؤمن الظروف الدنيا لجريان عمليات الأكسدة الأنزيمية في خلايا الجسم.

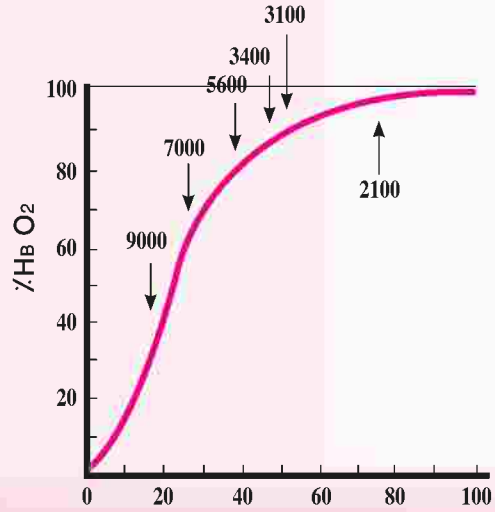
يتحدد ضغط الأوكسجين في هواء الحويصلات بواسطة ضغط هذا الغاز في هواء الشهيق وكمية التنفس الرئوي ، وكلما كانت الكمية الأخيرة أكبر، أي كلما كان تبادل الهواء في الرئتين أكبر كلما كان تركيب هواء الحويصلات قريبًا من الهواء الجوي ، ولكن في جميع الحالات فإن الضغط الجزيئي للأوكسجين في هواء الحويصلات يستطيع فقط أن يقترب من هواء الشهيق (في الهواء الجوي) وليس أن يساويه ، أما تجاوزه فذلك مستحيلًا ، وعليه فكلما زاد الارتفاع (انخفاض الضغط البارومتري) هبط الضغط الجزيئي للأوكسجين في الهواء الجوي وهبط معه الضغط المذكور في هواء حويصلات (انظر جدول ٣) ، وينخفض طرديًا مع هبوط الضغط الجزيئي للأوكسجين في الهواء الجوي وهواء الحويصلات التوتر الجزيئي للأوكسجين في الدم الشرياني (هبوط الأوكسجين) ، وهذا هو أحد المنبهات الأساسية في تعزيز التنفس الرئوي في ظروف الهدوء ، وبسبب هبوط التنفس يتحرر ثاني أوكسيد الكربون في الدم مع هواء الزفير ، ونتيجة لذلك فإن توتر ثاني أكسيد الكربون في الدم الشرياني ينخفض مع الصعود إلى المرتفعات ، أي تقوى عملية هبوط ثاني أكسيد الكربون في الدم والتي يمكن بدورها أن تعزز النسيج العضلي وانقباض الأوعية بصعوبة كبيرة ، وتعتبر نتائج عملية تضييق أوعية الدماغ مزعجة جدًا للجسم.

عند تعزيز عملية طرد ثاني أوكسيد الكربون من الدم مع هواء الزفير فإن تركيز ثاني أوكسيد الكربون المذاب في الدم سينخفض بصورة أكبر من انخفاض البيكربونات، لذلك فإن المؤثر الآخر لهبوط التنفس العالي هو إزاحة استجابة الدم بالاتجاه القلوى أي مضاعفة PH ، وأن هبوط التوتر الجزيئي لثاني أكسيد الكربون ومضاعفة PH في الدم الشرياني يسبب تأثيرًا لإعاقة المركز التنفسي ، لذا ينبغي أن ينظر إلى مستوى التنفس في المرتفعات كفسلجة موفقة بين التكيف المطلوب في تزويد الجسم بالأوكسجين في ظروف هبوط الأوكسجين وضرورة المحافظة على التوازن الحامضي - القلوي - في قيمته الطبيعية.

يؤدي هبوط التوتر الجزيئي للأوكسجين في الدم الشرياني في ظروف هبوط الأوكسجين العالي في انخفاض التشبع النسبي للهيموغلوبين بالأوكسجين وبالتالي إلى انخفاض تركيز الأوكسجين في الدم ، فعلى ارتفاعات تتراوح بين ٢٠٠٠-٣٠٠٠ متر يساوي الضغط الجزيئي للأوكسجين من هواء الحويصلات ٦٠-٨٠ ملم زئبق تقريبًا ، أي أنه يكون ضمن حدود السطح العلوي لقسم منحني تفكك الهيموغلوبين المؤكسد (الشكل ١) ويضمن ذلك ارتفاعًا نسبيًا لتشبع الدم بالأوكسجين في الشعيرات الرئوية يزيد عن ٩٠٪ من الهيموغلوبين في هيئة هيموغلوبين مؤكسد، وفي المرتفعات العالية ينخفض ضغط الأوكسجين في الحويصلات في القسم الوسطي لمنحني تفكك الهيموغلوبين المؤكسد ، لذلك فإن كفاءة ارتباط الأوكسجين في الدم ونقله في المرتفعات العالية ستنخفض بصورة

حادة ، إن هبوط تشبع الدم الشرياني بالأوكسجين لغاية ٨٠٪ من القيمة الطبيعية يولد جملة من أعراض هبوط الأوكسجين الثقيلة والتي تعرف (بالمرض الجبلي) كوجع الرأس والشعور بالتعب واضطراب النوم واضطراب الجهاز الهضمي وغير ذلك.

الشكل (٢) التوتر الجزيئي للأوكسجين (ملم زئبق)



وأثناء العمل العضلي وفي ظروف هبوط الأوكسجين العالي ينخفض الضغط الجزيئي للأوكسجين في الدم الشرياني أما في الدم الوريدي، فيكون كما هو عليه في الظروف الاعتيادية ، لذا فإن تباين منظومة الشريان الوريدي فيما يتعلق بكمية الأوكسجين في الظروف الجبلية تكون أقل مما هى عليه في المناطق المستوية عند تنفيذ العمل نفسه وكلما كان الارتفاع أكبر - حيث درجة هبوط الأوكسجين أكبر - والحمولة أكثر شدة كلما انخفض توتر الأوكسجين وتشبع الدم الشرياني به بصورة أكثر وضوحًا .

