وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة تكريت / كلية التربية البدنية وعلوم الرياضة
الدراسات العليا / ماجستير
فسلجة التدريب الرياضي

الجهاز التنفسي

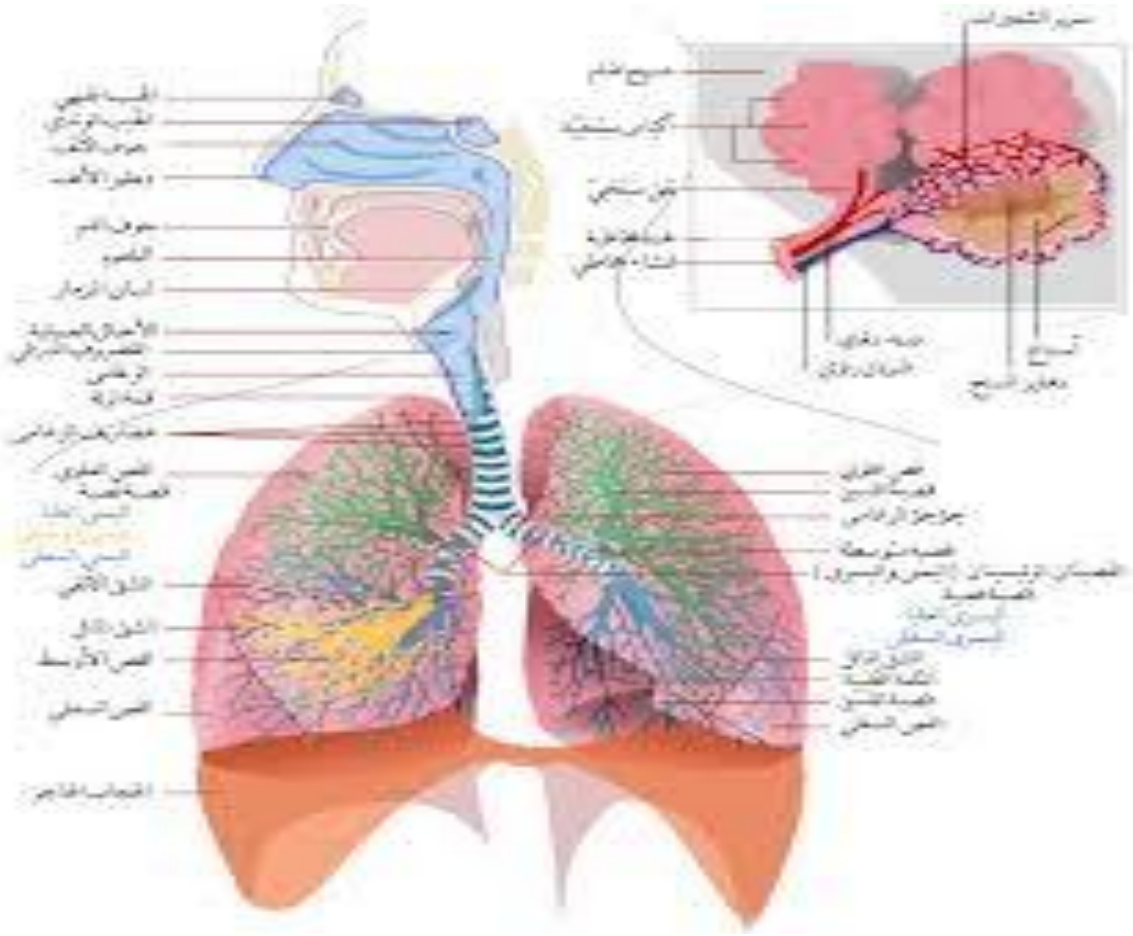
اعداد
أ.م.د علاء جاسم محمد

1447هـ

2025م

المقدمة

يقوم الجهاز التنفسي بمجموعة من العمليات الفسيولوجية الحيوية، تتمثل في تزويد أنسجة وعضلات الجسم بالأوكسجين (O_2, Oxygen) والتخلص من ثاني أوكسيد الكربون (CO_2, Carbon dioxide)، من خلال عملية تبادل الغازات في الرئتين. وتُعد هذه الخطوة أساسية لحدوث عمليات الأكسدة الخلوية التي تُنتج جزيئات الطاقة (ATP) اللازمة لانقباض العضلات الإرادية أثناء الجهد البدني. ويُعتبر الجهاز التنفسي من الأجهزة الحيوية المهمة في جسم الإنسان، حيث تتجلى أهميته بشكل واضح عند ممارسة الأنشطة الرياضية، ولا سيما رياضات التحمل، التي تتطلب كفاءة عالية في عمليتي الشهيق والزفير لتعويض المستهلك من الأوكسجين والتخلص من نواتج العمليات الأيضية، وفي مقدمتها ثاني أوكسيد الكربون.



❖ تشريح الجهاز التنفسي ووظائفه

أولاً: الجهاز التنفسي العلوي (Upper Respiratory Tract)

1. **الأنف** :(Nose)

- التشريح :يتكون من فتحات أنفية خارجية، جوف أنفي مبطن بغشاء مخاطي غني بالشعيرات الدموية، وأهداب دقيقة.
- الوظائف:
  - تنقية الهواء من الغبار والجراثيم.
  - ترطيبه بفضل الإفرازات المخاطية.
  - تدفئته بسبب غزارة الأوعية الدموية.
  - الإحساس بالروائح عبر العصب الشمي.
- الأهمية الرياضية :إدخال هواء نظيف ودافئ للرئتين أثناء الجهد البدني.

2. البلعوم:(Pharynx)

- التشريح :أنبوب عضلي يقسم إلى: البلعوم الأنفي، الفموي، والحنجري.
- الوظائف:
  - ممر مشترك للهواء والغذاء.
  - يوجه الهواء للحنجرة.

3. الحنجرة:(Larynx)

- التشريح :تتكون من غضاريف (الدرقي، الحلقي) والحبال الصوتية ولسان المزمار.
- الوظائف:
  - مرور الهواء للقصبة الهوائية.
  - إنتاج الصوت.
  - حماية المجاري التنفسية من دخول الطعام.

ثانياً: الجهاز التنفسي السفلي (Lower Respiratory Tract)

1. القصبة الهوائية (Trachea):

- التشريح :أنبوب بطول 12 سم تقريبًا، يحتوي على 16–20 حلقة غضروفية.
- الوظائف:
  - توصيل الهواء للرئتين.
  - تنقيته وترطيبه بفضل الأهداب المخاطية.

