



تكيفات التدريب الرياضي في المرتفعات

Adaptation de l'entraînement en altitude



1- الظروف و الشروط المحيطية

Les conditions ambiantes

من اجل فهم تأثير الارتفاعات على التفوق الرياضي، يجب تحديد الانعكاسات الخاصة بالمرتفعات على المحيط

1-1 الضغط الجوي في المرتفعات

La pression atmosphérique en altitude

يكون الهواء ثقيل في المرتفعات، بحيث يعمل الضغط الجوي مباشرة بثقل الهواء الموجود في المنطقة ، مثال على مستوى سطح البحر الطبقة الجوية تكون ذات عرض يصل إلى 38,6 كلم مع ضغط جوي مقدر بـ760 مم زئبقي وفي أعلى قمة على سطح الأرض إيفرست (8848م) ضغط الهواء لا يتجاوز 250 مم زئبقي . في قمة إيفرست الضغط الجوي المتوسط يصل من 243 مم ز في شهر جانفي إلى 255 مم ز في شهر جوان و جويلية ، وفي المرتفعات تبقى دائما نسبة الأكسجين 20,93 %، 0,03 % ثاني أكسيد الكربون، 79.04% أوزون، بحيث يختلف الضغط الجزئي للغازات فقط.

Différences de condition atmosphérique entre le niveau de la mer et 9000 m en d'altitude.

لا يبقى مستوى الضغط الجوي ثابت بحيث يمكن أن يتغير ، على مستوى قمة إفرست الضغط الجوي المتوسط يكون حوالي مم زئقي 243 في شهر جانفي ويصل إلى 255 مم زئقي في شهر جوان و جويلية كما يرتفع الضغط الجوي جزئيا عند الاقتراب من خط الاستواء .

Altitude (m)	0 (niveau de la mer)	1000	2000	3000	4000	9000
PB (mmHg)	760	674	596	526	462	231
PO2 (mmHg)	159,1	141,1	124,7	110,0	96,7	48, 3
Température (C°)	15	9	2	5-	11-	43-

2-1 درجة حرارة الهواء في المرتفعات La température de l'aire en altitude

تنخفض درجة حرارة الهواء حوالي 1 درجة كلما ارتفعنا بـ 150م ، حيث تتراوح درجة الحرارة المتوسطة في قمة إيفرست -40 درجة مئوية أما على مستوى سطح البحر تصل إلى 15 درجة ، في المرتفعات مستوى الرطوبة ينخفض مع انخفاض مستويات الحرارة. الهواء بارد يحتوي على كميات قليلة من الماء. الضغط الجزئي للماء عند درجة 20° يكون حوالي 17 مم زئبقي ولكن عند أقل من -20° ينخفض الضغط إلى حوالي 1مم زئبقي . انخفاض مستوى الرطوبة في الارتفاعات ينتج عنه زيادة في فقدان الماء (جفاف الجسم) بسبب عملية التبخر التنفسي نظرا لأن الهواء المتنفس أكثر جفافا مع مستويات مرتفعة للتنفس. الهواء الجاف يرفع كذلك من عملية التبخر العرقي في حالة التمرينات المنجزة .

3-1 الأشعاع الشمسي في المرتفعات Les Rayonnement solaire en altitude

- ترتفع شدة الإشعاع الشمسي في المرتفعات نظرا لسببين :
- نقصان امتصاص الأشعة الفوق بنفسجية عند الاقتراب من مصدر الإرسال
 - يفتقر الهواء إلى بخار الماء والذي له دور في امتصاص كمية قليلة من هذه