عند تنفيذ عمل عضلي في المرتفعات فإن مضاعفة تركيز الحامض اللبني في العضلات والدم يحدث عن تنفيذ حمولات أقل مما ينبغي تنفيذها في مستوى سطح البحر «انخفاض العتبة اللاأوكسجينية» فتركيز الحامض اللبني في العضلات والدم للحمولة الواحدة عند أداء العمل في المرتفعات يكون أكبر مما هو عليه في مستوى سطح البحر، لذلك فإن القدرة

اللاأوكسجينية القصوى وعلى الأقل ذلك الجزء منها والذي تحدده منظومة وجود حامض اللبنيك في الدم لا تنخفض في المرتفعات ، وتشهد على ذلك تلك الحقيقة التي تشير إلى أن الدين الأوكسجيني الأعظم يكون في الأيام الأولى في المرتفعات كما هو عليه عند مستوى سطح البحر.

وظيفة الدورة الدموية

يعوض عن هبوط تشبع الدم بالأوكسجين عند أداء عمل أوكسجيني دون قيمته القصوى في المرتفعات من خلال زيادة الطرح القلبي ، أما الحجم الانقباضي في هذه الحالة فسيكون كما هو أو أقل قليلًا مما هو عليه في الظروف الطبيعية ، ولا تختلف مؤشرات ضغط الدم الشرياني بصورة ملحوظة عما عليه في المناطق المستوية على الرغم من ملاحظة بعض الانخفاض للضغط الانبساطي في المرتفعات ، ويرتبط ذلك بانخفاض المقاومة المحلية للأوعية ، وتكون القيمة العظمى للطرح القلبي والحجم الانقباضي واحدة في المرتفعات وعند مستوى سطح البحر عند تنفيذ حمولات أوكسجينية قصوى ، أما القيمة القصوى للطرح القلبي الأعظم فيتم الحصول عليها في ظروف هبوط الأوكسجين عند تنفيذ حمولة بشدة أقل مما هي عليه عند مستوى سطح البحر ومع الصعود إلى المرتفعات ينخفض تيار الدم التاجي وتأمين الأوكسجين واحتياج العضلة القلبية له في ظروف الهدوء.

ومن أجل تغطية استهلاك العضلة القلبية من الأوكسجين أثناء عمل عضلي متوتر فلابد أن يكون تيار الدم التاجي في المرتفعات أكبر مما عليه في مستوى البحر (وتقدر هذه الزيادة بـ ١٠٪ في ارتفاع ٢٥٠٠ متر و٣٠٪ في ارتفاع ٤٠٠٠ متر) .

ومن الآليات المهمة لزيادة الطرح القلبي أثناء العمل في المرتفعات يمكن اعتبار زيادة الحجم المركزي للدم والذي يؤدي إلى زيادة العودة الوريدية ويحدث ذلك استجابة لانخفاض توتر أوكسيد الكربون في الدم الشرياني (هبوط ثاني أكسيد الكربون في الدم).

ومع مضاعفة الطرح القلبي فإن إمكانيات الجسم في نقل الأوكسجين أثناء تنفيذ عمل عضلي في ظروف الهبوط البارومتري لنقص الأوكسجين يتضاعف نتيجة تعزيز تركيز الدم القائم مما يؤدي إلى مضاعفة وجود الأوكسجين في الدم الشرياني، لذا فإن انخفاض ضغط (وجود) الأوكسجين في هواء الشهيق أثناء تأدية العمل في المرتفعات يولد تقوية إضافية للتنفس الرئوي ويضاعف الطرح القلبي ودرجة تركيز الدم مقارنة بالظروف القائمة في مستوى سطح البحر.

إن هذه الآليات الإضافية تزيد نقل الأوكسجين إلى العضلات العاملة وأنسجة الجسم الأخرى ولكن حتى في ظروف المرتفعات المتوسطة فإن هذه الاستجابات التكيفية لا يمكن أن تعوض بالكامل الضغط الجزيئي وتركيز الأوكسجين في هواء الحويصلات والدم الشرياني.

لذلك تنخفض القدرة الغازية القصوى في ظروف الهبوط البارومتري لنقص الأوكسجين وتزداد قيمة توليد الطاقة اللاأوكسجينية من أجل تأمين العمل العضلي الشديد.

تزداد سرعة استهلاك الأوكسجين في بداية العمل بصورة أبطأ مما عليه في الظروف الاعتيادية. ويرتبط هذا لحد كبير مع تباطؤ إعداد منظومات الدورة الدموية، وذلك فإن العمل في الظروف الجبلية يتسم بزيادة نقص كمية الأوكسجين.

إن العمل الشديد للجهاز التنفسي والقلب وكذلك خرق الحركة التنفسية يؤدي إلى أن تكون القيمة الطاقية في مثل هذه الظروف أعلى مما عليه في ظروف مستوى سطح البحر، فمثلاً يتجاوز عند تنفيذ العمل نفسه في المناطق المستوية بمقدار ٥٪ أما تقوية نشاط منظومات التنفس والدورة الدموية في تأمين العمل العضلي في المرتفعات يشكل منطلقات لتطوير الإرهاق بصورة أسرع مما عليه عند مستوى سطح البحر ، وأثناء المكوث في مرتفعات عالية تحدث تغيرات في الحالة الوظيفية للمنظومة العصبية والتي يخرق بنتيجتها التنظيم الطبيعي لوظيفة الجسم.

