المحاضرة العاشرة

التكيفات التنفسية مع الممارسة الرياضية

اهداف المحاضرة

تهدف المحاضرة إلى تعرف الطالب على

التبادلات الغازية

التعرف على قياس الحد الاقصى للاكسجين

1- تكيف الجهاز التنفسي مع المجهود الرياضي

عندما لا تتمكن الطبيعة الفورية للاستجابة التنفسية في بداية المجهود البدني وكذلك في نهايته من أن تعمل تعديلات خصائص الدم الشرياني إلا بعد تأخير لأكثر من عشر ثوان هي حجة لصالح وجود آلية التحكم العصبي، وبالإضافة إلى ذلك ، فإن الزيادة التدريجية والنقصان في تدفق التهوية خلال المراحل الانتقالية والتي تسبق حالة توازن التمرين والعودة إلى الهدوء ، تجعل أمكانية استحضار تأثير آلية الخلطية للتحكم (mecanisme humoral de contrôle). لذلك يمكن القول أن ممارسة التهوية الرئوية تنظمها آلية عصبية وخلطية مزدوجة.

الآليات العصبية مركزية أو محيطية، ومن المتعارف عليه أن تنشيط بعض المناطق القشرية أو تحت القشرية يمكن أن يعدل التهوية وأن التحفيز الكهربائي لمناطق معينة من الدماغ البيني يزيد من معدل التهوية في نفس الوقت ، علاوة على ذلك ، فإنه يثير ردود افعال الدورة الدموية ، واخيرًا ، نعلم أنه يمكن تعديل التهوية بالإرادة، مع ذلك ، من الصعب تحديد دور الآليات المركزية في التحكم في التهوية أثناء التمرين الرياضي لأنه يمكن أن يختلف وفقًا للأفراد ودرجة تدريبهم. فيمكن أن يمثل التمثيل العقلي للتمرين الذي سيتم إجراؤه والتكييف المكتسب من خلال التمارين السابقة بعض ردود الافعال التنفسية التي لوحظت عند الرياضيين، وبالمثل، فإن تكييف تواتر التنفس مع إيقاع الحركات (السباحة ، والدواسة ، والجري) يجب أن يُعزى إلى آلية مركزية. ومع ذلك ، فإن استمرار فرط التنفس أثناء التعبئة السلبية عند الفرد المخدر يشير إلى أن المراكز العليا ليست مسؤولة وحدها عن التحكم العصبي في التهوية، الزيادة في تدفق التهوية ، بعد تحريك الأرجل الخلفية عند الكلاب ، تختفي بعد قطع م الجذور الخلفية أو النخاع ، وهو ما يصب في مصلحة التحكم المحيطي.

تلعب المستقبلات الكيميائية الشريانية دورًا مهمًا للغاية، حيث تكيف التهوية مع التمثيل الغذائي عن طريق الحد من اختلاف PO2 و PCO2 الشرياني والسنخي (الحويصلي)،

و يعمل الحفظ الكيميائي إلى حد كبير على إطالة المراحل الانتقالية في بداية ونهاية المجهود البدني الرياضي، حيث يعمل على خفض التهوية الاجمالية والتهوية الحويصلية مع الايض المتعادل خلال مرحلة التوازن، تتدخل الواردات الرئوية لتحديد نظام التهوية، كما توفر الواردات لعضلات الجهاز التنفسي معلومات عن الحالة الميكانيكية للجهاز التنفسي الضروري للتهوية الفعالة. تساهم أيضًا المستقبلات الميكانيكية للأعضاء النشطة ، خاصة تلك التي تحتوي على تعصيب موصل صغير القطر (الألياف غير المبطنة III و IV) ، في ممارسة فرط التنفس أثناء المجهود، يمكن أيضًا تنشيط المجموعة الثالثة والرابعة من خلال التغييرات الكيميائية المحلية المتزامنة مع المجهود البدني.

تتمثل الآليات الخلطية للتحكم التنفسي في التعديلات الفيزيائية أو الكيميائية للدم الجاري التي تؤثر في مراكز الجهاز التنفسي إما بشكل مباشر أو غير مباشر من خلال وسيط

المستقبلات الكيميائية الشريانية. من بين هذه الآليات ، يشارك بعضها بالفعل في حالة الراحة (PaO_2 ، $PaCO_2$ ، pH) ولكن يمكن تعديل دور كل منها أثناء المجهود البدني، وتظهر عوامل تحكم أخرى أثناء التمرين: المستقلبات ، الكاتيكولامينات ، ارتفاع الحرارة ...

و قد تفسر إلى حد ما فرط التنفس أثناء ممارسة التمارين الرياضية المعتدلة التغيرات في ضغط ثاني اكسيد الكربون للدم الشرياني، ومع ذلك ، لم يعد الحال نفسه أثناء المجهود الرياضي المكثف، عندما يستمر التدفق الهوائي في الارتفاع بينما ينخفض ضغط ثاني أكسيد الكربون في الدم الشرياني عن قيمته في الراحة. يفسر البعض هذه الزيادة في التدفق من خلال زيادة حساسية مراكز الجهاز التنفسي لثاني أكسيد الكربون. ومع ذلك ، فإن نفس الاختلاف في PCO_2 بعد استنشاق خليط غني بثاني أكسيد الكربون يؤدي إلى نفس الزيادة في التدفق ، أثناء الراحة كما هو الحال أثناء التمرين، قد يكون الانخفاض في درجة الحموضة الشريانية مسئولا عن بعض حالات فرط التنفس الملحوظ.

من ناحية أخرى ، تفسر الزيادة في الحساسية الكيميائية الشريانية للأكسجين أن التحكم في التهوية المرتبط بـ PO_2 يزداد أثناء التمرين ، على الرغم من عدم تعديل الدم الشرياني PO_2.

2- تطور غاز الزفير

هناك تطور في الفرق بين أجزاء الأكسجين في الهواء المستنشق وفي غاز الزفير، حيث يزداد أولاً مقارنةً بقيمته أثناء الراحة، ثم يستقر بل وينخفض قليلاً عند الاقتراب من أقصى شدة للتمرين، في بعض الأحيان يمكن أن يصبح أقل من قيمته في الراحة، يرتبط هذا التطور بتطور غاز الزفير ، نظرًا لأن تكوين الهواء المستنشق يكون عادةً ثابتًا

$(FIO_2 = 0.21)$

تبلغ قيمة $FECO_2$ حوالي 0.035 في حالة الراحة ، وترتفع من أجل شدة تمرين معتدلة إلى 0.040 ثم تنخفض تدريجياً عندما يظهر فرط التنفس بالمناسب لاقتراب الشدة الهوائية القصوى، يمكن بعد ذلك أن تصبح قيمة $FECO_2$ أقل بكثير من تلك الملاحظة عند الراحة.