2. الشعب الهوائية (Bronchi) :

- التشريح :تنقسم إلى شعبة يمنى (أعرض وأقصر) وشعبة يسرى (أضيق وأطول).
- الوظائف :توزيع الهواء داخل الرئتين.

3. القصيبات (Bronchioles):

- القصيبات النهائية:(Terminal bronchioles)
  - أصغر الفروع الهوائية الموصلة، مبطنة بظهارة مكعبة بسيطة، بلا غضاريف.
  - محاطة بعضلات ملساء تتحكم في قطرها.
  - التعصيب العصبي:
    - سمبثاوي يعمل على توسع القصيبات.
    - باراسمبثاوي (العصب المبهم) يعمل تضيق القصيبات .
- الأهمية :تتحكم في مقاومة مجرى الهواء، وتلعب دورًا مهمًا في حالات مثل الربو.

4. الحويصلات الهوائية (Alveoli):

- التشريح :أكياس هوائية عددها يقارب 300 مليون، مبطنة بخلايا رقيقة (Type I) وخلايا (Type II) التي تفرز Surfactant لمنع الانهيار.
- الوظائف:
  - تبادل الغازات بين الهواء والدم.($O_2 \leftrightarrow CO_2$)
  - توفير مساحة تبادل هائلة $\approx$ 70 م².

ثالثاً: الرئتان (Lungs) والأغشية

- الرئة اليمنى 3 :فصوص (علوي – أوسط – سفلي).
- الرئة اليسرى 2 :فصوص (علوي – سفلي) مع اللسينغولا بدل الفص الأوسط.

الأغشية المحيطة بالرئة:

1. الغشاء الحشوي :(Visceral pleura) يغطي سطح الرئة مباشرة.
2. الغشاء الجداري :(Parietal pleura) يبطن جدار الصدر والحجاب الحاجز.
3. السائل الجنبي:(Pleural fluid)
   - يقلل الاحتكاك بين الرئة وجدار الصدر.
   - يحافظ على ضغط سلبي يساعد على تمدد الرئتين.

رابعاً: العضلات التنفسية (Respiratory Muscles)

1. الحجاب الحاجز :(Diaphragm)

- أهم عضلة في التنفس.
- عند الانقباض ← يهبط للأسفل ← يزداد حجم الصدر ← يدخل الهواء (شهيق).
- عند الارتخاء ← يرتفع ← يقل حجم الصدر ← يخرج الهواء (زفير).

2. العضلات الوربية :(Intercostal muscles)

- الخارجية: ترفع الأضلاع (شهيق).
- الداخلية: تخفض الأضلاع (زفير قسري).

3. العضلات المساعدة:

- عضلات الرقبة(SCM) ، (Scaleneفي الشهيق الشديد.
- عضلات البطن في الزفير القسري.

- الأهمية الرياضية والفسيولوجية:
- الرياضي المدرب يتميز بـ:
  - زيادة حجم الشهي.(Tidal volume)
  - انخفاض معدل التنفس عند الراحة.

- كفاءة تهوية أعلى مقارنة بغير المدرب.
- القصيبات النهائية تلعب دورًا في تنظيم مقاومة الهواء أثناء الجهد.
- الأغشية الجنبية تسهل حركة الرئتين مع القفص الصدري عند التنفس المتكرر في التدريب.

أنواع التنفس

من الوجهة الفسيولوجية يمكن تقسيم التنفس إلى ثلاثة أنواع رئيسة:

التنفس الخارجي(External Respiration)

هو عملية انتقال الأوكسجين (O_2) من الهواء الجوي عبر الممرات الهوائية إلى الحويصلات الهوائية في الرئتين، حيث يتم تبادل الغازات في الشعيرات الدموية الرئوية، فيدخل الأوكسجين إلى الدم ويطرح ثاني أوكسيد الكربون (CO_2) إلى هواء الزفير.

التنفس الداخلي:(Internal Respiration)

ويقصد به انتقال الأوكسجين من الدم إلى أنسجة الجسم المختلفة، بالتوازي مع انتقال ثاني أوكسيد الكربون من الأنسجة إلى الدم. وهذه العملية تتم في مستوى الشعيرات الدموية النسيجية، وتُعد المرحلة الوسيطة بين نقل الغازات والتنفس الخلوي.

التنفس الخلوي:(Cellular Respiration)

وفيه يتم الاستهلاك الفعلي للأوكسجين داخل الخلايا لإنتاج الطاقة، من خلال الأكسدة البيولوجية للجزيئات الغذائية (الكربوهيدرات، الدهون، البروتينات) لإنتاج جزيئات الطاقة (ATP)وخلال هذه العملية يُستخدم الأوكسجين وتُطرح نواتجها الأيضية، وأهمها ثاني أوكسيد الكربون.

إن عملية التنفس وتبادل الغازات تُعد من أهم الوظائف الحيوية التي تضمن استمرارية الحياة، ويمكن النظر إليها من خلال أربع خطوات أساسية مترابطة يشارك فيها الجهاز التنفسي والدوري معًا لتحقيق الهدف الرئيس، وهو المحافظة على تزويد الخلايا بالأوكسجين والتخلص من ثاني أوكسيد الكربون.

التهوية الرئوية (Pulmonary Ventilation)

تُعد التهوية الرئوية الخطوة الأولى في عملية التنفس، إذ تتمثل في دخول الهواء الغني بالأوكسجين عبر المجاري التنفسية إلى الرئتين وصولًا إلى الحويصلات الهوائية، وخروج الهواء المحمل بثاني أوكسيد الكربون إلى الخارج. ويتحدد حجم التهوية الرئوية من خلال حاصل ضرب حجم هواء التنفس في عدد مرات التنفس بالدقيقة. ففي حالة الراحة يبلغ حجم التهوية الرئوية حوالي سبعة لترات في الدقيقة لدى الشاب السليم، بينما يزداد أثناء الجهد البدني ليصل إلى ما بين تسعين ومئة وعشرين لترًا في الدقيقة، وقد يصل عند الرياضيين ذوي الكفاءة العالية إلى مئة وثمانين لترًا في الدقيقة. ومن الناحية الفسيولوجية الرياضية، يتميز الرياضي المدرب بكفاءة تهوية أعلى نتيجة زيادة حجم الشهيق وانخفاض معدل التنفس في الراحة، مما يعكس التكيف الوظيفي الناتج عن التدريب المنتظم.