التأقلم الجبلي (تكيف الارتفاع)

يعني مصطلح التأقلم الجبلي « مجموعة الوسائل الفسلجية التكيفية المتخصصة التي تبرز أثناء عملية المكوث الطويلة أو غير الطويلة في المرتفعات ».

وينخفض هذا التكيف بتأثير هبوط ضغط الأوكسجين في هواء الشهيق (هبوط الأوكسجين) على حجم الإنسان ، ويضاعف كفاءة أدائه في هذه الظروف المتخصصة، ومن الممكن تقسيم ميكانيكية التكيف الطبيعي في ظروف المرتفعات الجوية إلى قسمين ويؤمن القسم الأول تقوية نقل الأوكسجين إلى أنسجة الجسم ، في حين يؤثر القسم الثاني على المستوى النسيجي ويوجه لتقوية فاعلية استخدام الأوكسجين من قبل الخلايا لتوليد الطاقة الأوكسجينية. كلما كانت فترة المكوث في المرتفعات أطول كلما زاد اكتمال التكيف نحوها وبالتالي تصاعدت كفاءة الأداء في ذلك المرتفع ، إن أقصر فترة لازمة للتكيف إزاء المرتفعات تعتمد قبل كل شيء على الارتفاع نفسه ، إذ تساوي هذه الفترة ٧-١٠ أيام إذا كان الارتفاع ينحصر بين ٢٠٠٠-٢٥٠٠ متر وتزداد إلى ١٥-٢١ يوم عند زيادة علو المرتفع إلى ٣٦٠٠ ، وأخيرًا فإن هذه الفترة تساوي ٢١-٢٥ يوم إذا كان علو المرتفع ٤٥٠٠ وما هذه سوى فترات تقريبية لأن الجزء الأساسي في هذا المجال يعتمد على المزايا الذاتية للشخص، إضافة لذلك فإن أي تواجد في الجبال لا يمكن أن يقود إلى مستوى كفاءة الأداء التي يتمتع بها الفرد عند مستوى سطح البحر مهما كان تواجد ذلك الشخص في المرتفعات طويلاً، ولا يمكن أن يكون عند سكان المناطق المنبسطة الذين يتواجدون في المرتفعات ذلك المستوى من الاقتصاد في نقل الأوكسجين وطرحه الذي يتمتع به سكان المناطق الجبلية،

فبعض الناس لا يمكنهم إطلاقًا التكيف في المرتفعات ويعانون من شدة المرض الجبلي ويلاحظ ذلك أحيانًا عند الأشخاص الذين يولدون في الجبال. ويمكن تقسيم المكوث في الجبال بالنسبة للطول إلى أربعة درجات من التأقلم هي:

١- حادة لغاية ٣٠ دقيقة.
٢- قصيرة بضعة أسابيع.
٣- طويلة بضعة أشهر.
٤- ثابتة العيش الدائم في المرتفعات.

تضم الميكانيكية الأساسية في التكيف إزاء ظروف الهبوط البارومتري لهبوط الأوكسجين الآتي:

١- مضاعفة التنفس الرئوي وما يصاحبه من تغيرات في توازن الحامض القلوي في الدم وأنسجة أخرى.
٢- تقوية انتشار كفاءة الرئتين.
٣- مضاعفة تركيز الكريات الحمراء والهيموغلوبين في الدم.
٤- التغير في المستوى النسيجي.

تعزيز التنفس الرئوي

يرى هبوط التنفس التكيفي في الساعات الأولى من الوصول إلى المرتفعات ويحدث على مدار عدد من الأيام مضاعفة مستمرة للتنفس الرئوي عند تنفيذ الحمولة نفسها. وبعد مضي أسبوع من المكوث في المرتفع المعين يستقر المستوى المرتفع في التنفس الرئوي (الشكل ٢) ويقلل التأقلم الطويل إزاء ظروف الهبوط البارومتري لهبوط الأوكسجين حساسية ميكانيكية المستقبل الكيمياوي لتنظيم التنفس إذ تضعف تأثير الانعكاسات على المركز التنفسي واستجابته إزاء مؤثرات هبوط الأوكسجين وهبوط ثاني أوكسيد الكربون.

وتشير الدراسات بأنه على مدى ٢٢ يوم في المكوث في مرتفعات تعلو ٤٣٠٠م ويساوي استهلاك الأوكسجين أثناء تأدية العمل كمية تراوحت بين ٢,٦-٢,٧ لتر/دقيقة.

وتعاقبت التجارب بعد مضي يوم من التنفس بالهواء الجوي والأكسجين التنفسي وعند العودة إلى ظروف المناطق المنبسطة ينبغي مرور بضعة أسابيع كي يمكن للتنفس الرئوي أن يبلغ مستواه الطبيعي.

مضاعفة الكفاءة التنافذية للرئتين

تتغير الكفاءة التنافذية للرئتين أثناء التأقلم الجبلي ببطء شديد ، وهكذا فبعد مضي ستة أشهر من الإقامة في مرتفع يبلغ علوه ٥٨٠٠ متر لا تلاحظ تغيرات ملحوظة في الكفاءة التنافذية للرئتين ، إضافة لذلك فإن الكفاءة التنافذية عند السكان الثابتين والذين يعيشون في المرتفعات العالية فترة طويلة تكون أكثر وضوحًا من سكنة المناطق المنبسطة، ويمكن للسطح العام للرئتين من أجل تنافذ الغازات عند الأشخاص الذين يعيشون فترة طويلة في المرتفعات أن يتضاعف بعض الشيء من خلال مضاعفة مساحة الحويصلات وحجم (سطح) الحويصلات الرئوية بفضل تمددها الدائم أي التوسع ، ويؤدي هذا إلى جعل غشاء الحويصلات الشعيرية أكثر رقة الأمر الذي يسهل تنافذ جزيئات الأوكسجين من خلاله ، كما أن تباطؤ جريان الدم خلال الأوعية الرئوية الموسعة يحسن الظروف لانتشار الأوكسجين.