المبادلات الغازية الحويصلية الشعيرية الهوائية.

يعتمد تبادل الأكسجين وثاني أكسيد الكربون بين الحويصلات الهوائية والدم الشعيري الرئوي على الاختلاف في ضغط هذه الغازات بين الوسطين وعلى سعة الانتشار الرئوي

$[VO_2 = DL_{O_2}. (PAO_2\ 3939 – PcO_2)]$. وتعتمد جودة الغاز الحويصلي على التهوية الحويصلية والعلاقة التهوية-التروية ($V_{A/Q}$)، وترتبط جودة الدم الشعيري بكثافة التمثيل الغذائي.

الغازات الحويصلية وغازات الدم.

يتطور هذان الغازان عندما تزداد شدة التمرين لدى الفرد غير المتدرب والرياضي عالي المستوى، في كلتا الحالتين ، يظل ضغط O_2 الحويصلي مستقرًا إلا عند الاقتراب من الشدة القصوى حيث يكون هناك زيادة إلى حوالي 115-120 Torr. عند الرياضي ، يحدث انعطاف ضغط O_2 الحويصلي لاحقًا مع

مراعاة استعداد أكبر. ضغط ثاني اكسيد الكربون الشرياني الذي يتطور بالتوازي مع ضغط ثاني اكسيد الكربون الحويصلي يظل مستقرًا لفترة طويلة ثم ينخفض بشكل حاد مع اقتراب VO2max.

يظل ضغط O2 الشرياني مستقرًا في كل شداة التمرين عند غير المتدربين ولكن يمكن أن ينخفض عند الرياضيين عاليي المستوى (في حوالي 50 ٪ من الحالات)، فينتج زيادة في الاختلاف الحويصلي الشرياني في ضغط الـ O2 ، والذي يكون أكثر حدة عند الرياضيين عاليي المستوى.

يبلغ الضغط الجزئي للأكسجين في الدم الوريدي المختلط (PvO2) حوالي(40torr) خلال الراحة ، ويمكن أن ينخفض بشكل كبير ليصل إلى(10torr)في أقصى تمرين.

ينخفض أيضًا متوسط ضغط الأكسجين الشعيري PcO2 مع كثافة التمرين التي تصل إلى حوالي 50 Torr ، لذلك يمكن أن يختلف تغير ضغط الأكسجين الحويصلي الشعيري من 15 Torr في حالة الراحة إلى 65 Torr في أقصى تمرين. يبلغ الضغط الجزئي لثاني أكسيد الكربون في الدم الوريدي المختلط 46 Torr تقريبًا في حالة السكون ، ويزداد مع قوة تصل إلى أكثر من 65 Torr. لذلك فإن الاختلاف الحويصلي الشعيري في ثاني أكسيد الكربون يختلف من 6 Torr في حالة الراحة إلى 35 Torr عند التمرين الأقصى.

3- التهوية الحويصلية والعلاقة تهوية-تروية

تزداد التهوية الحويصلية بشكل خطي مع شدة التمرين ولكن بسرعة أقل عند الرياضي المتدرَّب، يحدث هذا التطور بالتوازي مع التهوية الرئوية ولكن أيضًا بفضل انخفاض في الحصة النسبية لتهوية الأماكن الميتة, ويظهر فرط تهوية نسبي من عتبة التهوية (وهو ما يفسر ارتفاع PAO2 وانخفاض PACO2).

خلال حالة الراحة ، هناك توزيع غير متكافئ للتهوية والتروية على مستوى المناطق الرئوية المختلفة ، وهو ما يفسر جزءًا من الفرق الملحوظ بين ضغط الأكسجين الحويصلي والشرياني أثناء التمرين البدني ، ويزداد هذا التفاوت بشكل طفيف بالنسبة للمستويات المعتدلة من التمرين ، ولكنه يتزايد مع زيادة شدة مجهود الرياضي. يفسر هذا التفاوت من خلال التوزيع غير المتجانس لكل من التهوية السنخية وتدفق الدم الرئوي.

يمكن تفسير عدم تجانس التنفس بتراكم سائل حول القصبة الهوائية (مصدر محتمل لانسداد الشعب الهوائية) ، بعد تدفق السائل عبر الشعيرات الدموية عن طريق وذمة الجدار الحويصلي الذي يغير توافق الأنسجة من خلال إبراز عدم التناسق التشريحي للقنوات الهوائية، مما يؤدي إلى تفاقم التوزيع غير المتكافئ عند التدفق العالي للهواء عن طريق الإفراز في المجاري الهوائية المحيطية المرتبط بالتأثيرات الالتهابية لتدفقات الهواء العالية على الظهارة القصبية (l’épithélium bronchiolaire)، وأخيراً عن طريق تضيق القصبات بسبب مثيرات لتدفقات الهواء العالية. يتم تفسير عدم تجانس توزيع تدفق الدم الرئوي عن طريق الوذمة الخلالية (œdème interstitiel) التي تسبب تراكم السوائل حول الأوعية الدموية وإعاقة محتملة للأوعية الدموية ، من خلال التأثيرات الميكانيكية لتراكم السوائل في الجدار الحويصلي الذي يقلل من تدفق الشعيرات الدموية المجاورة، وأخيراً عن طريق تغيير في النغمة الحركية المرتبطة بالتدفق وضغوط ممارسة عالية.

من المهم فقط مراعاة الانتشار الحويصلي الشعيري للأكسجين لأن انتشار ثاني أكسيد الكربون يمكن أن يزداد دون قيود واضحة. يعتمد تدفق الأكسجين (V O2) الذي يمكنه عبور الغشاء الحويصلي الشعيري على نسبة مناسبة بين سعة الانتشار (DLO2 أو التوصيل الانتشاري) من ناحية ومن ناحية أخرى

توصيل التروية (ß Q C) للأوعية الرئوية للأكسجين حيث β هو منحدر منحنى تفكك الأكسجين في الدم (أو السعة) و QC الناتج القلبي.