2-الاستجابات الفزيولوجية في المرتفعات Les repenses physiologique en altitude

1-2 الاستجابات التنفسية في المرتفعات Les réponse respiratoires en altitude

أ- التهوية الرئوية A- la ventilation pulmonaire

ترتفع التهوية الرئوية في المرتفعات وهذا سواء في الراحة أو أثناء أداء التمرينات ، المستقبلات الكيميائية في الشريان الابهر أو الشريان السباتي تحفز بسبب انخفاض الضغط الجزئي للأكسجين PO_2 وهذا يؤدي بوصول رسائل إلى مركز التنفس في الدماغ ، و نظرا لانخفاض في جزيئات الأكسجين في الهواء، بالتالي يجب الزيادة في حجم الهواء المتنفس بزيادة في التهوية الرئوية لتحقيق نفس الكمية على مستوى سطح البحر . هذه الزيادة في عملية الهواء تهدف إلى التخفيض في نسبة أكسيد الكربون في الحويصلات بحيث يرتفع الفرق الشرياني الوريدي بين الحويصلات والشعيرات الرئوية مما يؤدي إلى انخفاض في أكسيد الكربون في الدم و الضغط الجزئي، أي تسهيل إزالة أيونات H^+ .

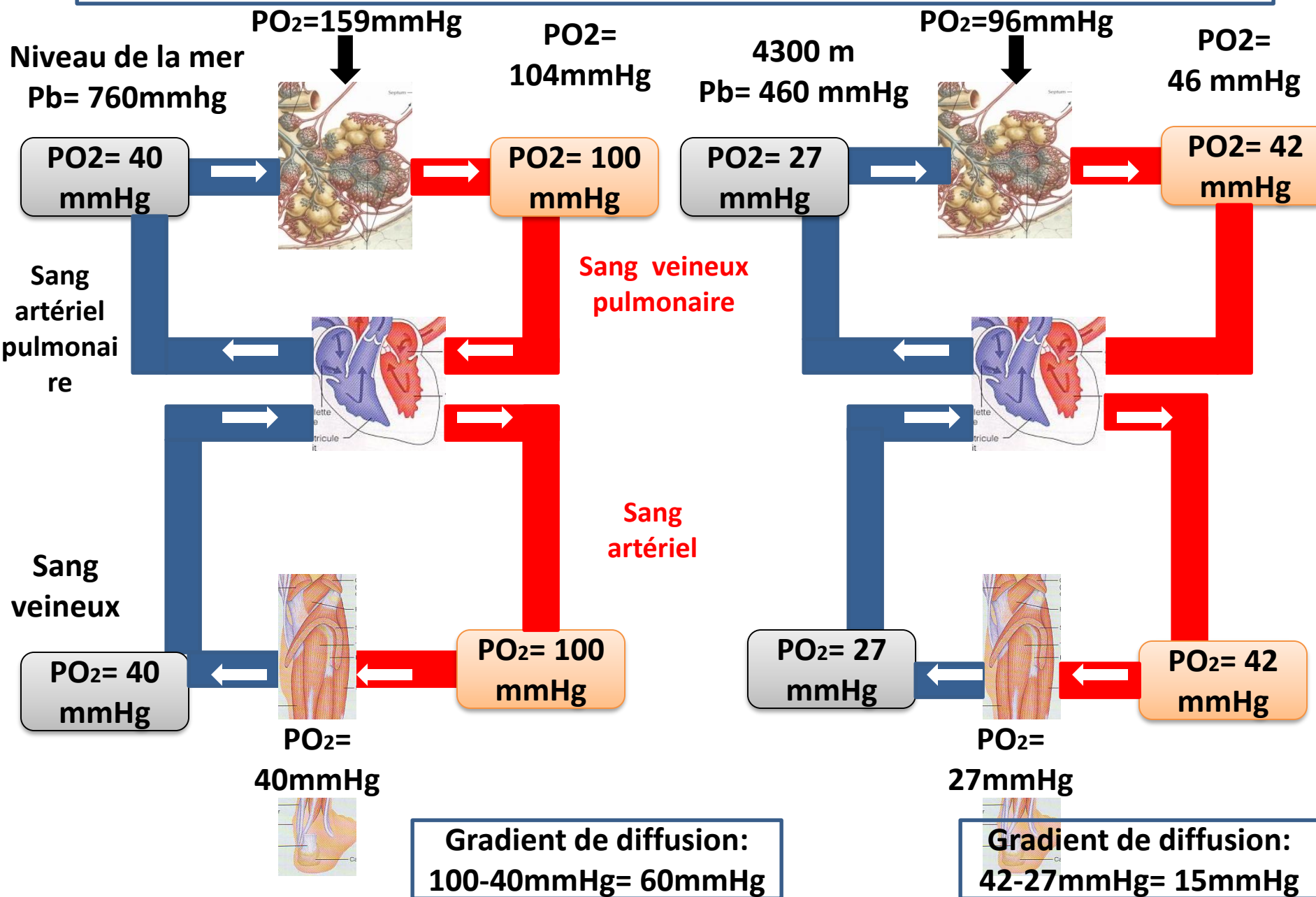
ب- الانتشار الرئوي ونقل الأوكسجين

B- la diffusion pulmonaire et le transport de l'oxygène

يتراوح الضغط الجزئي للأوكسجين في على مستوى سطح البحر حوالي 159 مم زئبقي بحيث ينخفض إلى 118 مم ز عند ارتفاع 2439 م، التدرج في الضغط الجزئي بين الحويصلات و الشعيرات ينخفض مما يؤدي إلى نقصان في شدة المبادلات الغازية في هذا المستوى، بحيث أن نسبة تشبع الهيموغلوبين بالأوكسجين تصل إلى 98% على مستوى سطح البحر ولا تتجاوز 92% عند ارتفاع 2439م.

في المرتفعات انخفاض الضغط الجزئي للأوكسجين في الحويصلات يؤثر على مستوى تشبع الهيموغلوبين بالأوكسجين، على مستوى سطح البحر من أجل ضغط جزئي للأوكسجين 104مم زئبقي نسبة تشبع الهيموغلوبين تصل إلى 96-97% . في المرتفعات 4300 و بالرغم من انخفاض PO_2 على مستوى الحويصلات 46 مم زئبقي تنخفض نسبة التشبع إلى 80%، بالرغم من انخفاض الضغط الجزئي للأوكسجين تبقى مستويات تشبع الهيموغلوبين نوعا ما مرتفعة.