يتسم السكان الدائمون في مناطق المرتفعات العالية بأن جميع السعات الرئوية (العامة والحيوية والمتبقية الوظائفية) وكذلك الحجم المتبقي للرئتين مضاعفة مقارنة بسكان المناطق المنبسطة.

التغير في منظومة الدم

توجه التغيرات التكيفية الأساسية في منظومة الدم نحو مضاعفة إمكانياتها لنقل الأوكسجين ، ويعتبر التأقلم إزاء المرتفعات كتكيف إزاء التوتر الجزئي المنخفض للأوكسجين وثاني أوكسيد الكربون في الدم وفي الأنسجة الأخرى ، ويعيق هبوط التنفس الكبير هبوط الضغط الجزئي للأوكسجين في هواء الحويصلات وبالتالي في الدم الشرياني ، ولكن درجة انخفاض التوتر الجزئي للأوكسجين في الدم الشرياني يلاحظ مباشرة عند الوصول إلى المرتفعات ، وتبقي ثابتة طيلة أسابيع عديدة من التأقلم ، أما عند المكوث القصير في المرتفعات فيستمر هبوط التوتر الجزئي لثاني أوكسيد الكربون في الدم إضافة لمضاعفة التنفس الرئوي ، ولكن نتيجة التأقلم الطويل المستمر فإنه يتضاعف، وهو ما يظهر سواء كان ذلك في ظرف الهدوء أو في زمن الأداء العضلي.

تجري استعادة التوازن الحامضي - القلوي في الدم وغيره في سوائل الجسم خلال بضعة أيام من وصول الفرد إلى المرتفعات بصورة تدريجية بفضل تعزيز إفراز القلويات (البيكربونات) من الدم خلال الكليتين مع البول وتنتهي عملية تنشيط إفراز البيكربونات من الدم، عندما يستعيد المؤشر PH قيمته الطبيعية (٧,٤٠) ، ويؤدي انخفاض القلاء إلى مواصلة التنشيط الرئوي.

إن انخفاض تركيز القاعدة الموازن (الاحتياطي القلوي) في دم الأشخاص الذين تأقلموا في المرتفعات الكبيرة يتخذ مؤشرًا سلبيًا، إذ تنخفض الكفاءة لمقاومة الأحماض التي تظهر أثناء العمل العضلي نتيجة تكوين (حامض اللبنيك) في الدم وخروجها منه ، ويمكن أن يكون ذلك أحد الأسس في هبوط كفاءة الأداء.

وينخفض تركيز الأسيد في الدم الشرياني عند تنفيذ حمولة غازية دون القصوى مع زيادة التأقلم إزاء الارتفاع ، كما أن تركيز الأسيد الأقصى في الدم للشخص المعين هو الآخر ينخفض بعض الشيء في عملية التأقلم في المرتفعات لفترة طويلة.

ويكون حجم البلازما في الدم في الأيام الأول للوصول في المرتفعات قد انخفض مقارنة بالحجم في المناطق المنبسطة لذا يزداد مؤشر هبوط الكريات الحمر ، ويتضاعف فكلما كان الارتفاع أعلى كلما كان فقدان البلازما أشد ، مثلاً بعد أسبوع من المكوث في مرتفع يبلغ علوه ٢٣٠٠ متر سينخفض حجم البلازما بمقدار يبلغ معدل ٨٪ في حين سيزداد هذا الانخفاض إلى ١٦٪ عند زيادة الارتفاع إلى ٤٣٠٠م ويزداد هبوط الكريات الحمر في الحالة الأولى بنسبة مقدارها ٤٪ وتركيز الهيموغلوبين هي ٦٪، ٢٠٪ على التتالي.

تعتبر بداية انخفاض حجم البلازما شاهدًا على نزع الماء نتيجة هبوط التنفس وتنشيط إفرازات العرق ، إن عدم شرب الماء بكميات كافية في الأيام الأول للمعيشة في الجبال يمكن أن ينشط نزع الماء لأنه خلال هذه المرحلة لا يوجد إحساس للعطش الشديد ، وينبغي تناول السوائل حتى في حالة انعدام الحاجة الذاتية للسوائل ، وتجري أثناء الوجود المستمر في المرتفعات عملية استعادة حجم البلازما المدورة إلى القيمة الأولية (في المناطق المنبسطة)، ويتطلب ذلك في ظروف الجبال متوسطة الارتفاع بضعة أشهر.

ويتضاعف تركيز الكريات الحمر والهيموغلوبين في الدم الأيام الأولى للمكوث في المرتفعات نتيجة التركيز الدموي الذي يسببه فقدان جزء من البلازما المجارية في أوعية خاصة ، ويؤمن التركيز الدموي الحفاظ على التركيز الطبيعي للأوكسجين في الدم الشرياني لذلك فهو يلعب دورًا أساسيًا في تكيف الجسم السريع لظروف هبوط الأوكسجين ، وفي الأيام الأول من الوصول إلى الجبال تنشط عملية تكون الكريات الحمر التي تقود إلى زيادة حقيقية في أعداد الكريات الحمر في الدم ، ويصبح هذا العدد ملحوظاً بعد مضي ٣-٤ أيام من المكوث في المرتفعات يزيد علوها عن ٣٠٠٠ متر، ويزداد عدد الكريات الحمر الشبكيات والكريات الحمراء ذات الأبعاد الكبيرة التي تدور في الدم إلى درجة مضاعفة العدد الإجمالي ، وبالتالي فإن تركيز الكريات الحمر في ارتفاع لا يتجاوز ٤٨٠٠ متر ترتبط بعلاقة خطية مع الارتفاع وطول فترة المكوث في الجبال ، وعند زيادة الارتفاع إلى ٦٠٠٠ متر تنخفض عملية تكوين الكريات الحمر. .