عندما تزداد سعة التمرين ، تزداد سعة الانتشار بفضل زيادة سطح التبادل ، أي زيادة في سطح الشعيرات الدموية وحجم الدم الشعري. ثم يتم تهوية الحويصلات الهوائية والشعيرات الدموية غير الوظيفية في حالة الراحة وامتصاصها. بالإضافة إلى ذلك ، يتناقص سمك الغشاء الحويصلي الشعري ، مما يجعله أكثر نفاذاً. وبالتالي يمكن أن يرتفع DLO2 Q من 20-30 مل دقيقة $^{-1}$ في حالة الراحة إلى 75 مل دقيقة $^{-1}$ ، وأحيانًا أكثر. في الوقت نفسه ، يزداد ميل منحنى التفكك (β) لأن PvO2 ينخفظ كثيرًا (مما يؤدي إلى إطالة وقت العبور الشعري اللازم للموازنة) ويزيد أيضًا النتاج القلبي.

انطلاقا من قدرة تمرينات رياضية مرتفعة الشدة (المناسبة لقيمة عالية من VO_2max) قد تنخفظ العلاقة

$DLO_2 / \beta . Q C$ بدلاً من الإرتفاع ، وقد لا يكون ضغط الاكسوجين عند مخرج الشعيرات الدموية في حالة توازن مع ضغط الاكسجين الحويصلي، وبالتالي يمكن أن يحدث الحد من الانتشار عند رياضيي المستوى العالي المختصين في التحمل، علاوة على ذلك يفسر معظم حالات نقص الأكبوكسيا في الشرايين التي لوحظت عند الاقتراب من الشدة القصوى.

4- الحد الأقصى لاستهلاك الأكسجين:

أصبحت القدرات الوظيفية في الوقت الراهن أحدى العوامل الأساسية التي يعتمد عليها التدريب الحديث لرفع مستوى الأداء والانجاز، ومن دون ذلك لا يمكن أن يتقدم الرياضي، ومن بين هذه القدرات الوظيفية تطوير الحد الأقصى للأكسجين (vo2 max)، ويشير الحد الأقصى لاستهلاك الأكسجين ، أو VO2max ، إلى الحد الأقصى لتدفق الأكسجين الذي يستطيع الجسم امتصاصه لتلبية احتياجاته أثناء المجهود البدني، فالحد الأقصى للأكسجين بالنسبة للرياضي ما هي سعة الأسطوانة للمحرك. مؤشر للأداء البدني والعامل المقيد للقدرات الرياضية ، يمكن تحسينه عن طريق تدريب محدد. (Baudoin)

ويصل الأقصى لاستهلاك الأكسجين لدي الرياضي ذو المستوى الدولي في سباق 5000 - 10000متر إلى 6 لترات في الدقيقة، كما تسير العديد من الدراسات إلى أن زيادة استهلاك 1 ملي لتر من الأكسجين ترفع من سرعة جري 5000 متر بـ 3.5 ثانية، ومن خلال هذه المعطيات يتوجب على المدرب أن يعرف:

- ما هو الحد الأقصى للأكسجين ؟
- ما هي الفائدة من الحد الاقصى لاستهلاك الأكسجين؟
- كيف يمكن قياسه في المختبر وفي الميدان؟
- كيف يمكن تطوير الحد الأقصى لاستهلاك الأكسجين؟

ما هو VO2max؟

تدفق الأكسجين يعطي مؤشرا على مستوى الأداء، فأثناء المجهود البدني ، تحتاج عضلاتنا إلى الأكسجين لتعمل. يستخدم الأكسجين لتحويل الطاقة المخزنة محليًا على شكل جليكوجين إلى طاقة يمكن استخدامها بواسطة ألياف العضلات. يتم نقل هذا الأكسجين الذي تنقله الرئتان عن طريق التنفس إلى العضلات عن طريق الدم عن طريق خلايا الدم الحمراء.

ويتراوح معدل استهلاك الفرد البالغ للأكسجين خلال الراحة 0.2 إلى 0.3 لتر كل دقيقة أي 200 إلى 300 ملي لتر خلال الدقيقة الواحدة، ويزداد معدل استهلال الأكسجين خلال المجهود البدني الرياضي ليصبح 3 إلى 6 لترات خلال الدقيقة الواحدة.

ومن خلال ما ذكر فإن الحد الأقصى للأكسجين هو أكبر قيمة أكسجين يستهلكها الفرد في المجهود الهوائي خلال وحدة زمنية معينة وقياسه هو اللتر خلال الدقيقة ، ويعبر الحد الأقصى للأكسجين على قدرة الفرد الهوائية التي من خلالها يمكن لجسمه أن يستهلك الأكسجين الذي يتحصل عليه من خلال الهواء الخارجي ويوجهه إلى العضلات التي تستهلكه، يعتبر الحد الأقصى لاستهلاك الأوكسجين بالنسبة للرياضي نوعًا ما هو الإزاحة للمحرك. يعطي مؤشرا على مستوى لياقته البدنية والقدرة على التحمل. كلما زاد ارتفاعه ، زادت سرعة قدرة اللاعب على بذل جهد معين. ولا تستطيع العضلات أن تستمر في القيام بمجهود دون أكسجين (لا هوائي أقصى) أكثر من 10 ثواني، بينما يمكن للعضلات أن تستمر في القيام بمجهود أكثر من دقيقة في حالة إمدادها بالأكسجين وذلك عن طريق نقله من الرئتين إلى العضلات العاملة. ، من جانب أخر لا ينبغي الخلط بين VO2max والعتبة اللاهوائية. فهو يمثل شدة هوائية محتملة، أي أن العتبة الكامنة التي أسفلها تكون الشعبة الطاقوية المستعملة هي الشعبة الهوائية (مع استخدام الأكسجين). في الواقع ، لا يتم استغلال هذه الإمكانات بالكامل، واعتمادًا على درجة التدريب يتم استعمال جزء فقط. وبالتالي ، فإن الشخص غير المتدرب ، على سبيل المثال ، لا يستخدم أكثر من 50 ٪ من إمكاناته (50 ٪ من VO2max): بعد هذه العتبة اللاهوائية ، تتولى الشعبة اللاهوائية إنتاج الفضلات في الدم، وتفوق اللكتات الموجودة في الدم قدرة الجسم على القضاء عليها. ثم يحدث تراكم لهذه اللاكتات التي تمنع العضلات تدريجياً من العمل مما تؤثر على الأداء. تتوافق العتبة اللاهوائية مع قيمة VO2max حيث يوجد توازن بين إنتاج اللاكتات والقضاء عليها من قبل الجسم. فتحت هذا الحد ، يتم استخدام الشعبة اللاهوائية بدرجة أقل.

