# الفصل العاشر

# الجهاز التنفسي

- ❖ تركيب الجهاز التنفسي.
- ❖ ميكانيكية التنفس.
- ❖ العوامل التي تؤثر على عمليات التنفس.
- ❖ مؤشرات لياقة الجهاز التنفسي للأشخاص الأصحاء البالغين.
- ❖ الأحجام والسعات الرئوية.
- ❖ الجهاز التنفسي والنشاط الرياضي.

# الفصل العاشر

# الجهاز التنفسي

**الغرض الرئيسي من الجهاز التنفسي هو توفير التبادل الغازي الفعال بين البيئة الخارجية والجسم وهذا يعني إن الجهاز التنفسي يوفر للشخص أسلوب تعويض ($O_2$) وإزالة ($CO_2$) من الدم تبادل ($O_2$) و($CO_2$) بين الرئة والدم كنتيجة للتهوية والتنافذ بحيث يشير مصطلح التهوية إلى العملية الميكانيكية لحركة الهواء إلى داخل وخارج الرئة، أما التنافذ فهو حركة عشوائية للجزيئات من المناطق عالية التركيز إلى المناطق المنخفضة التركيز وبسبب إن ضغط ($O_2$) في الرئة أكبر منه الدم يتحرك ($O_2$) من الرئة إلى الدم، وبطريقة مشابهة فإن ضغط أو شد ($CO_2$) في الدم أعلى من ضغط ($CO_2$) في الرئة ولذا يتحرك ($CO_2$) من الدم إلى الرئة وهذا يسمى الشهيق ويظهر التنافذ في الجهاز التنفسي بسرعة بسبب وجود مساحة سطح واسعة جداً داخل الرئة والمساحة التنافذية الصغيرة جداً بين الدم والغازات في الرئة والحقيقة ($O_2$) و($CO_2$) في الدم على الأغلب يترك الرئة في حالة توازن كامل فهذا يتم بواسطة مستلمات كيميائية تتواجد في المراكز التنفسية أو مستلمات كيميائية محيطية في الجسم والمشكلة هنا هي في ارتفاع تركيز ثاني اوكسيد الكربون في الدم حيث تقوم تلك المستلمات بإنذار الجسم لتحقيق الاستقرار التجانسي في الجسم ومن ثم استمرار الأفراد بإدامة عملية التنفس سواء كان في الراحة أو في الجهد، وكمثال على ذلك فعندما تبلغ نسبة غاز ثاني اوكسيد الكربون (3)% تصبح الحركات**

**التنفسية عميقة وسريعة وعندما تصل تلك النسبة إلى (6)% فيحدث إخفاق في عمل القلب والحركات التنفسية وهذا يعني ارتفاع تركيز ($CO_2$) في هواء الحويصلات وفي الدم الشرياني مما يحفز المستلمات الكيميائية في المركز التنفسي وفي الجسم فيحدث أن تكون هناك زيادة في الحركات التنفسية وارتفاع معدل التهوية وبالتالي انخفاض تركيز ($CO_2$) في الحويصلات والدم الشرياني فتعود الحركات التنفسية إلى ما كانت عليه أي إلى وضعها الطبيعي مع وجود شد إلى ($O_2$) و ($CO_2$) من داخل الرئة وهو كشهادة على الفعالية العالية لوظيفة الرئة الطبيعية وعلى هذا الأساس سنرى نوعين من التنفس:**

**1-التنفس الخارجي:-**

**يتمثل التنفس الخارجي بمرحلتين هما:**

**أ- مرحلة تعاطي الهواء الخارجي بواسطة الأنف والفم إلى المجاري التنفسية العليا والسفلى حتى يصل الحويصلات.**

**ب- مرحلة تنافذ الغازات كالأوكسجين وثاني أوكسيد الكربون بين الهواء الحويصلي والدم عبر الأغشية الجدارية الرقيقة للحويصلات والشعيرات الدموية.**