إن تركيز الكريات الحمر عند متسلقي الجبال بعد مضي أيام على مكوثهم في مرتفعات يزيد علوها عن ٧٠٠٠ متر يصل إلى ٨,٥ مليون ملم^{٣} ، أما عند السكان الدائمين في الجبال فإن هذا العدد يكون أكبر كلما كانت منطقة العيش أكثر علوًا .

الارتفاع (م) صفر	١٠٠٠	١٥٠٠	٢٥٠٠	٣٥٠٠	٤٥٠٠	٥٥٠٠	٦٥٠٠
تركيز الكريات الحمر (مليون/ملم^{٣})	٥,٣	٥,٥	٥,٨	٦,٢	٦,٦	٧,٣	٨,٢

ويتضاعف حجم الدم المدور نتيجة زيادة العدد الإجمالي.

إن التركيز الدموي الذي يحدث في بداية التأقلم في المرتفعات والزيادة الحقيقية لعدد الكريات الحمراء في الدم التي تحل مؤخرًا تؤدي إلى مضاعفة (هبوط الكريات الحمر) ولزوجة الدم والذي يؤدي بدوره إلى مضاعفة مقاومة الأوعية المحلية ويؤثر في الوقت نفسه على ديناميكية الدم ، إن التغير الطفيف في عدد الكريات الحمر لا يعطي تأثيرًا ملحوظًا في لزوجة الدم ، وأن الزيادة الكبيرة فقط في عدد الكريات الحمر التي يمكن ملاحظتها مثلًا عند سكان المناطق الجبلية المرتفعة جدًا يمكن أن تظهر تأثيرًا سلبيًا محدودًا في الدم المدور.

إن تكوين كمية إضافية من الهيموغلوبين في البداية يتأخر بعض الشيء مقارنة بمضاعفة عدد الكريات الحمر ، ولكن أثناء عملية التأقلم يتشرد ويزداد تركيز الهيموغلوبين في الدم وعليه تتضاعف السعة الأوكسجينية في الدم (الجدول ٤) .

جدول رقم (٤)

مؤشرات الدم في حالة الهدوء عن الأفراد المتأقلمين في ارتفاعات مختلفة

الارتفاع / متر	OUR ملم/كغم وزن الجسم	تركيز الهيموغلوبين غ ٪	السعة الأوكسجينية للدم ٪	تشبع الدم بالأوكسجين ٪	تركيز الأوكسجين في الدم الشرياني ٪
صفر مستوى سطح البحر	٧٩,٦	١٥,٣	٢٠,٠	٩٧	٢٠,٠
٣١٠٠	٨٣,٠	١٦,٨	٢٢,٥	٩١	٢٠,٥
٣٦٠٠	٩٦,٠	١٨,٨	٢٥,٢	٨٧	٢١,٩
٤٦٠٠	١٠٤,٠	٢٠,٧	٢٧,٨	٨١	٢٢,٤
٦٥٠٠	–	٢٤,٨	٣٣,٢	٦٥	٢١,٧

أما معدل تركيز الهيموكلوبين وعدد الكريات الحمر لا يتغير في هذه الحالة ، كما تساعد مضاعفة تركيز الهيموغلوبين في الاحتفاظ بالتركيز الطبيعي وربما أكثر بعض الشيء للأوكسجين في الدم الطبيعي رغم انخفاض نسبة التشبع بالأوكسجين.

تحدث زيادة عدد الكريات الحمر وتركيز الهيموغلوبين في ظروف الجبال ذات الارتفاع المتوسط بصورة بطيئة جداً ، ويكون هذا العدد أكبر كلما كان الارتفاع أعلى وفترة المكوث منه أطول ، أما تركيز الهيموكلوبين في المرتفعات الشاهقة في الدم فتزداد بسرعة وبصورة ملحوظة ، وتشكل عند السكان الدائمين كمية تتجاوز ٢٠غ٪ ، ولكل ٣٠٠ متر زيادة في الارتفاع يتضاعف مقابلها تركيز الهيموكلوبين في الدم بمعدل ٢,٠٪ عند الرجال و١,٨٪ عند النساء.

ينحرف منحني أكسدة الهيموغلوبين المتفكك أثناء عملية التأقلم الجبلي نحو اليمين مما يفسح المجال لتأمين تموين الأنسجة بالأوكسجين ، وتتجلي أهمية ذلك خصوصًا في العضلات العاملة، ولعل إحدي ميكانيكية هذا الانحراف يمكن أن تكون مضاعفة التركيز في كريات الدم الحمر ، وهو ما يلاحظ عند الأفراد الذين يعيشون بصورة دائمة في المناطق الجبلية ، ولكن حتى بعد التأقلم التام في المرتفعات تبقى عملية تموين الأنسجة بالأوكسجين تنطوي على صعوبات وخاصة في حالات العمل العضلي الشديد نتيجة انخفاض الإجهاد الجزئي للأوكسجين في الدم الشرياني . (الجدول ٥) .