الانتشار الرئوي (Pulmonary Diffusion)

تمثل هذه المرحلة عملية تبادل الغازات في الرئتين، حيث ينتقل الأوكسجين من الحويصلات الهوائية إلى الدم في الشعيرات الدموية الرئوية، بينما ينتقل ثاني أوكسيد الكربون من الدم إلى الحويصلات ليطرح مع هواء الزفير. وتتم هذه العملية اعتمادًا على فروق الضغط الجزئي للغازات وبالانتشار البسيط دون الحاجة إلى صرف طاقة. وتكتمل عملية الانتشار في أقل من ثانية واحدة بفضل رقة الحاجز بين الحويصلات والشعيرات وكثافة شبكة الأوعية الدموية. ومن الناحية الرياضية، فإن التدريب المنتظم يحسن من التوزيع المتناغم بين التهوية والإرواء ويزيد من كفاءة التبادل الغازي حتى عند ارتفاع تدفق الدم أثناء الجهد الشديد.

نقل الغازات (Gas Transport)

تأتي هذه الخطوة بعد اكتمال التبادل الغازي في الرئتين، إذ يُنقل الأوكسجين من الدم الرئوي إلى أنسجة الجسم المختلفة، ويُنقل ثاني أوكسيد الكربون من الأنسجة إلى الدم لطرحه عبر الرئتين. ويتم نقل الأوكسجين بصورة أساسية من خلال ارتباطه بالهيموغلوبين مكونًا الأوكسي هيموغلوبين بنسبة تفوق 98%، بينما يبقى جزء بسيط منه ذائبًا في البلازما. أما ثاني أوكسيد الكربون فيُنقل بثلاث صور: جزء ذائب في البلازما، وجزء كبير على هيئة بيكاربونات (60–80%)، والباقي مرتبطًا بالهيموغلوبين على شكل كاربا مينو هيموغلوبين. ويكتسب هذا الجانب أهمية خاصة عند الرياضيين، إذ يؤدي الجهد البدني إلى انزياح منحنى تفكك الأوكسجين عن الهيموغلوبين(Bohr Effect) ، وهو ما يسهل وصول الأوكسجين إلى الأنسجة العضلية بفعل ارتفاع الحرارة وانخفاض درجة الحموضة. كما أن الرياضي المدرب يتمتع بارتفاع في عدد كريات الدم الحمراء وتركيز الهيموغلوبين مما يعزز كفاءة نقل الأوكسجين.

الانتشار الخلوي (Cellular Diffusion)

يُعرف أيضًا بالتنفس الداخلي، وهو المرحلة التي يتم فيها التبادل الغازي بين الدم وخلايا الأنسجة. ففي هذه العملية يدخل الأوكسجين إلى داخل الخلايا ويُستهلك في الميتوكوندريا لإتمام عمليات الأكسدة الحيوية للجزيئات الغذائية (الكربوهيدرات والدهون والبروتينات) بهدف إنتاج جزيئات الطاقة (ATP) الضرورية لانقباض العضلات وأداء الوظائف الحيوية المختلفة. وبالمقابل ينتقل ثاني أوكسيد الكربون الناتج عن الأيض من الخلايا إلى الدم ليعود ويُطرح عبر الرئتين. ومن الجوانب الفسيولوجية الرياضية لهذه المرحلة أن التدريب الهوائي يزيد من كثافة الميتوكوندريا في الألياف العضلية ومن نشاط الإنزيمات المؤكسدة، كما يزيد من عدد الشعيرات

الدموية المحيطة بالألياف، وهو ما يحسن من كفاءة استهلاك الأوكسجين ويؤخر تراكم حمض اللاكتيك أثناء الأداء الرياضي.

الضغط الجزئي للأوكسجين (PO_2) :

يُعرَّف الضغط الجزئي للأكسجين (pO2) بأنه مقياس التوازن بين توصيل الأكسجين واستهلاكه داخل الأنسجة ، مما يعكس الاحتياجات الأيضية والحالة الوظيفية لكل عضو. وهو بالغ الأهمية في تقييم أكسجة الأنسجة، حيث يشير انخفاض مستويات pO2 إلى حالات مثل نقص الأكسجين.

يُعد الضغط الجزئي للأوكسجين من المؤشرات الفسيولوجية المهمة، إذ يمثل القوة الدافعة لانتقال الأوكسجين من الهواء إلى الدم ثم إلى الأنسجة. ويتأثر بعدة عوامل منها الضغط الجوي والارتفاع عن سطح البحر، ونسبة الأوكسجين في الهواء المستنشق، فضلاً عن تأثير الرطوبة وبخار الماء على الضغط الكلي للغازات. ومن الناحية الرياضية، فإن التدريب في المرتفعات حيث ينخفض PO_2 يؤدي إلى تحفيز إفراز هرمون الإريثروبويتين (EPO) وزيادة إنتاج كريات الدم الحمراء، مما يرفع القدرة على نقل الأوكسجين عند العودة إلى مستوى سطح البحر.

الضغوط الجزئية للغازات

تُفسَّر عملية انتقال الغازات في الجهاز التنفسي اعتمادًا على مبدأ الضغوط الجزئية، أي أن كل غاز في خليط الغازات يمارس ضغطًا جزئيًا يتناسب مع نسبته المئوية من الضغط الجوي الكلي (وفق قانون دالتون). وعند مستوى سطح البحر يبلغ الضغط الجوي الكلي حوالي 760 ملم زئبق، وبما أن الهواء يحتوي على قرابة 21%أوكسجين و 0.03%ثاني أوكسيد الكربون