يرتبط حجم استهلاك الأكسجين بحجم الجسم، فالشخص ذو الحجم الكبير يستهلك حجما أكبر من الأكسجين خلال الراحة أو المجهود البدني، فعند مقارنة الأفراد يستخرج حجم استهلاك الأكسجين بالنسبة لكل كيلوغرام من وزن الجسم وهو ما يطلق عليه الحد الأقصى لاستهلاك الأكسجين النسبي ويعبر عنه بالكيلوغرام/ المليلتر في الدقيقة.

مثال: إذا بلغ وزن شخص ما 70 كيلو غرام يصل الحد الأقصى لاستهلاك الأكسوجين لديه 2.8 لتر / دقيقة فإن الحد الاقصى للاستهلاك الأكسجين بالنسبة لكل كيلو غرام من وزن جسمه يكون كما يلي:

الحد الأقصى لاستهلاك الاكسجين = 2800 مليلتر/70كيلوغرام = 40 مليلتر /دقيقة.

- ما أهمية الحد الأقصى لاستهلاك الأكسجين.

- تأتي أهميته في أنه نتاجا لعمليات فسيولوجية عديدة ومهمة في الجسم فيعبر عن قدرة الجسم الهوائية وتقوم بهذه المسؤولية ثلاثة أجهزة أساسية في الجسم هي الجهاز التنفسي والجهاز الدوري والجهز العضلي ، وعلى الرغم من أهمية عمل هذه الأجهزة وتعاونها إلا أن أهمها هو الجهاز العضلي إذ يمكن اعتباره العامل المحدد لكفاية الإنسان الهوائية.

وينظر الباحثون معظمهم إلى (VO2MAX) على أنه أفضل مؤشر لقدرة الجاهزين الدوري والتنفسي على التحمل وينظر إلى كفاية عمل هذه الأجهزة إلى عمليتين أساسيتين هما عملية توصيل الأكسجين إلى العضلات ويشترك في هذه العملية كل من الجهاز التنفسي والجهاز الدوري والعملية الثانية هي عملية استهلاك الأكسجين بالعضلات وهي من العمليات الأكثر أهمية وتعتمد على ما يحرقه التدريب في تركيب العضلة لكي تستطيع تمتص كمية أكبر من الأكسجين وتستهلكه ويتم ذلك عن طريق:

- كفاية وظيفة القلب والرئتين والأوعية الدموية في توصيل أكسجين هواء الشهيق في الرئتين إلى الدم وترتبط سرعة هذه العملية بخاصية الانتشار للرئتين والتي كلما زادت ارتفع مستوى الحد الأقصى لاستهلاك الأكسجين.
- كفاية عمليات توصيل الأكسجين إلى الأنسجة ويرتبط ذلك بحجم الدم، عدد الكريات الحمراء، تركيز الهيموجلوبين، مقدرة الأوعية الدموية على تحويل سريان الدم من الانسجة غير العاملة أثناء الجهد البدني.
- كفاية العضلات في استخدام الأكسجين الواصل إليها، ويعني بذلك كفاية عمليات إنتاج الطاقة.
- كيف يقاس الحد الأقصى لاستهلاك الأكسجين:

يتم قياس الحد الأقصى للأكسجين بطريقتين:

1- القياسات المباشرة

لا يمكن إجراء قياس V02max المباشر إلا في المختبر. بالنسبة إلى هذه الطريقة ، يُفضل إجراء القياسات على دورة ergocycle لأن الصدر والأطراف العلوية غير متحركة ، مما يسهل اجرائها، ويمكن أن يكون الجهاز عبارة عن دائرة مغلقة ، وفي هذه الحالة لا يوجد قياس كيميائي ، حيث يتنفس الفرد في جهاز قياس التنفس يحتوي على حجم معين معروف من الأكسجين ، ويمتص مرشح الجير الصودا ثاني أكسيد الكربون ، وبالتالي نحصل على حجم الزفير من الأكسجين، ومن ثم يمكن استنتاج استهلاك الأكسجين. لكن الطريقة الأكثر استخدامًا هي الدائرة المفتوحة،، حيث يستنشق الشخص المعني الهواء المحيط وهو هواء الزفير الذي يتم تحليله: جزء الأكسجين (EF O2) وجزء ثاني أكسيد الكربون (EF CO2) يجعل من الممكن حساب حجم الأكسجين المستهلك. لكي تكون النتيجة قابلة للملاحظة ، يتم إجراء البروتوكول وفقًا لتمرين ثلاثي. الجهد الأولي المطلوب يكون منخفض نسبيًا، بعد ذلك ، تزداد شدة التمرين في خطوات من 1 إلى 4 دقائق. من الضروري إيجاد العلاقة الصحيحة بين الزيادة في الشدة ومدة االخطوة بحيث تتوافق نتيجة VMA مع قيمة الحد الأقصى لتدفق الأكسجين الذي تم تقييمه.

2- الطريقة غير المباشرة

في اختبارات الجري ، من الممكن تقدير حجم الهواء الأقصى من خلال السرعة الهوائية القصوى إذا كان الاختبار المستخدم هو اختبار جهد تدريجي(test d’effort progressif) ، وعلى الرغم من دقتها الجيدة يميل البعض إلى المبالغة في تقدير السرعة الهوائية القصوى من خلال أخذ في الاعتبار تدخل الأيض اللاهوائي، الاختبارات الأخرى التي تتعلق اهتماماتها بالمعيار دون الحد الأقصى للجهد تعتمد على العلاقة الخطية بين معدل ضربات القلب و حجم الأكسجين. في الواقع ، يزيد النتاج القلبي خطيًا مع الجهد ويساوي ناتج معدل ضربات القلب وحجم الدفع الانقباض القلبي(volume d’éjection systolique). مع الأخذ في الاعتبار خلال الجهد أن معدل ضربات القلب يمكن أن يتضاعف في 4 في حين أن حجم الانقباض القلبي يمكن أن يزيد بنسبة 25٪ فقط فإنه من الممكن استيعاب هذا الحجم في ثابت. من ناحية أخرى ، فإن الزيادة في حجم الأكسجين تتناسب أيضًا مع شدة التمرين، لذلك من الممكن تقدير قيمة VO2max بقياس معدل ضربات القلب .