جدول رقم (٥)

مؤشرات الدم في حالة الهدوء في ارتفاعات مختلفة

الارتفاع / متر والضغط البارومترى ملم/زئبق	الظروف ٪	تركيز الهيموغلوبين للأوكسجين الشريانى	الضغط الجزئى للأوكسجين الشريانى ملم / زئبق	التشبع ٪ للدم الشريانى بالأوكسجين	تركيز الأوكسجين في الدم الشرياني ٪
صفـــر (٧٦٠)	الهدوء القصوى	١٥,١	١٠٥	٩٧	١٩,٦
	القائمة		٩٨	٩٦	١٩,٤
٢٣٠٠ (٥٨٠)	الهدوء القصوى	١٦,٦	٧٥	٩٣	٢٠,٦
٣١٠٠ (٥٢٠)	الهدوء القصوى	١٧,٢	٦٧	٨٠	٢٠,٧
	القائمة		٥٧	٧٥	١٩,٦
٤٣٠٠ (٤٢٠)	الهدوء القصوى	١٨,٢	٤٦	٧٠	٧,١
	القائمة				

التغيير في منظومة الدورة الدموية

يكون الطرح القلبي عند أداء عمل غازي قريب من حدوده العظمى في الأيام الأول من الوصول إلى الجبال أكبر مما عليه عند مستوى سطح البحر ، ومن ثم يبدأ بالانخفاض التدريجي خلال بضعة أسابيع إلى أن يبلغ تلك القيمة التي تتسم بها ظروف المناطق المنبسطة، ويحدث انخفاض الطرح القلبي متزامنًا مع مضاعفة السعة الأوكسجينية للدم (تركيز الهيموغلوبين) ويكون خلال الحمولات الصغيرة نسبيًا مرتفعة بعض الشيء في الفترة الأولى من الإقامة في الجبال ولكن في المراحل المتأخرة للتأقلم تصبح كما هي عليه في ظروف مستوى سطح البحر ، أما عند تنفيذ أعمالاً ذات قدرة كبيرة جدًا فإن هذه القيمة يمكن أن تكون عند الأشخاص المتأقلمين أقل مما هي عليه في المناطق المنبسطة.

ولا يتغير الطرح القلبي الأعظم في ظروف المرتفعات المتوسطة في البداية ولكن مع مضي الوقت في الجبال يأخذ بالانخفاض لبعض الشيء ، الأمر الذي يعد كنتيجة لانخفاض الحجم الانقباضي لأن القيمة القصوى تبقى عادة بلا تغيير وفي الوقت نفسه فإن الطرح القلبي الأعظم في المرتفعات العالية ينخفض بصورة ملحوظة.

وتكون المقاومة المحلية للأوعية عند سكان المناطق المنبسطة الذين تأقلموا للعيش في المرتفعات منخفضة بعض الشيء ويعتبر هبوط الأوكسجين مؤثرًا لتوسيع الأوعية التاجية في الدماغ وغيرها من الأوعية الأخرى ، وإذا لم يكن هنالك توسع تعويضي لزيادة حجم الدم فإن مضاعفة لزوجيته وانخفاض تشبعه بالأوكسجين سيشكلان حمولة كبيرة جدًا في عمل القلب ويكون الضغط الشرياني عند سكنة الجبال المرتفعة الدائمين أقل بعض الشيء مما هو عليه عند سكنة المناطق المنبسطة ، فعند الأشخاص الذين يعيشون في مناطق يتجاوز ارتفاعها ٣٠٠٠م يحدث ارتفاع في ضغط الدورة الدموية الصغرى بمقاومة كبيرة في أوعيتها وتوسع في البطين الأيمن ، وهذا يؤمن علاقة أكثر انتظامًا بين التنفس ونفاذ السوائل في الرئتين مما يقلل التباين في ضغط الأوكسجين بين هواء الحويصلات والدم الشرياني ، إن التغيرات المشار إليها تختفي تدريجيًا حال العودة إلى المناطق المنبسطة.

التكييف النسيجي

توجه التغيرات الأساسية في الأنسجة التي تحدث في ظروف هبوط التوتر الجزئي للأوكسجين نحو مضاعفة فاعلية الحصول على الأوكسجين واستنفاذه لتكوين الطاقة الغازية وتتلخص هذه التغيرات التكيفية بالآتي:

- تعزيز الشعيرات النسيجية (مضاعفة عدد كثافة الشعيرات) مضاعفة تركيز الهيموكلوبين في العضلات الهيكلية.

- بمضاعفة تركيز الحبيبات الفتيلية (**mitochondrium**) مضاعفة تركيز ونشاط الأنزيمات المؤكسدة.

وتتطلب هذه التغيرات على عكس الميكانيكية التكيفية الفسلجية المنوه عنها وقتًا طويلًا، لذلك فهي يعثر عليها فقط عند السكان اللذين يمكثون طويلًا في مرتفعات شاهقة ، إن الزمن الأمثل للتأقلم منسوبًا إلى المعيشة الطويلة في الجبال هي مرحلة نمو وتطور الطفل.

تغير س.ع.ك. (الاستهلاك الأعظم للأوكسجين)