**2-التنفس الداخلي:-**

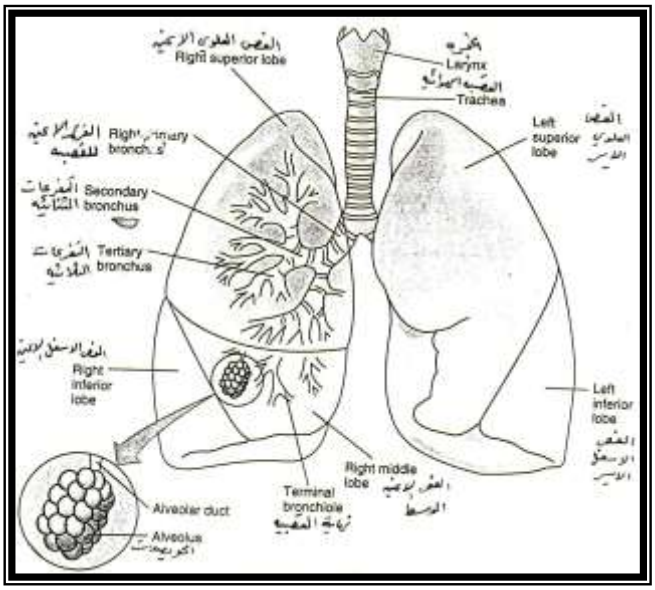
**يتمثل التنفس الداخلي بمرحلتين أيضاً هما:**

**أ- مرحلة تنافذ الغازات كالأوكسجين وثاني أوكسيد الكربون بين الدم وخلايا الأنسجة المختلفة.**

**ب- مرحلة الأكسدة والاحتراق داخل الأنسجة الجسمية المختلفة، وتتم هذه المرحلة بمساعدة فعل الأنزيمات وتنتهي بتكوين الطاقة والمخلفات.**

## تركيب الجهاز التنفسي:

**يتكون الجهاز التنفسي البشري من مجموعة من الممرات تعمل على تصفية الهواء ونقله إلى داخل الرئة، حيث مكان ظهور التبادل الغازي داخل جيوب هوائية صغيرة جداً تدعى الحويصلات. صُورت المكونات الرئيسية للجهاز التنفسي في الشكل رقم (15) تشمل أعضاء الجهاز التنفسي الأنف، التجويف الأنفي، الحنجرة، القصبة الهوائية، شجرة المجاري الهوائية والرئتان اليمنى واليسرى.**