تؤثر العوامل الأخرى على معدل ضربات القلب: العواطف ، والمناخ ، ونوع الجهد ونوعية, الطعام المتناول هذه المقاربة هي تقدير. وأظهرت دراسة أجريت على مجموعة سكانية صحية أن 28 ٪ من الأشخاص لديهم منحنى غير خطي بشكل ملحوظ بين VO2 ووظيفة القلب. لذلك من المهم تحديد مجال الثقة للاختبارات المستخدمة.

وقد استخدم العالم السويدي استراند الدليل الذي سمي باسمه (استراند نوموغرام) (Astrand nomograme)

لقياس الحد الأقصى للكسجين باستخدام اختبار السلم step test أو الدرجة الثابتة أو القياسية bicycle ergometer ونوضح ذلك باستخدام هذا الدليل :

أ في حالة استخدام السلم step test يستخدم ارتفاع 40 سم للذكور أو 33 سم للإناث ويجب تحديد الوزن بالكيلو غرام وقياس النبض بعد مدة من العمل ويمكن تحديد أقصى استهلاك للأكسجين بمجرد التوصيل بين الوزن ومعدل النبض بالنسبة للجنسين أو باستخدام المسطرة فإن تماس هذا الخط مع مقياس أقصى استهلاك للأكسجين يوضح القياس المطلوب بالملي لترات.

مثال ما هو أقصى استهلاك للأكسجين لشخص يعمل على السلم وزن 50 كلغ ووصل معد نبضه إلى 146 نبضة في الدقيقة.

عن طريق مقياس الحد الأقصى للاستهلاك الأكسجين تبين أن أقصى استهلاك للأكسجين لدى هذا الشخص هو 2.4 لتر

اختبار Margaria

تتضمن هذه الطريقة غير المباشرة تغطية مسافة كيلومتر واحد على الأقل. من الضروري جري حوالي 10 دقائق بسرعة ثابتة تقابل الحد الأقصى الذي يمكن للمرء توفيره للاحتفاظ بهذه المدة. ثم نطبق الصيغة التالية:

بالنسبة لمسافة مقطوعة مسافتها أقل من 3000 م:

.VO2max (ml/mn.kg) = (d + (30*t)) / (5*t) où d : distance en mètres, t : temps en minutes

بالنسبة لمسافة مقطوعة مسافتها أكبر من 3000 م:

VO2max (ml/mn.kg) = (d + (30 * t)) / ((5 * t) + 5) où d : distance en mètres, t : temps en minutes

اختبار كوبر

يعطي اختبار كوبر تقديرًا تقريبيًا لـ لحجم الهواء الأقصى، يتم الاختبار من خلال قطع أكبر مسافة في 12 دقيقة. يتم الحصول على قيمة VO2max من خلال تطبيق الصيغة:

VO2max = 22,351 x d - 11,288 (où d est la distance en kilomètres)

التقييم من السرعة الهوائية القصوى (VMA)

هناك طريقة أخرى لتقييم الحد الأقصى للاكسجين وهي تحديد السرعة الهوائية القصوى ويتم حساب الحد الأقصى للاكسجين بتطبيق الصيغة التالية: VO2max = 3.5 x VMA

اختبار Astrand et Rythming

يتكون هذا الاختبار من تمرين قصير متوسط الشدة يتم إجراؤه على مدرب منزلي (وهو جهاز صغير يسمح لك باستخدام دراجتك الخاصة للتدريب في المنزل) واستخدام الرسوم البيانية لاستقراء القيمة المطلوبة.

اختبار Léger-Boucher (أو اختبار المكوك)

يتكون هذا الاختبار من تحديد VMA الخاص به لاستنتاج VO2max. يتم حساب VMA عن طريق اختبار ميداني حيث يتعين على الرياضي الجري بشكل أسرع وأسرع بإيقاع إشارة صوتية

اختبار بساعة القلب

تقدم بعض أجهزة مراقبة معدل ضربات القلب أيضًا قيمة تقريبية لـ VO2max عن طريق اختبار لبضع دقائق في حالة الراحة (هناك المقارنة بين أفضل ساعات cardio-GPS للجري).

5 -تنمية الحد الأقصى للأكسجين:

يمكن ان يتم تطوير حجم الهواء الأقصى بنسبة 15% إلى 30% من خلال التدريبات الخاصة

5-1 العوامل المؤثرة على VO2max

يتغير VO2max مع تقدم العمر ويعتمد على الجنس. يزداد أولاً حتى سن المراهقة ، حيث تحتاج العضلات النامية إلى كميات أكبر من الأكسجين ، ثم يركد مع توقف النمو. ثم يتناقص تدريجياً من سن الثلاثين.

القيم التي لوحظت عند النساء تقل بحوالي 30 إلى 35٪ من التي عند الرجال، وترجع هذه الميزة إلى انخفاض كمية الهيموجلوبين، ويضمن الهيموجلوبين تثبيت الأكسجين على خلايا الدم الحمراء.

يزيد VO2max مع التدريب البدني، يكون منخفضا عند الأشخاص غير الممارسين للنشاط البدني الرياضي ويصل إلى قيمه العالية عند الرياضي.

5-1-1 التدريب القاعدي:

يسمى أيضًا عمل التحمل الأساسي أو عمل التحمل القاعدي ، يتكون التدريب القاعدي من التدريب بشدة منخفضة (60 إلى 75٪ من أقصى معدل لضربات القلب) على مدى فترة طويلة من الزمن. يعزز هذا التدريب زيادة عدد الشعيرات الدموية التي تغذي العضلات ويزيد في الحجم الأقصى للأكسجين(VO2max) ذ

5-1-2 التدريب المتقطع:

يتعلق الأمر بتدريب لاهوائي لا لاكتيكي (دون إنتاج اللاكتات) يتم إجراؤه بواسطة سباقات سريعة شديدة ولكن قصيرة متبوعة بزمن استرجاع نشط مماثل. خلال التدريب ، يجب زيادة مدة الجهد ومضاعفة زمن الاسترجاع مقارنةً بالعمل. ومع ذلك ، يجب أن يظل زمن المجهود قصيرًا بما يكفي لعدم الخروج عن المنطقة اللاهوائية اللالكتيكية. يؤدي هذا العمل إلى زيادة في الحد الأقصى من التدفق القلبي وبالتالي في كمية الأكسجين المنقول ، وبالتالي في الحجم الأقص للكسجين (VO2max). هذه هي الطريقة الأكثر فعالية للتطور. تظهر النتائج من الحصص الأولى طالما تتم ممارسة التمارين بشكل صحيح. وكذلك بالنسبة للتمرينات المتقطعة لرفع الحجم الأقصى للاكسجين (VO2max).