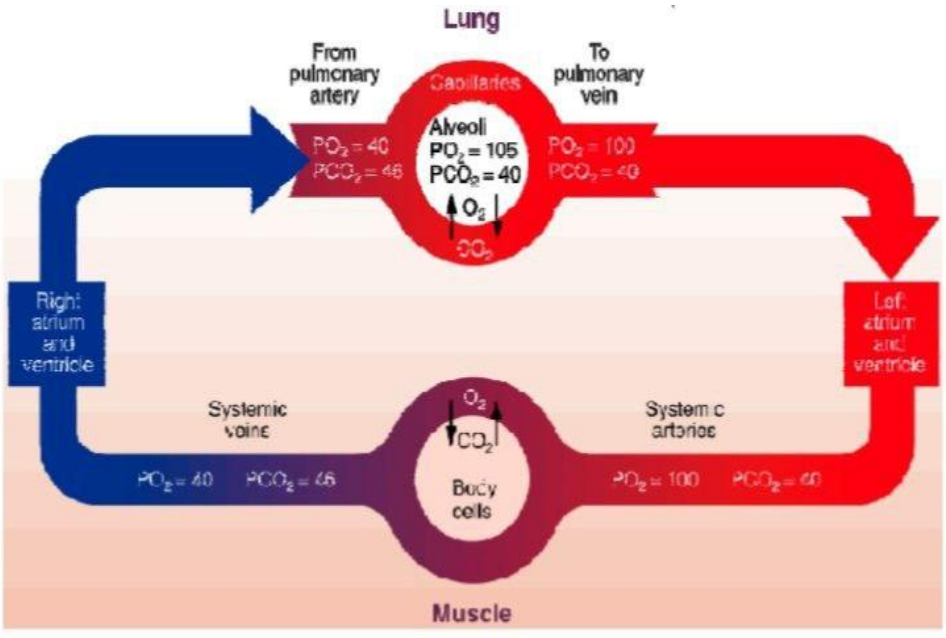
والباقي غاز نيتروجين مع بخار ماء بنسب متفاوتة، فإن الضغط الجزئي للأوكسجين (PO_2) في الهواء الجوي يبلغ حوالي 159ملم زئبق، بينما الضغط الجزئي لثاني أوكسيد الكربون (PCO_2)لا يتجاوز 0.3ملم زئبق.

عند دخول الهواء إلى الجهاز التنفسي يختلط مع بخار الماء، فينخفض الضغط الجزئي للأوكسجين في الهواء المرطب إلى حوالي 149ملم زئبق .وفي الحويصلات الهوائية، وبسبب عملية تبادل الغازات، ينخفض PO_2 أكثر ليصل إلى 100 ≈ملم زئبق، بينما يرتفع PCO_2 ليبلغ حوالي 40ملم زئبق .أما في الدم الوريدي القادم من الأنسجة، فإن PO_2 يكون بحدود 40ملم زئبق و PCO_2بحدود 46ملم زئبق، مما يخلق فرق ضغط واضح يسمح بانتشار الأوكسجين من الحويصلات إلى الدم، وثاني أوكسيد الكربون من الدم إلى الحويصلات.

وعلى مستوى الأنسجة، يصل الضغط الجزئي للأوكسجين إلى حدود 30–20ملم زئبق في الأنسجة النشطة مثل العضلات العاملة أثناء الجهد، وهو ما يزيد من انحدار التدرج الضغطي بين الدم (≈ 100 ملم زئبق) والأنسجة، مما يسهّل عملية انتقال الأوكسجين إليها. وفي المقابل، يرتفع PCO_2 في الأنسجة النشطة نتيجة زيادة الأيض ليصبح أعلى من نظيره في الدم، مما يدفعه للانتقال باتجاه الدم ليطرح لاحقًا عبر الرئتين.

من الناحية الرياضية، يُعَد هذا التدرج في الضغوط الجزئية للغازات من العوامل الحاسمة التي تفسر كفاءة الرياضي المدرب، إذ إن التدريب المستمر يُحسّن من استغلال الفروق بين الضغوط الجزئية ويزيد من سرعة تبادل الغازات. ويظهر ذلك بشكل أوضح عند المقارنة بين الفرد الرياضي وغير الرياضي، حيث يكون الأوكسجين في العضلة المدربة قادراً على الانتقال بفعالية حتى عند مستويات منخفضة منPO_2 ، بينما يزداد التخلص من ثاني أوكسيد الكربون بفاعلية أكبر. كما أن التدريب في المرتفعات يؤدي إلى خفض PO_2 في الهواء المستنشق

نتيجة لانخفاض الضغط الجوي، الأمر الذي يحفز الجسم على زيادة إنتاج كريات الدم الحمراء ورفع تركيز الهيموغلوبين للتغلب على هذا النقص.



أهميته السريرية:

- **تقييم وظائف الرئة:** يقيس الضغط الجزئي للأكسجين في الدم الشرياني (PaO_2) مدى كفاءة الرئتين في نقل الأكسجين إلى الدم، وهو مؤشر حيوي في تشخيص أمراض الجهاز التنفسي .
- **مراقبة العلاج بالأكسجين:** يساعد تكرار قياس PaO_2 في تقييم مدى فعالية العلاج بالأكسجين وتعديل الجرعات لضمان حصول الأنسجة على كمية كافية من الأكسجين .
- **تشخيص الحالات الحرجة:** يشير انخفاض PaO_2 في حالات الفشل التنفسي إلى نقص حاد في الأكسجين، بينما يشير ارتفاعه المفرط إلى حالة تسمى فرط الأكسجين، والتي قد تكون سامة في بعض الحالات.

التهوية الرئوية في حالة الراحة

تُعَد التهوية الرئوية أثناء الراحة عملية دورية ناتجة عن تتابع الشهيق والزفير، وهي تختلف قليلًا بين الأفراد تبعًا لعوامل مثل حجم الجسم وبعض الخصائص الفسيولوجية الأخرى. ويُطلق على حجم الهواء الداخل إلى الرئتين في الدقيقة الواحدة مصطلح التهوية الدقيقة (Minute Ventilation) ، والتي تساوي حاصل ضرب حجم الهواء الداخل في الشهيق الواحد (الحجم الجاري Tidal Volume) في عدد مرات التنفس بالدقيقة. وقد وجد أن متوسط حجم الهواء الجاري في الشهيق الواحد يبلغ حوالي **500 سم³ (0.5 لتر)**، في حين يبلغ معدل مرات التنفس نحو **16 مرة في الدقيقة**، وبذلك تكون التهوية الرئوية في الراحة حوالي **8 لترات/دقيقة** تقريبًا. وهذه القيمة تعكس الحد الأدنى من احتياجات الجسم للأوكسجين والتخلص من ثاني أوكسيد الكربون في حالة الاستقرار الفسيولوجي .