Comparaison de pression partielle en oxygène dans l'air inspiré et à l'intérieure des tissus entre le niveau de la mer et 4300 m d'altitude



ج-المبادلات الغازية العضلية

C- les échanges gazeux musculaires

على مستوى سطح البحر الضغط الجزئي للأكسجين يصل إلى 100 مم ز داخل الحويصلات و الضغط الجزئي النسيجي يصل إلى 40 مم ز ، التدرج في الضغط الجزئي بين الوسط الشرياني و النسيجي يتراوح إلى 60 مم ز، و في المرتفعات 4300م الضغط الجزئي PO₂ الشرياني يساوي حوالي 46 مم ز و الضغط النسيجي حوالي 27 مم ز، التدرج في الضغط بين الوسطين يصل إلى 20 مم ز بنسبة انخفاض تقدر بـ70%، المبادلات الغازية تكون عن طريق التدرج في الضغط ، رئيسيا الانخفاض في الضغط الجزئي للأكسجين في الجهاز الشرياني يؤدي إلى انخفاض في VO₂ max، أو انخفاض نسبة تشبع الهيموغلوبين بالأكسجين.

د-الاستهلاك الأقصى للأكسجين

D- la consommation maximale d'oxygène

بالنسبة لمتسلقي الجبال في قمم إيفرست سنة 1981 سجلت قيم لـ VO2 max بحيث ينخفض من 62 مل اكغاد على مستوى سطح البحر إلى 15 مل اكغاد في قمم جبال إيفرست، هذه القيمة للأكسجين تسمح بتنفيذ محدود للتمرينات البدنية ، كما أوضح (pugh et coll) على مستوى سطح البحر قيمة VO2 max الابتدائية 50 مل اكغاد، ومن أجل العيش في قمم إيفرست لا يتجاوز الحد الأقصى للأكسجين المستهلك 5مل اكغاد و هذا لا يكاد يكفي من أجل حياة طبيعية مع نشاط بدني منخفض، و في أقل من 1600 م يمكن أن تؤثر المرتفعات على VO2 max و التحمل، في هذا الارتفاع ينخفض الحد الأقصى للأكسجين المستهلك من 8 % إلى 11% في كل 1000 م .