وفقًا لبعض الدراسات ، لا يؤثر التدريب المتقطع على VO2max فحسب ، بل أيضًا ، على اختلاف التدريب القاعدي ، على السعة اللاهوائية، والتوصية لتحسين الأداء هي ممارسة كلاهما: يجب المحافظة على التدريب القاعدي طوال الموسم والتدريب المتقطع على مدار 3 أسابيع أو 6 حصص من أجل الوصول إلى أفضل المستويات.

ويقول رافع صالح فتحي وساطع اسماعيل ناصر في كتابهما تطبيقات في الفسيولوجيا الرياضية وتدريب الارتفاعات يمكن تنمية الحد الأقصى للاستهلاك الأكسجين بالتدريب لمدة لاتقل عن 65- 85% من الحد الأقصى لمعدل القلب وهذا ما يتفق مع أغلب المصادر حيث أجمعوا على أن الحمل البدني المناسب لارتفاع مستوى القدرة الهوائية هو الذي يؤدي إلى رفع معدل القلب حتى 150- 180 نبضة في الدقيقة وهناك طرق تدريبية أخرى عديدة ووسائل مساعدة يمكن عن طريقها زيادة قابلية الإنسان للحد الأقصى لاستهلاك الأكسجين ومنها التدريب تحت نقص الأكسجين بالطرائق الصناعية أو الطبيعية (المرتفعات)

المحاضرة الحادي عشرة

الضغط الجوي والتدريب تحت نقص الأكسجين

إهداف المحاضرة

بعد الانتهاء من هذه المحاضرة يصبح الطالب قادر على التحكم في

معارف حول الضغط الجوي

كيفية قياس الضغط الجوي

التحكم في التدريب في المرتفعات

التحكم في التدريب تحت نقص الاكسجين

التحكم في محاكات التدريب تحت نقص الاكسجين

1-الضغط بشكل عا م

يمكن تعريف الضغط على أنه القوة المطبقة على سطح ما، أو النسبة بين القوة المطبقة إلى مساحة السطح التي تطبق عليه القوة، ويعبر عنها بالقانون: **P= F/S**

حيث أن:

(P):قيمة الضغط ويقاس بواحدة "الباسكال(Pascal) "، وهي تساوي "نيوتن/متر مربع."

(F):قيمة القوة المطبقة، تقاس بوحدة "نيوتن.(N) "

(S):مساحة السطح الذي تطبق عليه القوة، تقاس بوحدة "المتر المربع.(m2) "

ومنه فالضغط الجوي هو وزن عمود من الهواء مقسوماً على مساحة مقطعه، حيث أن الضغط هو القوة التي يطبقها هذا العمود على مساحة مقطع العمود ذاته.

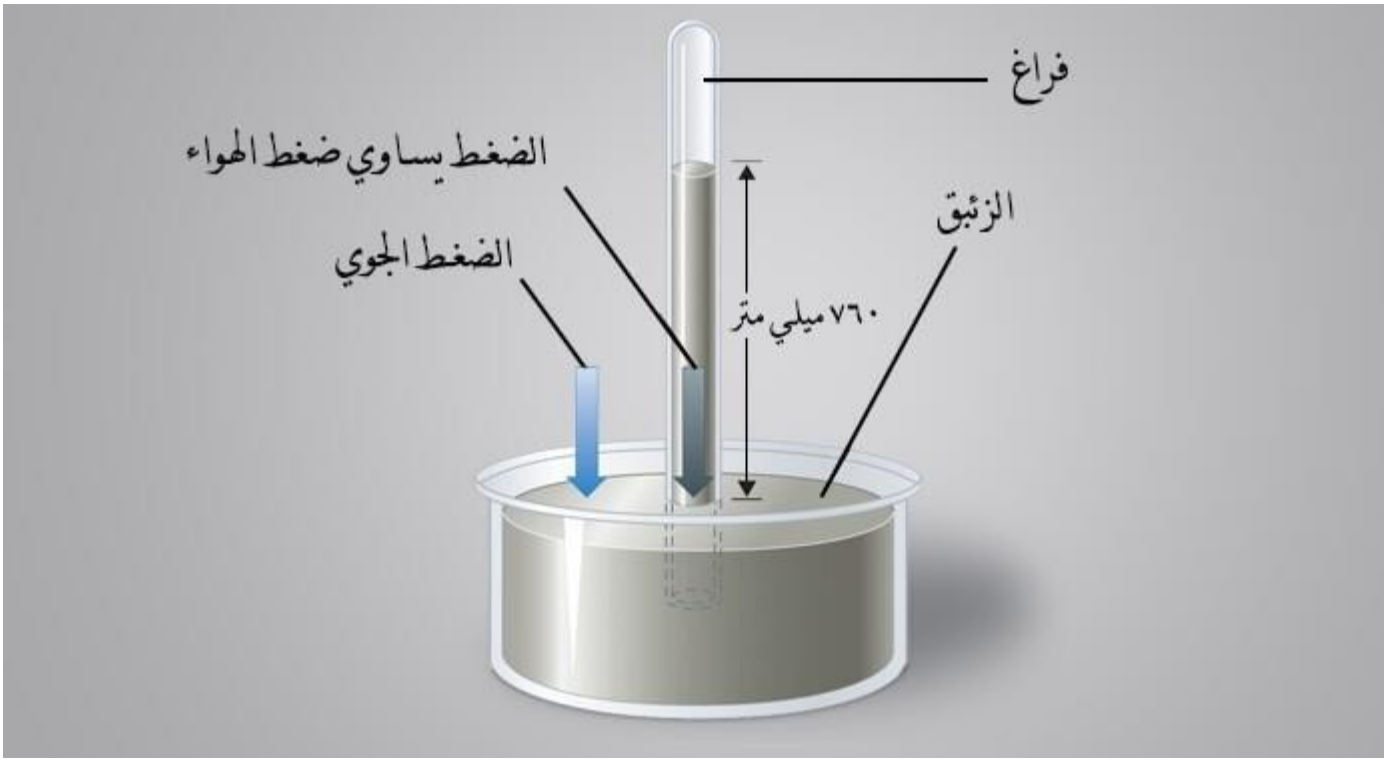
بالطبع يمكن قياس الضغط الجويّ بالباسكال فبالنهاية هو ضغط، إلا أن له وحدات قياس مميزة، أهمها:

- **جوّ :(atm)** وهي اختصار بدلاً من قول "ضغط جويّ"؛ أكثر الواحدات شهرة في التعامل مع الضغط الجوي، كل 1 جوّ يساوي إلى 101325 باسكال.
- **البار :(Bar)** إحدى الواحدات الأقل شهرة لقياس الضغط الجويّ، لأنها لا تتبع النظام الدولي في الواحدات، وكل 1 بار يساوي إلى 0.986923 جوّ، أي تقريباً مساوٍ له.
- **الميلي متر الزئبقي Torr) أو :(mmHg** وهو أيضاً من الواحدات الأقل شهرة، كل 1 ميلي متر زئبقي يساوي إلى 0.00131579 جوّ.

مقياس الضغط الجوي والضغط الجويّ القياسي

البارومتر أو مقياس الضغط الجويّ؛ جهاز بسيط اخترعه العالم الإيطالي تورشيلّي (Torricelli) عام 1643 عن طريق ملء أنبوب زجاجي طوله متر واحد بالزئبق يوضع مقلوباً في وعاء – كما يمثّل الشكل التالي:-

0



الشكل رقم 30 يبين مقياس الضغط الجويّ

فينخفض منسوب الزئبق في الأنبوب ويستقر على قيمة ارتفاع معينة وهي قيمة الضغط الجوي مقاساً بالميلي متر الزئبقي.

عند سطح البحر يستقر ارتفاع الزئبق في الأنبوب على ارتفاع 760 ميلي متر، وهو الضغط الجويّ القياسي، والذي سيكون مساوياً لـ 1 جوّ.

فيمكن تعريف الضغط الجويّ القياسي على أنه قيمة الضغط الجويّ عند سطح البحر.

2- أسباب حدوث ظاهرة الضغط الجوي

كما نعلم فإن الأرض محاطة بالغلاف الجويّ الذي يتشكل فعلياً من جزيئات الغازات مثل الأوكسجين، النيتروجين، وغيرها من الغازات.

هذه الجزئيات بالطبع لها وزنها وتشغل مساحة، بالرغم من أننا لا نستطيع رؤيتها بشكل مباشر. ووزن الغلاف الجوي المكون من هذه الغازات يقوم بشكل مستمر بالضغط على الأجسام الموجودة على الأرض أو في غلافها الجوي بفعل الجاذبية.

وكلما ارتفعنا أكثر عن سطح الأرض، قلت كمية جزيئات الغازات الموجودة فيه، بالتالي يقل الضغط الجوي المؤثر على الجسم.

يمكن تشبيه الأمر بالغوص في الماء، فكلما ازداد العمق ازدادت كمية الماء فوقنا؛ وبالتالي يزداد الضغط، فكلما ارتفعنا في الهواء قلّت كمية الهواء بالتالي قل الضغط الجوي المؤثر.

3- تغير الضغط الجوي بتغير الارتفاع

يمثل الجدول التالي تغير قيمة الضغط الجوي مع تغير الارتفاع عن سطح البحر:

جدول رقم 3 قيمة الضغط الجوي بوحدة جو عند ارتفاعات مختلفة

قميه الضغط جوّئ	الارتفاع بالمتر
1	0
1/2	5,486
1/3	8,376
1/10	16,132
1/100	30,901
1/1000	48,467
1/10,000	69,464
1/10,000	86,282

4- بعض تطبيقات الضغط الجويّ

- **حساب الارتفاع**

يمكن حساب الضغط الجوي في تجربة تورشيلي، التي تحدثنا عنها سابقاً عن طريق القانون التالي:

حيث أن:

P :(قيمة الضغط عند الارتفاع.

p : كثافة الزئبق.

g : تسارع الجاذبية الأرضية

h : الارتفاع عن سطح البحر.

يمكن أن نلاحظ أنه في حال استطعنا تحديد قيم الضغط عن طريق المقياس، فالطرف الأيمن من المعادلة سيكون حاوياً على مجهول واحد فقط وهو الارتفاع(h) ، حيث أن كثافة الزئبق وتسارع الجاذبية الأرضية قيم ثابتة.

يمكن أيضاً حساب تغير الارتفاع بالطريقة ذاتها، حيث تقاس قيمة الضغط عند الارتفاع الأول، ومن ثم الضغط عند الارتفاع الثاني، وحساب الارتفاع عند كل منهما ومن ثم طرحهما للحصول على مقدار التغير في الارتفاع.

يمكن تعميم هذه الحالة بالقانون التالي:

أي :قيمة التغير في الارتفاع هي الفرق بين قيمتي الضغط، مقسماً على كثافة الزئبق بتسارع الجاذبية الأرضية.

- **اللُصاقة المطاطية.**

هي تلك اللصاقات التي نستخدمها في تعليق الملابس على الجدار أو الملاحظات على البرادات مثالاً، وهي تطبيق بسيط للغاية.

فالمطاط يأخذ شكلاً منحنياً، عند وضع اللصاقة على سطح أملس؛ يتجمع بضع من الهواء في المنطقة المحصورة بين اللصاقة والجدار مثلاً، وعندما نقوم بضغطها.

سنجبر الهواء على التحرك للخارج، فيصبح الضغط الجوي الخارجي أكبر منه في الداخل؛ مما يجعله قادراً على تثبيت اللصاقة على الجدار بسبب هذه القوة.

- **المحقنة الطبية**

نقوم بوضع رأس الإبرة الفارة في سائل ونسحب المكبس نحو الخارج؛ يقلُّ الضغط الجوي داخل أسطوانة المحقنة، يصبح ضغط الهواء في الخارج أكبر؛ فيقوم بدفع السائل إلى داخل أسطوانة المحقنة كي تمتلئ.

- **الضغط الجوي والطيران**

تأخذ أجنحة الطائرات بشكل عام شكلاً يكون من الأسفل أشبه بالمستقيم وفي الأعلى انحناء صغير، هذا الانحناء يجعل الهواء المار على الوجه العلوي (المنحني) يمر بشكل أسرع مقارنة مع ذلك الموجود أسفل الجناح. وبالتالي سيكون الضغط أسفل الجناح أكبر، مما يدفع الطائرة نحو الأعلى.