**الشكل رقم (15)**

**التفرعات التي تكون المسارات التي توصل بين القصبة الهوائية والحويصلات الرئوية**

**التفرعات**

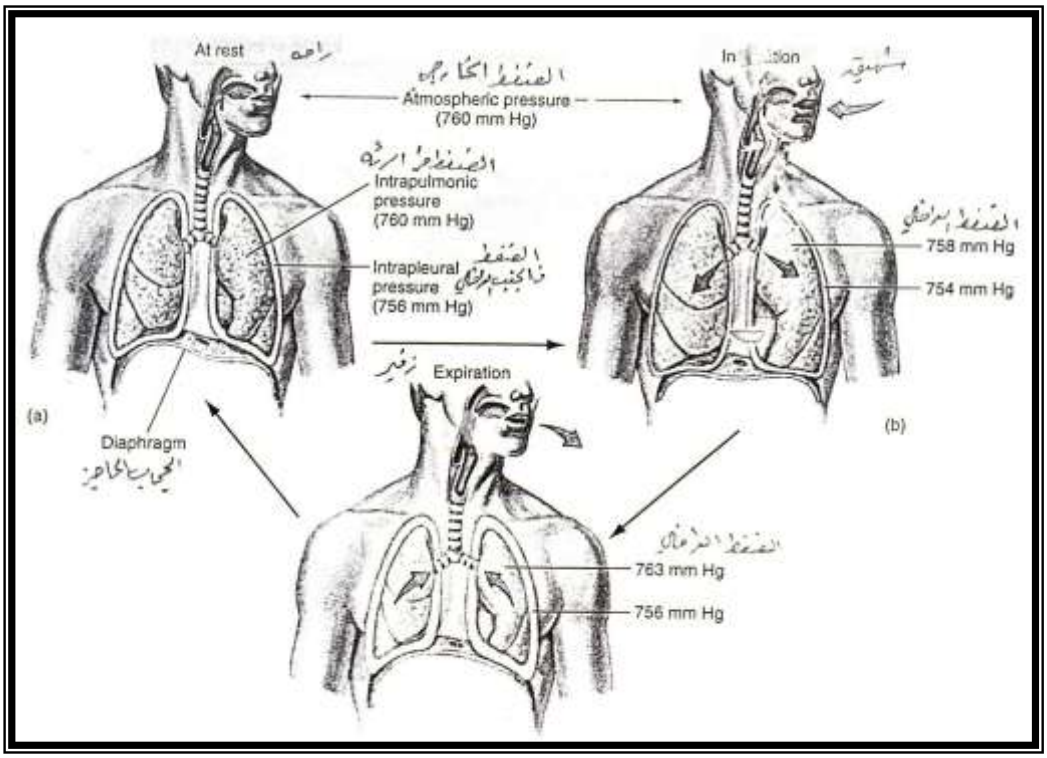
**أما الوضع التشريحي للرئة وعلاقتها بعضلة الشهيق الرئيسية والحجاب الحاجز موضح في صورة الشكل رقم (16) ومن الملاحظ إن الرئة اليمنى واليسرى مغلفة بواسطة مجموعة من الأغشية تُعرف بغشاء الجنب يلتصق الجيب الحشوي على السطح الخارجي للرئة، في حين يبطن غشاء الجنب الجدار الداخلي للقفص الصدري والحجاب الحاجز يفصل هذان الغشاءان بطبقة سميكة من السائل الذي يعمل كزيت مخفف للاحتكاك لكي يسمح بالحركة الانزلاقية لجدار الجنب أحدهما فوق الآخر، هذا الضغط داخل تجاويف غشاء الجنب (الضغط الداخلي الجنبي) هو أقل من الضغط الجوي ويصبح حتى أقل عند الشهيق مما يسبب اندفاع الهواء للرئة، حقيقة إن الضغط الداخلي الجنبي هو أقل من الضغط الجوي له أهمية كبيرة جداً بسبب إنه يمنع فشل دخول أجزاء الهواء إلى الجيوب داخل الرئة.**

**وينقسم ممر الهواء داخل الجهاز التنفسي إلى قسمين وظيفيين:**

**1) منطقة الاتصال. 2) منطقة التنفس (لاحظ الشكل رقم 16). تشمل منطقة الاتصال جميع التراكيب التشريحية (مثل القصبة الهوائية، التفرعات الشجرية والفروع الرئيسية داخل الرئة) التي يمر خلالها الهواء ليصل إلى منطقة التنفس، تسمى المنطقة التي يظهر فيها التبادل الغازي بمنطقة التنفس وتشمل هذه المنطقة الشعب التنفسية لاحتوائها على عناقيد من الحويصلات.**