التهوية الرئوية أثناء التمرينات

تزداد التهوية الرئوية بوضوح عند ممارسة التمرينات البدنية استجابة لزيادة استهلاك الأوكسجين وإنتاج ثاني أوكسيد الكربون من العمل العضلي. وتتوافق كمية الهواء المتنفس في الدقيقة مع كل من كمية الأوكسجين المستهلك وثاني أوكسيد الكربون الناتج عن الأكسدة، الأمر الذي يوضح العلاقة المباشرة بين التهوية وحجم الحمل البدني المبذول. وقد وُجد أن التهوية الرئوية في الفرد غير المدرب قد تصل إلى نحو **130 لتر/دقيقة** عند الجهد الأقصى، في حين يمكن أن تبلغ في الفرد المدرب حوالي **180 لتر/دقيقة** أو أكثر. أما التهوية الرئوية القصوى (Maximal Voluntary Ventilation) لدى الرياضيين من كلا الجنسين فقد تتجاوز

180 لتر/دقيقة مقارنةً بـ 8 لترات/دقيقة فقط أثناء الراحة، أي بزيادة تعادل ما بين 20 – 25 ضعفًا

وتحدث هذه الزيادة الكبيرة في التهوية من خلال آليتين أساسيتين:

أولا/زيادة عمق التنفس: بفضل القوة المكتسبة في عضلات التنفس، إذ قد يرتفع الحجم الجاري من 500 سم³ إلى ما يقارب 800 سم³ أو أكثر في كل شهيق.

ثانيا/زيادة معدل التنفس: حيث يمكن أن يرتفع عدد مرات التنفس من 16 مرة في الراحة إلى أكثر من 25 مرة في الدقيقة أثناء التمرين المكثف.

ومن الجدير بالذكر أن التهوية الرئوية لا تتغير فقط أثناء التمرينات، بل يظهر تغيرها أيضًا قبل التمرين نتيجة الاستعداد الفسيولوجي (التهيؤ العصبي والنفسي)، وأثناء الأداء، وكذلك بعد التمرين في مرحلة الاستشفاء، حيث تبقى مرتفعة نسبيًا لتلبية حاجة الجسم المستمرة إلى الأوكسجين وللتخلص من تراكم ثاني أوكسيد الكربون. وكل هذه التغيرات تتناسب طرديًا مع شدة التمرين ودرجة الحمل الواقع على الفرد الرياضي.

الفروق بين الرياضي المدرب وغير المدرب في الكفاءة التهووية

تُظهر الدراسات الفسيولوجية أن هناك فروقًا واضحة في استجابات التهوية الرئوية بين الأفراد المدربين رياضيًا وغير المدربين. ففي حالة الراحة تكون قيم التهوية الرئوية متقاربة نسبيًا بين المجموعتين (حوالي 6 – 8 لترات/دقيقة)، إلا أن الاختلاف الجوهري يظهر عند ممارسة التمرينات، ولا سيما عند الاقتراب من الجهد الأقصى.

فالرياضي المدرب يتميز بزيادة عمق الشهيق (Tidal Volume)مع انخفاض نسبي في معدل التنفس (Respiratory Rate) مقارنة بغير المدرب عند نفس الشدة من الجهد،

وهو ما يؤدي إلى دخول كمية أكبر من الهواء المؤكسج إلى الحويصلات مع استهلاك أقل للطاقة في عمل عضلات التنفس. أما غير المدرب، فإنه يعوض احتياجاته من الأوكسجين أساسًا بزيادة معدل التنفس، مما يؤدي إلى تهوية سطحية غير فعّالة (Shallow Breathing) تقلل من كفاءة التبادل الغازي.

ويُعبر عن هذه الكفاءة بمؤشر الكفاءة التهووية (Ventilatory Efficiency) والذي يُحسب بنسبة التهوية الرئوية إلى كمية الأوكسجين المستهلك (VE/VO_2). وكلما انخفضت هذه النسبة عند شدة جهد معينة دل ذلك على كفاءة أعلى، أي أن الفرد يستطيع الحصول على كمية أكبر من الأوكسجين بكمية أقل من الهواء المتنفس.

- ✓ **في غير المدربين قد تصل قيمة VE/VO_2 عند الجهد الأقصى إلى حدود 40 – 35 لتر/لتر.O_2**
- ✓ **في الرياضيين المدربين تنخفض هذه القيمة إلى حدود 25 – 20لتر/لترO_2 ، مما يعكس تحسنًا واضحًا في الكفاءة التهووية.**

ومن الناحية العملية، فإن هذه الفروق تفسر قدرة الرياضي المدرب على تحمل مستويات جهد بدني أعلى لفترات أطول، بفضل الاقتصاد في استهلاك الطاقة الموجهة لعمل عضلات التنفس، وزيادة فاعلية التبادل الغازي في الرئتين والأنسجة.

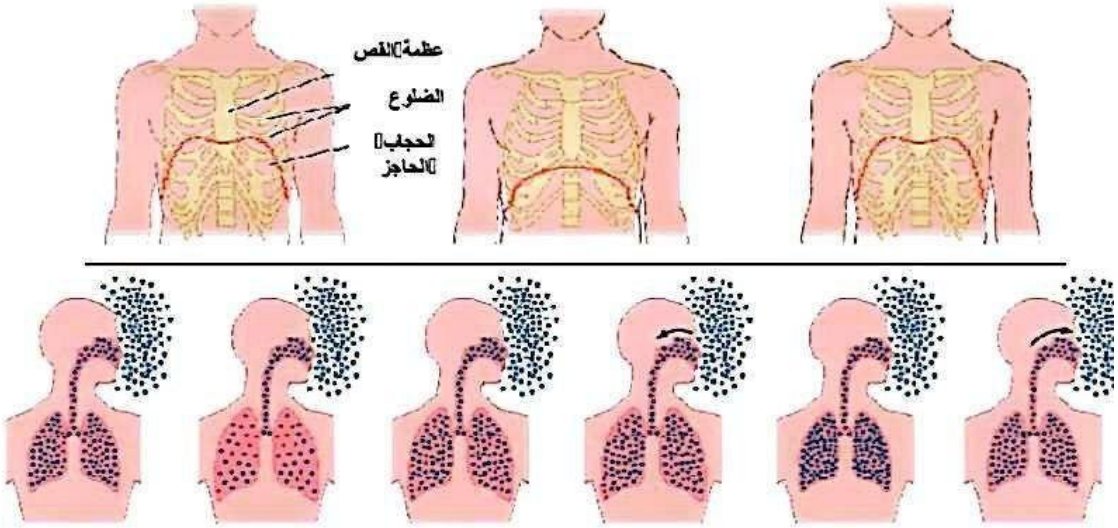
المراكز العصبية للتنفس

يوجد ثلاث مراكز عصبية للتنفس هي:

- **مركز الشهيق :** يوجد في النخاع المستطيل وله نشاط واضح حيث يقوم بأرسال سلسلة من الإشارات العصبية إلى عضلات التنفس عن طريق النخاع

الشوكي ، وهذه الإشارات العصبية هي التي تؤدي إلى انقباض عضلات التنفس ، وهكذا يحدث الشهيق.