مع مرور الزمن في التأقلم عادة ما يتضاعف (س ع ك) بحيث أنه عندما تمضي بضعة أسابيع على البقاء في المرتفعات حتى يصبح أكبر مما كان عليه في الأيام الأول وتبدو هذه الزيادة وضوحًا في المرتفعات المتوسطة مما هي عليه في المرتفعات الشاهقة ، فبعد مضي فترة ٣-٥ أسابيع من المكوث في المرتفعات المتوسطة يشكل انخفاض (س ع ك) نسبة لا تتجاوز ٦-١٦٪ مقارنة بقيمته في المناطق المنبسطة ، إن انخفاض قيمة (س ع ك) لدرجة واحدة من هبوط الأوكسجين يكون عند سكان الجبال أقل مما هي عليه عند الأشخاص الذين يسكنون في الجبال وهم من سكان المناطق المنبسطة ، كما أن التدريب في المرتفعات وعملية التأقلم في الجبال تزيد من (س ع ك) عند الأفراد المتدربين في الجبال أكبر من الأفراد غير المتدربين ، ولكن حتى في حالة التأقلم النشط المتواصل تبقى قيمة (س ع ك) في الجبال أقل مقارنة بالقيمة الأولية لهذه المؤشرات في المناطق المنبسطة عند مستوى سطح البحر ، وتجدر الإشارة إلى أن الرياضيين من ذوي المهارات العالية انخفضت قيمة (س ع ك) بنسبة ١٤٪ عند وصولهم مدينة المكسيك (على ارتفاع ٢٣٠٠ متر) وبعد مضي ١٩ يومًا يشكل الانخفاض في القيمة ٦٪ مقارنة بالقيمة الأولية (س ع ك) وبلغ معدل انخفاض (س ع ك) عند ثمانية رياضيين يحملون لقبًا دوليًا ١٦٪ (تراوح الانخفاض الشخصي بين ٢٢,٩٪) وبعد مضي ١٩ يومًا انخفضت بنسبة ١١٪ (ويتراوح الانخفاض بين ١٦,٦٪) وحتى الأشخاص الذين يقطنون الجبال بصورة دائمة من الرياضيين المتدربين يحتفظون بقيمة منخفضة (س ع ك) في ذلك الارتفاع مقارنة عند مستوى سطح البحر ، فمثلًا لقد كانت قيمة (س ع ك) عند الرياضيين من سكنة المرتفعات ذات علو ٣١٠٠ متر بصورة دائمة أقل بنسبة ٢٧٪ من قيمته عند مستوى سطح البحر.

ويساعد في ارتفاع قيمة (استعادة) (س ع ك) في المرتفعات آليات متنوعة لتكييف تعويضي في ظروف هبوط الأوكسجين : تنشيط التنفس الرئوي ، مضاعفة الكفاءة التنافذية للرئتين ، زيادة السعة الأوكسجينية في الدم ، والحجم الإجمالي للدم المدور ، والطرح القلبي، وتقوية الخاصية الشعيرية للعضلات الهيكلية وعضلة القلب ، ومضاعفة تركيز الهيموكلوبين في العضلات الهيكلية والحبيبات في الخلايا العضلية ، وزيادة نشاط الأنزيمات المؤكسدة،

وعند ذلك .. وعندما يعود الإنسان إلى المناطق المنبسطة فهو يفقد على مدى بضع أسابيع تدريجيًا ذلك التكيف في ظروف الهبوط البارومتري لنقص الأوكسجين.

كفاءة الأداء الرياضي

في المرتفعات المتوسطة وبعد العودة إلى مستوى سطح البحر تنخفض كفاءة الأداء البدنية للإنسان عند صعود المرتفعات ويشمل هذا بصورة أساسية كفاءة كفاءة الغازية (المطاولة) إذ يؤشر انخفاضها بدءً من علو ١٢٠٠م. ولا يوجد في هذا المجال فرق بين الأشخاص المتدربين وغير المتدربين ، حيث تنخفض كفاءة الأداء عند هؤلاء الرياضيين لحظة وصولهم الجبال بكمية متساوية تقريبًا مقارنة بمستوى المناطق المنبسطة كما يلاحظ تأثير المرض الجبلي بدرجة أكثر وضوحًا مما هو عند الرياضيين.

كفاءة الأداء الرياضي عند تنفيذ

تمارين القوة المميزة بالسرعة (اللاأوكسجينية)

إن القوة العضلية وكذلك الحركة التنسيقية خلال الجهود القصوى القصيرة لا تتغير عمليًا عند الصعود إلى المرتفعات أو عند استنشاق مزيج من الغاز يحتوي على تركيز واطئ من الأوكسجين ، لذا ففي التمارين الرياضية غير الطويلة لا تتجاوز الدقيقة الواحدة (القوة المميزة بالسرعة) لا يلاحظ انخفاض واضح في النتائج مقارنة بالمناهج المنبسطة ، إضافة لذلك ففي المرتفعات وبسبب هبوط كثافة الهواء فيمكن أن تكون النتائج للمسافات القصيرة (وخاصة في ركوب الدراجات) أعلى مما عليه في مستوى سطح البحر ، ولكن ينبغي الأخذ بعين الاعتبار أن عملية الاستعادة في الجسم تجري في المرتفعات بصورة بطيئة لذلك فإن إعادة تنفيذ التمارين حتى وإن كانت قصيرة في هذه الظروف تسبب حصول إرهاق سريع وهبوط في كفاءة الأداء مما عليه في السباقات التي تنفذ في المرتفعات في أنواع القوة المميزة بالسرعة ، وكذلك في التمارين التنسيقية لا توجد في هذا الارتفاع حاجة لتأقلم أولي منخفض يقوم به الرياضي في هذا الارتفاع ، وإذا لم يعان الرياضي من المرض الجبلي فعندئذ يمكن انتخاب زمن مكثه من أجل المنافسات اختياريًا .

كفاءة الأداء الرياضي

عند تنفيذ التمارين من أجل المطاولة

إن كفاءة الأداء البدنية للرياضيين المتخصصين في المطاولة التي تزيد عن دقيقة كاملة بأنها في المرتفعات أقل مما هي عليه في مستوى سطح البحر، ويستثني من ذلك التمارين

القصيرة نسبيًا حيث يؤثر على نتائجها التأثير الكبير لقيمة مقاومة (كثافة الهواء) ، إن هبوط الإمكانيات الفسلجية للرياضيين في هذه التمارين يعوض عنه من خلال تحسين ميكانيكية ظروف تنفيذها .