يدخل الهواء القصبة الهوائية من الحنجرة التي تستلم الهواء من الأنف والفم وعموماً يتنفس الإنسان من خلال الأنف حتى يصل إلى (20 –30) لتر في الدقيقة في ذلك الوقت يصبح الفم الممر الرئيسي للهواء يستحيل مرور أو خروج الهواء في القصبة الهوائية، فإنه يمر خلال ما يشبه الصمام المفتوح يدعى "المزمار" الذي يكون موقعه بين الحبال الصوتية. ثم تتفرع القصبة الهوائية إلى قسمين رئيسيين، الفرع الأيمن والأيسر حيث يدخل كل فرع في رئة واحدة عندئذ يتشعب الفرع إلى شجرة قصيبية قبل أن يشكل تشعبات صغيرة (الشعب فروع صغيرة من القصبات) تتفرع الشعب أيضاً إلى عدة فروع أصغر قبل أن تصبح قنوات للحويصلات الجيبية ومناطق تنفس للرئة (لاحظ الشكل رقم 16) حيث إن منطقة التنفس في الجهاز التنفسي لا تستخدم فقط كممر للهواء، بل أيضاً لها وظيفة ترطيب وتصفية الهواء عند مروره باتجاه منطقة التنفس للرئة بغض النظر عن درجة الحرارة والرطوبة للمحيط فإن الهواء الذي يدخل الرئة حار ومشبع ببخار الماء، هذا الهواء الحار والرطب يخدم في المحافظة على حرارة الجسم ويمنع أنسجة الرئة الرقيقة من الجفاف. حيث إن منطقة الاتصال ومنطقة التنفس لها الدور الأساسي في تصفية هواء الشهيق وفي منع الضرر عند الرئة الناتج من تجمع الأجزاء الصغيرة المُستنشقة في منطقة التنفس، على أن عمليات التصفية والتنظيف هذه يتم تحقيقها بطريقتين، الأولى عن طريق المادة المخاطية التي تفرزها خلايا منطقة التنفس حيث تلتصق بها الجزيئات الصغيرة المُستنشقة وذلك يدفع هذا المخاط نحو التجويف الخارجي بواسطة حركة أجزاء صغيرة تُشابه الأصابع تُدعى بالأهداب، تتحرك هذه

**الأهداب بطريقة تشبه التموج حيث تدفع المادة المخاطية بسرعة من (1 إلى 2) سنتيمتر في الدقيقة عندها تقع الجزيئات الغريبة في مصيدتها تتحرك هذه المادة باتجاه الحنجرة عن طريق الأهداب وعندئذ يمكن أن تُبلع أو تُدفع للخارج.**




**الشكل رقم (16)**

**يوضح ميكانيكية الشهيق والزفير**

**ميكانيكية التنفس:**

**كما ذكرنا سابقاً إن حركة الهواء من المحيط الخارجي إلى الرئة تدعى بالتهوية الرئوية وتظهر عن طريق عملية تُعرف بالتيار النافخ، يدل التيار النافخ على حركة الجزيئات خلال الممرات الهوائية نتيجة الاختلاف في الضغط بين نهايتي الممر الهوائي، لذا يظهر الشهيق نتيجة بدأ الضغط داخل الرئة بالانخفاض تحت تأثير الجو الخارجي وبالعكس يظهر الزفير عندما يتجاوز الضغط داخل الرئة الضغط من الخارج. سوف نوضح ذلك بما يلي:**

**الشهيق:**

**أي عضلة قادرة على زيادة حجم الصدر تُعتبر مشاركة في عملية الشهيق، حيث إن الحجاب الحاجز يعد أهم عضلة في الشهيق وهو العضلة الوحيدة التي تُعتبر أساسية للحياة والحجاب الحاجز عضلة رقيقة على شكل قبة تلتحم بالأضلاع السفلى ويلتحم بها عصب الحاجز، فعندما يتقلص الحجاب الحاجز فإنه يدفع البطن للتقلص باتجاه الأسفل والأمام بالإضافة إلى رفع الأضلاع باتجاه الأعلى (لاحظ الشكل 16) ناتج هاتين العمليتين هو خفض الضغط داخل غشاء الجنب الذي يسمح بالمقابل توسع الرئة، ينتج عن تمدد الرئة انخفاض في الضغط داخل الرئة تحت الضغط الخارجي مما يسمح للهواء بالدخول إلى الرئة.**

**عند التنفس الاعتيادي (وقت الراحة) يُنفذ الحجاب الحاجز معظم عمل الشهيق وعلى أي حال فخلال التمرين، تُستدعى عضلات أضافية للقيام بهذا الدور تشمل هذه عضلات ما بين الأضلاع، الصدرية الصغرى،**