- **مركز الزفير:** يوجد أيضاً بالقرب من مركز الشهيق ، وهما مرتبطان في نشاطهما ، فإذا نشط مركز الزفير يهبط نشاط مركز الشهيق ، وعادة لا يرسل مركز الزفير إشارات إلى عضلات التنفس لذلك فإن عملية الزفير تعتبر عملية سلبية تحدث نتيجة ارتخاء عضلات التنفس
- **مركز تنظيم التنفس:** يوجد في القنطرة النخاعية ، وفي إمكان هذا المركز إيقاف نشاط (مركز الشهيق) ولذلك يبدأ الزفير ، وقد اثبت بالتجربة أن مركز تنظيم التنفس لا يلعب دور مهما في تنظيم التنفس الطبيعي حيث إن العامل المهم في ذلك هو نشاط العصب الحائر وتختلف عملية تنظيم التنفس باختلاق عمر الأنسان والجهد ودرجة الحرارة والضغط الجوي وحالات المرض. (5)



شكل يوضح (عملية الشهيق والزفير)

تنظيم الأعصاب للتنفس أثناء الجهد والعلاقة مع الأداء الرياضي

◆ أولاً: التنظيم العصبي للتنفس

عملية التنفس ليست إرادية بحتة، بل يتحكم بها الجهاز العصبي عبر مراكز رئيسة:

1. المراكز التنفسية في النخاع المستطيل:(Medulla Oblongata)

- مركز الشهيق :(Inspiratory center) يرسل إشارات عبر العصب الحجابي (Phrenic nerve)والعصب الوربي إلى عضلات التنفس ← انقباض الحجاب الحاجز والعضلات الوربية الخارجية ← الشهيق.
- مركز الزفير (Expiratory center): ينشط أثناء الجهد العالي فقط ← يرسل إشارات للعضلات الوربية الداخلية وعضلات البطن ← زفير قسري.

2. المراكز في الجسر:(Pons)

- المركز الهوائي (Pneumotaxic center): ينظم مدة الشهيق ويمنع فرط التمدد.
- المركز الأبيني (Apneustic center) :يطيل الشهيق إذا لزم.

3. المستقبلات الكيميائية(Chemoreceptors):

- مركزية (Central) :في النخاع، تستجيب لارتفاع CO_2 وانخفاض pH.
- طرفية (Peripheral): في جدار الشريان السباتي والأبهر،تستجيب لانخفاض O_2.

4. التعصيب الذاتي للقصيبات:(Autonomic innervation)

- سمبثاوي : يسبب توسع القصيبات ← (Bronchodilation) زيادة تدفق الهواء.
- باراسمبثاوي (العصب المبهم) :يسبب تضيق القصيبات.

- **ثانياً: التنظيم العصبي أثناء الجهد الرياضي**

- عند بدء التمرين يحدث تهيؤ عصبي:(Neural anticipation)
  - القشرة الدماغية ترسل إشارات استباقية للمراكز التنفسية ← يزداد معدل التنفس قبل أن ترتفع تراكيز CO_2 فعليًا.
- أثناء الجهد:
  - زيادة CO_2 وحمض اللاكتيك تحفز المستقبلات الكيميائية ← زيادة عمق ومعدل التنفس.
  - زيادة النشاط الحركي للعضلات ينبه المستقبلات الميكانيكية ← تعزيز التهوية.
  -

<u>العلاقة مع الأداء الرياضي</u>

1_في الرياضات الهوائية:(Aerobic sports)

مثل الجري لمسافات طويلة، السباحة، ركوب الدراجات.

- التنظيم العصبي يعمل على:
  - زيادة عمق الشهيق (Tidal volume) أكثر من معدل التنفس.
  - الحفاظ على فعالية التهوية.(Ventilatory efficiency)
- التكيفات:
  - زيادة عدد الشعيرات الدموية في الرئة والعضلات.
  - زيادة حساسية المستقبلات الكيميائية للأكسجين.

- انخفاض(VE/VO_2) أي أن كمية أقل من الهواء تكفي لتوفير الأكسجين اللازم

2.في الرياضات اللاهوائية(Anaerobic sports):

مثل رفع الأثقال، السباحة القصيرة، كرة القدم داخل الصالات.

- التنظيم العصبي يؤدي إلى:
  - زيادة **معدل التنفس السريع (Hyperventilation)** لمعادلة تراكم CO_2 وحمض اللاكتيك.
  - الاعتماد أكثر على **الزفير القسري** لإخراج CO_2 بسرعة.
- النتيجة:
  - ارتفاعVE/VO أي تهوية عالية مقابل استهلاك أقل منO2
  - تعب أسرع للجهاز التنفسي بسبب التحميل الزائد على العضلات المساعدة للتنفس.

- الفرق بين التحمل الهوائي والقدرات اللاهوائية على الجهاز التنفسي

الجانب	رياضات التحمل (هوائية)	رياضات القدرات (لاهوائية)
معدل التنفس	منخفض نسبيًا عند نفس الشدة	مرتفع وسريع (Hyperventilation)
عمق التنفس	عميق ومنتظم	سطحي وسريع
الكفاءة التهووية VE/VO_2	منخفضة (20–25 لتر/لتر O_2)	مرتفعة (35–40 لتر/لتر O_2)
التكيفات	↑ الشعيرات الدموية، ↑ الميتوكوندريا، ↑ فعالية التبادل الغازي	↑ قوة العضلات التنفسية، ↑ القدرة على تحمل تراكم Lactate والـ CO_2
الأداء	القدرة على الاستمرار لفترات طويلة	قدرة عالية ولكن زمن قصير

التكيفات العامة للجهاز التنفسي:

1- زيادة كفاءة التنفس ← بحيث يحصل الجسم على كمية أكبر من الأكسجين ويطرح ثاني أكسيد الكربون بسهولة أكبر.

2 - زيادة سعة الرئة ← يعني أن الرئة تصبح قادرة على استيعاب هواء أكثر.

3 - تحسن عمل الحويصلات الهوائية ← لتسهيل تبادل الغازات بين الهواء والدم.

4 - زيادة قوة عضلات التنفس (مثل الحجاب الحاجز) ← فيصبح الشهيق والزفير أسهل وأكثر فعالية.