وفي بعض الحدود يكون انخفاض النتائج أكثر شدة كلما كانت مسافة السباق أطول وكلما كان الارتفاع عاليًا كلما كان هبوط كفاءة الأداء البدنية الغازية التي تجري بصورة موازية مع انخفاض أشد ، ويعتبر انخفاض النتاجية الغازية السبب الأساسي في انخفاض المطاولة في المرتفعات واستنادًا لهبوط كفاءة الأداء فإن تحمل الحمولات التدريبية المكثفة تنخفض في المرتفعات ، ومع تطور آليات تكيف جسم الإنسان إزاء هبوط الأوكسجين في المرتفعات تتحسن كفاءة الأداء البدنية بصورة طفيفة لذلك المرتفع ، وهنا يتطلب التكيف لتنفيذ تمارين استمرارية أطول في المرتفعات تأقلمًا أطول ومن أجل بلوغ نتيجة جيدة في ارتفاع ٢٠٠٠ متر وأكثر في تمارين ذات قدرة قصوى وقريبة من القصوى يجب أن تكون فترة التأقلم أقصر ما يمكن (٢-٣ أسابيع) أما المكوث اللاحق في ظروف المرتفعات المتوسطة فإنه سيحسن قليلًا جدًا كفاءة الأداء الغازية ، لذا فهو غير مجدي أن الأشخاص المتدربين بصورة جيدة لا يتأقلمون إزاء المرتفعات العالية بصورة أسرع أشد كفاءة من الأشخاص الذين لم يتدربوا ويؤثر الارتفاع على كفاءة أداء سكان الجبال الدائمين كما يؤثر على كفاءة أداء سكان المناطق المنبسطة ، إن النتائج الرياضية التي يظهرها السكان الدائمون في المناطق الجبلية شأنها شان النتائج الرياضية عند سكان المناطق المنبسطة فهي تنخفض في المرتفعات كلما زادت مسافة السباق (زمن الأداء) مقارنة بالنتائج في المناطق المنبسطة.

تأثير التدريب في ظروف المرتفعات المتوسطة على كفاءة الأداء في ظروف المرتفعات عند مستوى سطح البحر

يتضح مما تقدم أن التكيف إزاء هبوط الأوكسجين في المرتفعات يسبب تغيرًا فسلجيًا ينسجم في الكثير من العلاقات مع ما يحدث أثناء عملية التدريبات من أجل المطاولة عند مستوى سطح البحر ، وفي جميع الحالات تتضاعف الإمكانية الغازية للجسم التي ترتبط بإمكانية في نقل الأوكسجين وكفاءة النسيج (في العضلات العاملة) في إنفاق الأوكسجين لنواتج الطاقة الغازية وهنا يتبع التساؤل الآتي: هل يمكن للتدريب في المرتفعات أن يسبب تغيرات فسلجية إضافية من شأنها أن تعزز النتاجية وكفاءة الأداء الغازية البدنية (المطاولة) عند الرياضيين في المناطق المنبسطة ؟ وبصيغة أخرى هل تتضاعف كفاءة الأداء في مستوى

سطح البحر بعد الوصول إلى المرتفعات وهل أن التدريب في المرتفعات أكثر كفاءة من التدريب نفسه عند مستوى سطح البحر؟

فالبيانات العملية المتعلقة بتأثير العيش والتدريب في المرتفعات التى تهدف إلى مضاعفة المطاولة في ظروف المناطق المنبسطة متناقضة كثيرًا ، وليس هناك أدنى شك بأن السكان الدائمين في الظروف الجبلية يمتلكون ميزة في سباق المطاولة إذا هو جرى في تلك الظروف نفسها مقارنة بالرياضيين الذين يسكنون بصورة دائمة في مستوى سطح البحر ، وأثناء تنفيذ العمل الغازي الأعظم في مرتفعات متوسطة فإن سكان الجبال الدائمين يتصفون بسعة أوكسجينية كبيرة جدًا في الدم وكذلك طرحًا قلبيًا أكبر مما عليه عند سكان المناطق المنبسطة الذين هم بمستوى التدريب نفسه ، من جهة أخرى فإن السكن الدائم أو لفترة طويلة في المرتفعات العالية لا يعطي مزية بالنسبة للمطاولة الغازية التي تظهر في المناطق المنبسطة فالسكن والتدريب المكثف للرياضيين المتدربين وبصورة جيدة في المرتفعات المتوسطة خلال بضعة أسابيع لا يعطي دائمًا تأثيرًا إضافيًا ، وحتى أن البقاء المستمر في المرتفعات الشاهقة لا يظهر تأثيرًا مضمونًا في مستوى كفاءة الأداء الغازية للمناطق المستوية.

عند تحليل تأثير الاستعداد في المناطق متوسطة الارتفاع في نتائج المشاركة في ظروف المناطق المنبسطة لابد من الأخذ بعين الاعتبار المتغيرات الذاتية الجوهرية ، ويؤدي هذا الإعداد عند الفريق الأول من الرياضيين إلى مضاعفة النتائج وعند آخرين إلى هبوط النتائج وعند فريق ثالث لا يؤدي إلى تأثير ملحوظ ، إضافة لذلك فمن المهم الأخذ بالحسبان أن الحالة الوظيفية وكفاءة الأداء الرياضية في مرحلة إعادة التأقلم تحمل طابعًا طوريًا واضحًا ، فمضاعفة كفاءة الأداء الرياضية تتناوب مع هبوطها المؤقت، وفيما يبدو أن التنظيم المتخصص للعملية التدريبية في الظروف الجبلية وكذلك فترة إعادة التأقلم تلعب دورًا هامًا في مضاعفة كفاءة أداء المناطق المنبسطة التى تظهر في الجسم خلال عملية المكوث الطويل في الظروف الجبلية كتغيرات تكيفية تساعد في مضاعفة كفاءة الأداء في هذه الظروف البدنية المتخصصة ، وإضافة لذلك فإن هذه التغيرات لا تعطي أفضلية ملحوظة عند أداء هذه الأعمال في ظروف البدنية المتخصصة الأخرى وفي الأخص عند مستوى سطح البحر.