2-2 استجابات الجهاز القلبي الوعائي في المرتفعات

Les réponse cardiovasculaires en altitude

لا تؤثر المرتفعات على الجهاز التنفسي فقط بل إنها قد تؤثر أيضا على الجهاز القلبي الوعائي وهذا بظهور مجموعة من التكيفات نتيجة انخفاض الضغط الجزئي للأكسجين في المرتفعات

أ- حجم الدم

A – le volume sanguin

في الساعات الأولى التي تتبع الوصول إلى المرتفعات، ينخفض الحجم البلازمي للدم و هذا راجع إلى عملية إفراغ البول، وزيادة فقدان الماء عند التنفس راجع ذلك إلى جفاف الهواء من جهة وزيادة عملية التهوية، هذا الانخفاض في الحجم البلازمي قد يصل إلى 25%. و هذا دون التغير في عدد الكريات الدموية الحمراء، هذا النقص في الحجم البلازمي يصاحبه نقص أولي في حجم الدم الكلي مع زيادة في الكسر الحجمي للكريات الحمراء (hématocrite)،

عند طول مدة التوضع في المرتفعات يحفز إفراز هرمون (l'érythropoïétine) من طرف الكلى و هو هرمون يحفز إنتاج (érythrocytes) كريات الدم الحمراء، مما يرفع من نسبتها في كل 1مل من الدم، يصاحب ذلك زيادة في نقل و توفير الأكسجين على مستوى الأنسجة. هذه الزيادة ينتج عنها تدريجيا زيادة في الحجم البلازمي للدم وتعويض انخفاض الضغط الجزئي للأكسجين.

ب- حجم الضربة B – le débit cardiaque

إن الانخفاض في الضغط الجزئي للأكسجين في الدم يخفض من التدرج في الضغط الجزئي بين الدم والأنسجة و يحدد نقل الأكسجين و توفيره على مستوى الأنسجة و العضلات ، نظريا يمكن تعويض ذلك بزيادة في حجم الضربة، تؤدي المرتفعات سواء في الراحة أو التمرينات البدنية إلى زيادة في حجم الضربة.



يرتفع النبض القلبي عند مستوى التمرينات البدنية تحت قصوى في المرتفعات مقارنة بمستوى سطح البحر، على العكس ينخفض حجم الدفع القلبي بسبب انخفاض الحجم البلازمي للدم، ومن حسن الحظ أن الزيادة في النبض القلبي يمكن أن تعوض النقص في حجم الدفع القلبي و بالتالي الزيادة التدريجية في حجم الضربة، كل هذه العوامل تؤدي إلى حمولة زائدة في العمل على القلب بحيث لا تستمر لفترة طويلة، بعد مدة من الأيام تصبح العضلات أكثر قدرة على نزع الأكسجين مع زيادة في الفرق الشرياني الوريدي للأكسجين هذا ما يخفض من عمل القلب بالتالي نقص في النبض القلبي بعد مدة من التواجد في المرتفعات. بعد أيام ينخفض حجم الضربة مما كان عليه في الأيام الأولى عند التواجد في المرتفعات.

بالنسبة للمرتفعات الأكثر علو، حجم الدفع القلبي الأقصى و النبض القلبي الأقصى ينخفضان بشكل ملاحظ، بالنسبة لحجم الدفع القلبي ينخفض نظرا لنقصان في الحجم البلازمي، أما للنبض القلبي الأقصى راجع إلى نقصان في نشاط الجهاز العصبي السمبثاوي (انخفاض في عدد أو نشاط مستقبلات β القلبية،

catécholaminergique) هذا ما يخفض من حجم الضربة الأقصى ومن جهة أخرى مع نقصان في تدرج انتشار الأوكسجين بين الشعيرات و الأنسجة، يؤثر ذلك على الحجم الأقصى للأوكسجين و القدرات البدنية ككل . رئيسيا التواجد في المرتفعات يؤدي إلى نقص في توفير و توزيع الأوكسجين في العضلات مع نقص في قدرة الجسم على إنجاز تمارين بدنية هوائية بشدة مرتفعة.