5 - زيادة التروية الدموية للرئتين ← أي وصول دم أكثر إلى الحويصلات لنقل الأكسجين بكفاءة.

6 - ارتفاع قدرة الجسم على التحمل ← لأن الأنسجة تحصل على الأكسجين الكافي وتنتج طاقة أفضل.

معامل التنفس

يعرف على انه نسبة حجم غاز ثاني اوكسيد الكاربون المطرود في عملية الزفير إلى حجم الأوكسجين المستهلك خلال مدة زمنية معينة ، وهذه النسبة تتوقف بشكل اساسي على نوع المادة الغذائية المستخدمة في عمليات الأكسدة للحصول على الطاقة ، اذ أن في الكاربوهيدرات يكون واحد صحيحاً أي ان حجم ثاني اوكسيد الكاربون المطرود المطرود يساوي حجم الأوكسجين المستهلك ، اما في الدهون يكون اقل من الواحد صحيح بحدود (٠.٧) أي انه لا يستخدم الأوكسجين كله في عمليات الأكسدة لان الجزء الآخر يستعمل لأكسدة الهيدروجين منتجاً الماء ، وفي البروتينات يصل معامل التنفس الى(0.81)

اختبارات الوظائف الرئوية

عند إجراء اختبار الوظائف الرئوية فيمكن الحصول على معلومات قيمة عن:

- ❖ قوة عضلات التنفس
- ❖ الخصائص الميكانيكية للرئتين والقفص الصدري.
- ❖ كفاءة عملية التبادل الغازي.

وعلى الرغم من أن الاختبارات الرئوية تعتبر أكثر دلالة في عملية الكشف عن الأمراض الرئوية والتنفسية ومدى تأثير المعالجة عليها، إلا أنها أيضاً مهمة في معرفة تأثير التدريب البدني على الوظائف الرئوية خاصة الحركية منها ، وتتم عملية قياس الوظائف الرئوية بواسطة أجهزة قياس الوظائف الرئوية أو السبيروميتر) سواء ما كان منها معتمداً على الأنواع القديمة مثل السبيروميتر الماني أو الأنواع الحديثة مثل (السبيروميتر الجاف).

ويمكن تقسيم الوظائف الرئوية عموماً إلى :

- ✓ **وظائف رئوية ساكنة :** ويقصد بالوظائف الرئوية الساكنة تلك الوظائف التي يتم من خلالها قياس السعة بغض النظر عن الزمن المنجز، أي أننا نقيس الحجم فقط، وليس ول و قرى العراء الكبير الشيعة معدل دخول الهواء المرتبط بزمن محدد.

وظائف رئوية حركية : هي عكس الوظائف الرئوية الحركية التي ترتبط بمعدل دخول الهواء، وتعكس الوظائف الرئوية الحركية قدرة الجهاز الرئوي على العمل، من خلال قوة العضلات التنفسية والخواص المطاطية للرئتين.

الوظائف الرئوية الساكنة (Static lung function)

وتتمثل الوظائف الرئوية الساكنة في الأحجام والسعات الرئوية التالية:

حجم التنفس (عمق التنفس) (Tidal volume) : هو حجم هواء الشهيق أو الزفير في دورة تنفسية واحدة ويصل في المتوسط أثناء الراحة من ٥٠٠ إلى ٦٠٠ ملي لتره وهو أيضاً حجم الهواء الذي يدخل الرئتين أثناء الشهيق ويغادرها أثناء الزفير.

الحجم الشهيقي المدخر (Inspiratory reserved volume) : هو أقصى كمية من الهواء يمكن استنشاقها بعد نهاية دورة تنفسية أي بعد الحد الشهيقي لحجم التنفس) ويصل هذا الحجم في المتوسط إلى ٣٠٠٠ ملي لتر.

الحجم الزفيري المدخر (Expiratory reserved volume) : هو أقصى كمية من الهواء يمكن إخراجها من الرئة بعد نهاية دورة تنفسية أي بعد الحد الزفيري لحجم التنفس، ويصل هذا الحجم في المتوسط إلى ١٥٠٠ ملي لتر.

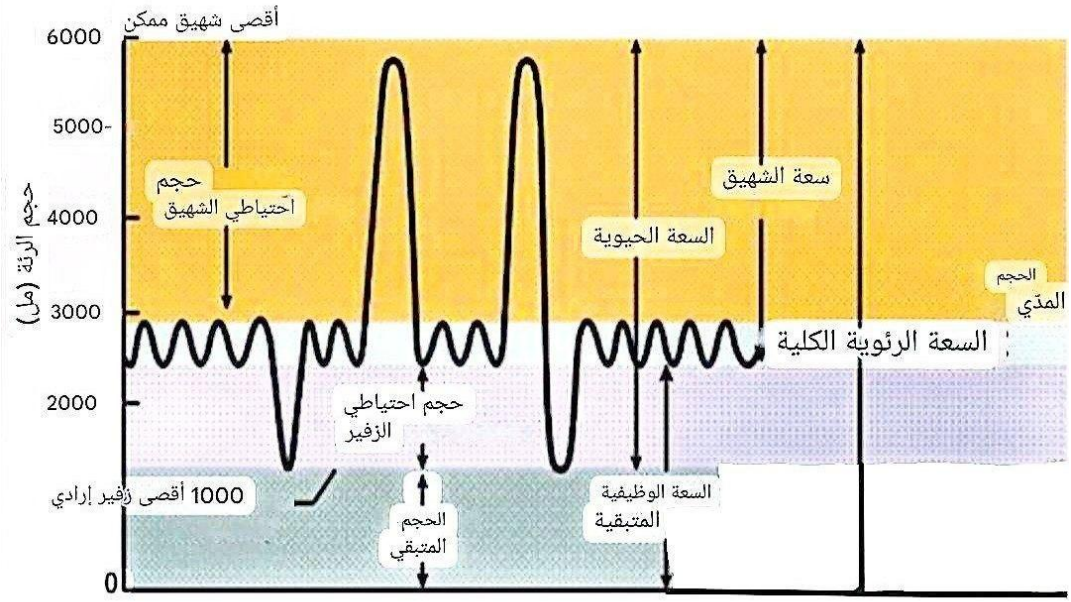
الحجم المتبقي : (Residual volume) : هو حجم الهواء المتبقي داخل الرئة بعد أقصى زفير ممكن أي بعد محاولة إخراج كل ما يمكن إخراجه من هواء داخل الرئتين) ويصل في المتوسط من (١١٠٠ - ١٣٠٠) مليلتر وهو حجم من الهواء يبقى دائماً في الرئتين ولا يمكن إخراجه من الرئتين حتى عند أقصى زفير ممكن، ومع ذلك يمكن قياس هذا الحجم أو تقديره بعدة طرق منها استنشاق الهيليوم، أو الاعتماد على بعض المعادلات التقديرية المبنية على العمر والطول.