يمكن للطيار تغيير شكل الجناح قليلاً عن طريق أجنحة صغيرة متحركة موجودة على الجناح الكبير، ومن خلالها يستطيع التحكم بالضغط الذي يدفع الطائرة إما نحو الأعلى أو نحو الأسفل.

ختاما، للضغط الجوي تطبيقات كثيرة في حياتنا، بدءاً من الأمور الصغيرة مثل اللصاقة المطاطية، ومروراً بالطائرات الكبيرة، فلا بد من فهم واضح للضغط الجوي لنستطيع الوصول إلى فهم أفضل للأمور الكبيرة.

5- تاثير الضغط الجوي في الأنسان

من أجل فهم المشاكل الفسلجية والتكيفات التي تحدث داخل خلايا وأنسجة الجسم وجب علينا أن نفهم الطبيعة الفزيائية لجو الأرض أو ما يسمى بالغلاف الهوائي المحيط بالأرض والتي يعيش بها الإنسان طبيعيا وتعتبر الغازات خليط من غازات مختلفة إلا أنه يحتفظ كل غاز بخواصه الطبيعية وهذا ما يتفق وهذا ما يتفق مع جميع التقسيمات لغازات الجو, ويستخدم الضغط الجوي مصطلح كثيراً في الأوساط العلمية ونعلم أن له مقياساً يشبه ميزان درجة الحرارة.

جدول رقم 4 يبين نسب غازات الجو

الغـــاز	النسبة المئوية لحجمه في الجو
النتروجين	٪ 78.09
الأوكسجين	٪ 20.95
ثاني أوكسيد الكاربون	٪ 0.03
بخار الماء وغازات أخرى	٪ 0.93

نهتم في موضوعنا هذا هو غاز النتروجين وغاز الأكسجين اللذان يكونان أكبر نسبة في تركيب الهواء الجوي, والهواء الجوي له وزن وأن الضغط الجوي في كل مكان على الأرض يرتبط بوزن الهواء, ويبلغ الضغط الجوي على مستوى سطح البحر 760 مليمتر زئبق بينما عند قمة إفرست التي تعتبر أعلى قمة على سطح الأرض يكون الضغط الجوي فيها 250 مليمتر زئبق والجدول الآتي يبين الضغط الجوي وضغط الأكسجين في الارتفاعات المختلفة,

الجدول رقم 5 يبين الضغط الجوي وضغط الأكسجين في الارتفاعات المختلفة,

المرتفعات / متر	الضغط الجوي مليمتر زئبق	ضغط الأوكسجين مليمتر زئبق
مستوى سطح البحر	760	159.2
1000	674	141.2
2000	596	124.9
3000	526	110.2
4000	462	96.9
9000	231	84.4

لا تحتلف نسب الغازات في الهواء 20،95% أكسجين و 0،03% ثاني أكسيد الكربون و79% نتروجين بالرغم من اختلاف الضغط الجوي وضغط الأكسجين في المرتفعات لذلك يمكننا تجاهل الغازات الأخرى والاهتمام بغاز النتروجين والأكسجين والذي يقدر في الهواء بـ 5/4 أي 79% من نتروجين و5/1 أي 21 % أكسجين

6- انخفاض في الضغط الجوي

هذه بالتأكيد الظاهرة التي لها التأثير الأكبر على الأداء. الضغط البارومتري ، الذي يبلغ حوالي 760 تور ، عند مستوى سطح البحر ، ينخفض إلى 526 تور عند 3000 متر ، و 354 تور عند 6000 متر و 267 تور فقط عند 8000 متر النتيجة الأكثر إثارة للاهتمام للأداء هي الانخفاض المتوازي في الضغط الجزئي للأكسجين وفقًا لقانون دالتون الذي يشرح أسباب إصابة الانسان بنقص الاوكسجين إذا تعرض

إلى ضغط جوي منخفض حيث ينص هذا القانوت على أن الضغط الكلي لخليط من الغازات يساوي مجموع الضغوط الجوزئية للغازات المكونة لذلك الخلط.

الضغط الكلي = الضغط الأول + الضغط الثاني+ الضغط الثالث+ .....

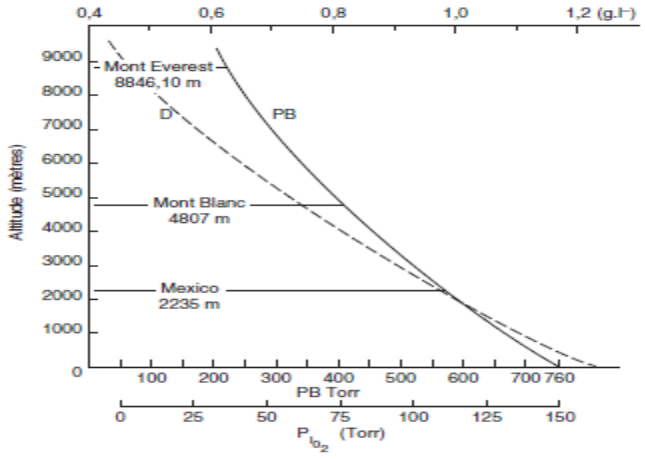
حيث أن الهواء الجوي متكون من خليط من غازات النتروجين والأكسجين وثاني أكسيد الكربون وكميات ضئيلة أخرى، فالضغط الكلي = 760 ملم زئبق واستنادا إلى قانون دالتن فإن هذا الضغط يساوي مجموع ضغط الغازات ، فمن خلال ذلك نجد أن غاز يبذل يبلغ تلك النسبة المئوية من الضغط الكلي فعلى سبيل امثال يبلغ غاز النتروجين 78.9 من الضغط الكلي، فإذا $78.9 \times 760/100 = 593.4$ ملم زئبق

PIO2 (PB – 47)FIO2 = o ù

PIO2 = pression de l'O2 inspire PB = pression barométrique

FIO2= 0,2093 47 = tension de vapeur d'eau à 37 °C

وهكذا ، عند مستوى سطح البحر ، PIO2 يساوي 150 تور ، لكنه ينخفض إلى 100 تور عند 3000 م ، و 65 تور عند 6000 م و 46 تور فقط عند 8000 م



الشكل رقم 31

الخصائص الفيزيائية للارتفاع. تطور الكثافة (g.L – 1 ، المنحنى D) والضغط الجوي (PB) وفقا للارتفاع.