ج- ارتفاع الضغط الشرياني الرئوي

C- l'hypertension Artérielle pulmonaire

في المرتفعات يرتفع الضغط في الشرايين الرئوية بصورة ملاحظة عند أداء التمارين بالنسبة للأشخاص الذين لديهم تكيف أو لا، الآلية المسئولة عن هذا الارتفاع غير محددة إلى حد الآن، وضع من المحتمل أن يكون هناك تحولات بنيوية في جدران الأوعية الدموية الرئوية استجابة لانقباض العروق vasoconstriction hypoxique نظرا لنقص الأوكسجين في الدم، إن الزيادة في الضغط الشرياني الرئوي و التهوية الرئوية يؤدي إلى زيادة في تدفق الدم على مستوى الرئتين مما يسمح بالرفع من مساحة المبادلات بين الهواء و الدم .

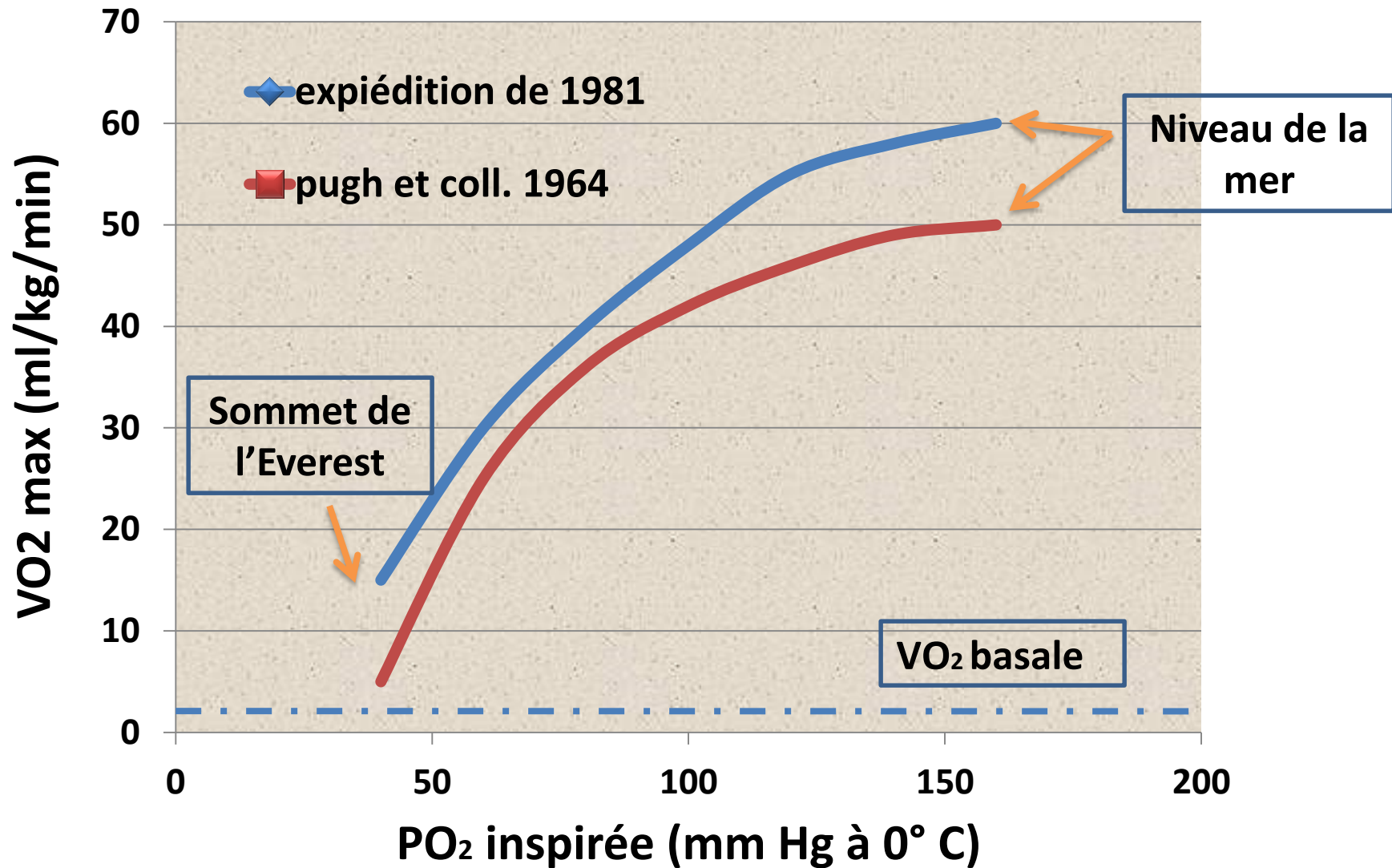
د- التكيفات الأيضية في المرتفعات

Les adaptations métaboliques à l'altitude

التوضع في المرتفعات يرفع من مستوى العمليات الأيضية في الراحة مع تحفيز إفراز بعض الهرمونات مثل الثيروكسين و الكاتي كولامين، في نفس الوقت حدوث اضطراب في الشهية عند الأيام الأولى. في حالة عدم الاكتفاء من المواد الغذائية يؤدي ذلك إلى فقدان الوزن، بالنسبة للأشخاص الذين يحافظون على الوزن يرفعون من مستوى المواد السكرية في الراحة.

انخفاض إمكانات الأكسدة في المرتفعات، يصاحبه استخدام متزايد لعمليات الهدم اللاهوائية في المرتفعات وهذا من أجل تحقيق الاكتفاء لزيادة المتطلبات الطاقوية عند أداء التمرينات، مما يلاحظ زيادة في تركيز الدم لحمض اللبن عند التمرينات البدنية التحت قصوى في الأيام الأولى، وفي حالة طول مدة التوضع في المرتفعات تبقى مستويات تركيز حمض اللبن منخفضة على ما هو ملاحظ عند مستوى سطح البحر حتى عند التمرينات البدنية القصوى .

VO₂ max en fonction de la PO₂ de l'air inspiré



3- التكيف والتأقلم في المرتفعات 3- acclimatation a l'altitude