السعة الشهيقية (Inspiratory capacity) : هي أقصى كمية من الهواء يمكن إدخالها إلى الرئتين بعد الحد الزفيري لحجم التنفس، أي أنها تساوي في الواقع مجموع حجمين هما حجم التنفس والحجم الشهيقي المدخر، وتصل في المتوسط إلى ٣٥٠٠ مليليتر.

السعة الزفيرية (Expiratory capacity) : هي أقصى كمية من الهواء يمكن إخراجها من الرئتين بعد الحد الشهيقي لحجم التنفس، أي أنها تساوي في الواقع مجموع حجمين هما حجم التنفس والحجم الزفيري المدخر، وتصل في المتوسط إلى ٢٠٠٠ مليليتر.

السعة الحيوية (Vital capacity) : هي أقصى كمية من الهواء يمكن إخراجها من الرئتين بعد أن يأخذ الفرد أعمق شهيق ممكن بدون الاعتبار للوقت المستغرق وتصل في المتوسط من ٥٠ - ٤٨٠٠ مليلتر وهي تتأثر بحجم القفص الصدري، ولهذا نجد أن الأفراد ذوي الأجسام الطويلة والضخمة يمتلكون في الغالب سعة حيوية كبيرة قد تصل إلى 7 لترات أو تتجاوزها.

السعة الرئوية الكلية (Total lung capacity) : هي أقصى سعة ممكنة لاستيعاب الهواء داخل الرئتين، وتساوي مجموع السعة الحيوية والحجم المتبقي.



شكل رقم (١) رسم بياني لنتيجة مناورة الوظائف الرئوية لشخص سعته الرئوية الكلية تبلغ ٦ لترات، وتظهر الأحجام والسعات الرئوية المختلفة خلال المناورة بوضوح تام، كما يمكن حساب الحجم أو السعة بالقيام بعد المربعات البيانية داخل الرسم، حيث يساوي كل مربع ٢٥٠ ملي لتر، ولمزيد من التفاصيل حول تعريفات الأحجام والسعات الرئوية يمكن الرجوع إلى متن الكتاب (المصدر McArdle, et al, Exercise Physiology, 1991: 240).

الوظائف الرئوية الحركية (Dynamic lung function)

تسمى هذه الوظائف بالحركية لأن أداءها يرتبط ببذل جهد في أقصر زمن ممكن، لذا تجد أنها تسجل باللتر في الدقيقة | يمكن من خلال مناورة الوظائف الرئوية الحركية التعرف أيضاً على معدل جريان الهواء.

الحجم الزفيري القسري عند الثانية الأولى

(Forced expiratory volume one second)

هو حجم الهواء الذي يمكن إخراجه من الرئتين في نهاية الثانية الأولى بعد أن يأخذ المفحوص اعمق شهيق ممكن، وهو مؤشر جيد على قوة عضلات التنفس وسلامة الجهاز الرئوي من الأمراض التنفسية.

كما يمكن أيضاً استخدام نسبة الحجم الزفيري القسري عند الثانية الأولى إلى السعة الحيوية القسرية (Forced vital capacity) كمؤشر السلامة الجهاز التنفسي من الأمراض التنفسية، وهذه النسبة ينبغي أن لا تقل عن ٧٥ % من السعة الحيوية القسرية.

الحجم الزفيري القسري عند الثانية الثالثة

(Forced expiratory volume three second)

هو حجم الهواء الذي يمكن إخراجه من الرئتين في نهاية الثانية الثالثة بعد أن يأخذ المفحوص أعمق شهيق ممكن، وهو أيضاً مؤشر جيد وأكثر دلالة من الحجم الزفيري الفري عند الثانية الأولى للكشف عن بعض الأمراض التنفسية، ويتم الحصول على هذين الحجمين السابقين بعمل مناورة السعة الحيوية القسرية.

الإمكانية التنفسية القصوى

(Maximal voluntary ventilation)

تسمى أيضاً التهوية الرئوية الطوعية القصوى، ويتم معرفة هذه الإمكانية بعمل مناورة التنفس بأقصى شهيق وزفير ممكن لمدة ١٢ ثانية ثم تعدل هذه إلى دقيقة بضربها في الرقم خمسة، وبهذا تحصل على كمية الهواء التي يمكن استنشاقها وإخراجها من الرئتين بأقصى سرعة في دقيقة واحدة ، وتصل هذه الإمكانية في المتوسط لدى الشاب إلى حوالي ١٥٠ لتراً في الدقيقة، وقد ترتفع إلى ١٨٠ لتراً في الدقيقة أو تزيد لدى بعض الرياضيين ذوي الكفاءة العالية.

احتياطي التنفس (Breathing reserve)

يتم حساب احتياطي التنفس وكذلك نسبة احتياطي التنفس من خلال المعادلتين التاليتين:

احتياطي التنفس (لتر / دقيقة - الإمكانية التنفسية القصوى - حجم التهوية الرئوية القصوى

نسبة احتياطي التنفس (%) - (الإمكانية التنفسية القصوى - حجم التهوية الرئوية القصوى) الإمكانية التنفسية القصوى × ١٠٠

ما هي الوظائف التي يقوم بها الجهاز التنفسي غير عملية التنفس ؟

1- المساهمة في توازن درجة الحموضة (PH) في الدم.

2- الإحساس بالروائح (الشم) .

٣ -المساعدة في انتاج الصوت والكلام.

٤ – المحافظة على درجة الحرارة.

ه - المحافظة على التوازن المائي.

س / فسّـر لمـاذا يضـعف أداء الرياضـي فـي الأجـواء شـديدة البـرودة، مـع التركيـز علـى التغيرات التي تحدث على مستوى الحويصلات الهوائية وعملية تبادل الغازات؟

س/ فسّـر لمـاذا يضـعف أداء الرياضـي فـي الأجـواء شـديدة الحـرارة، مـع التركيـز علـى التغيرات التي تحدث على مستوى الحويصلات الهوائية وعملية تبادل الغازات؟