بالنسبة للأشخاص الذين لهم عدة أسابيع في المرتفعات يتأقلم الجسم لنقص الضغط الجزئي للأكسجين، ومهما كانت هذه التكيفات لا تسمح بالتعويض الكلي للنقص الحاصل في الأكسجين. و حتى بالنسبة للأشخاص المتميزين بالتحمل مع البقاء لمدة طويلة في المرتفعات لا يصلون أبداً لنفس المستوى لحجم الأكسجين الأقصى مثل ما هو على مستوى سطح البحر. هذه التأقلمات تكون على مستوى الدم، العضلات، الجهاز القلبي التنفسي.

3-1 Adaptations respiratoires التكيفات التنفسية

التكيف الرئيسي الحاصل في المرتفعات فيما يخص عملية التنفس هو زيادة عملية التهوية الرئوية في الراحة و عند التمرينات بعد 3 إلى 4 أيام من التوضع في إرتفاع 4000م التهوية في الراحة ترتفع حوالي 40% مقارنة بالتواجد على مستوى سطح البحر، في التمرينات ذات الشدة الأقل من القصوى فرط التهوية يستقر عند 50% .

1-3 التكيفات الحاصلة في الدم

3-1 les adaptations sanguines

بعد عدة أسابيع من التواجد في المرتفعات نلاحظ زيادة في عدد الكريات الدموية، نقص الأوكسجين يحفز إفراز هرمون L'érythropoïétine ، الذي يعمل على تنشيط تصنيع الكريات الحمراء، في الثلاث الساعات الأولى عند الوصول إلى المرتفعات يرتفع مستوى تركيز هذا الهرمون في الدم بحيث يصل إلى أقصاه بعد 24 إلى 48 ساعة، و بعد التواجد لمدة 6 أسابيع في مرتفع 4000 م يرتفع حجم الدم بنسبة 9 إلى 10 % . هذه الزيادة لا ترجع فقط إلى زيادة و نشاط هرمون L'érythropoïétine ،

بل أيضا ترجع إلى التوسع في الحجم البلازمي، بالنسبة للأشخاص الذين يعيشون في البيرو (4540م) لديهم نسبة 60 إلى 65 % في الكسر الحجمي للكريات الدموية الحمراء (hématocrite) هذه القيمة تتجاوز القيم المتوسطة التي تتراوح بين 45 إلى 48 % الملاحظة على مستوى سطح البحر، وما هو ملاحظ بالنسبة للكسر الحجمي للكريات الحمراء للأشخاص الذين يعيشون على مستوى سطح البحر أنها ترتفع لتصل إلى 59 % بعد 6 أسابيع من التواجد في المرتفعات.

إن الزيادة في عدد الكريات الدموية الحمراء يصاحبه زيادة في تركيز الدم بالهيموغلوبين الذي يرتفع عند التواجد في المرتفعات، هذا التأقلم يسمح بزيادة نقل الأكسجين في الدم، التكيفات الحاصلة بعد مدة من التواجد في المرتفعات تسمح بزيادة جديدة في الحجم البلازمي للدم و عدد الكريات الدموية الحمراء، هذه التكيفات تسمح فقط بتحسين نقل الأكسجين و لا تكفي من أجل تحقيق نفس المستويات لحجم الأكسجين الأقصى المستهلك ($VO_2 \max$) عند التواجد على مستوى سطح البحر.



Modifications des caractéristiques structurels et métaboliques du muscle après 4 à 6 semaines d'hypoxie chronique

Paramètres	Variation	% variation
Surface de muscle	Diminution	11-13
Surface des fibres lentes (ST)	Diminution	21-25
Surface des fibres rapides (FT)	Diminution	19
Densité capillaire (capillaires par mm ²)	Augmentation	13
Succinate déshydrogénase	Diminution	25
Citrate synthase	Diminution	21
phosphorylase	Diminution	32
phosphofructokinase	Diminution	48

2-3 التكيفات العضلية

3-2 les adaptations musculaires

تتخفص مساحة الألياف العضلية وبالتالي مساحة العضلة ككل في المرتفعات ، أما كثافة الشعيرات الدموية ترتفع مما يحسن من إمكانية توفير وتوزيع الأكسجين في العضلات، حسب (Costill et coll) بالنسبة لسنة متسلقي الجبال في قمة (McKinley) فقدوا حوالي 6 كلف في الوزن، هذا الفقدان راجع إلى تحول الجسم و نقصان حجم الماء في الوسط الخارجي للخلايا .

إن التوضع في المرتفعات العالية لمدة طويلة يؤدي إلى نقص في الشهية وبالتالي نقص في الوزن بصورة غير مهمة، هذا النقص في الوزن راجع إلى نقص حجم الماء في الوسط الخارجي للخلايا والذوبان العضلي، أي بمعنى نقصان في مساحة الألياف العضلية البطيئة والسريعة، كذلك من المعتقد منطقيا فقدان الشهية يحفز على إزالة البروتينات العضلية.

عدة أسابيع من التواجد في المرتفعات أكثر من 2500م تؤدي إلى التخفيض في القدرة الايضية للعضلات هذه النتيجة تصبح أكثر دلالة بعد 3 إلى 4 أسابيع في المرتفعات العالية ، و في قمة إيفرست لوحظ انخفاض في نشاط الأنزيمات الجليكوليكية و الميتوكوندرية على مستوى عضلات الفخذ و الساق، في هذه المرتفعات لا ينخفض محتوى الأكسجين فقط في العضلات بل يتعدى ذلك نقص في قدرة الفسفرة التأكسدية و الجليكوليكية في العضلات و هذا ما يؤثر على الاداء الهوائي و اللاهوائي .

3-3 التكيفات الجهاز القلبي التنفسي 3-3 les adaptations cardiorespiratoires

الزيادة في التهوية الرئوية عند الراحة و التمرينات البدنية تعتبر التكيف الرئيسي الحاصل في المرتفعات، و هذا نتيجة للنقص في الضغط الجزئي للأكسجين في الهواء المتتنفس، عند مرتفع 4000م يمكن أن ترتفع التهوية الرئوية حوالي 50 % في الراحة، أثناء التمرينات البدنية تحت قصى ترتفع مستويات التهوية من أجل إزالة غاز CO_2 أي بمعنى وسط أقل حموضة ، من أجل العمل على الرفع من درجة الحموضة PH يعمل الجسم على التخفيض من مستوى البيكربونات في الدم.



تأثير التدريب في المرتفعات على التفوق عند مستوى سطح البحر
Effets d'un entraînement en altitude sur la performance au
niveau de la mer