**والقصيبية الغشائية، جميع هذه العضلات تُساعد الحجاب الحاجز في زيادة حجم القفص الصدري الذي يساعد في التنفس.**

**<u>الزفير</u>:**

**الزفير هو حركة سلبية خلال التنفس الطبيعي وهذا يعني لا يوجد جهد عضلي ضروري للزفير لكي يظهر في حالة الراحة وهذا صحيح والسبب إن الرئة وجدران الصدر مطاطية وتميل للرجوع إلى وضع التوازن بعد التوسع خلال الشهيق. أما خلال التمرين والتهوية المفرطة الإرادية فيصبح الزفير فعال، هذا وان أهم العضلات المستخدمة في الزفير هي تلك الموجودة في جدار البطن والتي تشمل المستقيمة البطنية والسدادة الداخلية، فعندما تتقلص هذه العضلات، يُدفع الحجاب الحاجز نحو الأعلى وتُسحب الأضلاع نحو الأسفل وللداخل وينتج عندها زيادة في الضغط الرئوي ويظهر الزفير.**

**<u>مقاومة المجرى الهوائي</u>:**

**في أي قيمة يتوقف فيها الهواء إلى داخل الرئة، نرى اختلاف الضغط حيث يجب أن يتطور اعتماداً على مقاومة المجاري الهوائية، تدفق الهواء داخل المجاري الهوائية لجهاز التنفس يمكن أن يُعرف بطريقة رياضية عن طريق العلاقة التالية:**

$$\text{تدفق الهواء (جريان الهواء)} = \frac{\text{الضغط}_1 - \text{الضغط}_2}{\text{المقاومة}}$$

**حيث إن الضغط $_1$ – الضغط$_2$ هو الفرق بين الضغط عند نهايتي مجرى الهواء، في أي وقت يزداد فيه تدفق الهواء يعني إن هناك زيادة في الضغط داخل الجهاز الرئوي أو هناك انخفاض في مقاومة المجرى الهوائي، وهذا حقيقة يشبه العلاقة في تدفق الدم.**

**<u>العوامل التي تؤثر على عمليات التنفس</u>:**

**هناك عدة عوامل يمكن أن تؤثر في عمليات التنفس سنذكر أهمها فيما يلي:**

1. **النشاط الرياضي: نتيجة لممارسة النشاط الرياضي فإن الجسم يتعرض إلى تغيرات وظيفية وكيميائية خصوصاً ما يتعلق بإنتاج الطاقة وعلى هذا الأساس سترتفع نسبة ثاني أوكسيد الكربون مما يتطلب التخلص منها وفي هذه الحالة سيتطلب زيادة معدل وعمق التنفس وهذا يخضع إلى مستوى التكيف الذي يكون عليه الفرد.**
2. **تعرض الشخص إلى أماكن رديئة التهوية أو يتواجد في مناطق توجد فيها نسب مختلفة من الغازات السامة لتعرض الرياضيين إلى دخان السيارات في حالة قيامهم بالركض في أماكن تواجد السيارات المزدحمة أو المعامل الإنتاجية.**
3. **اختلاف درجة حرارة الجسم وهذا يتطلب زيادة في حركات التنفس مما يتطلب الحاجة إلى الأوكسجين ولهذا السبب تُستخدم المشروبات المعدنية والماء بصورة مقننة عند قيام الفرد بالجهد وذلك للحفاظ على التوازن الحراري في الجسم.**

**4- اختلاف الضغط الجوي، يؤثر هذا العامل بالاتجاهين إذا كان الفرد قد تعرض إلى ضغط جوي مرتفع أو ضغط جوي منخفض ففي الأول قد يتعرض الفرد إلى الموت وفي الثانية تحدث قلة في الأوكسجين مما يتطلب زيادة في عدد كريات الدم الحمراء وزيادة سرعة التنفس.**

**<u>الأحجام والسعات الرئوية</u>:**

**تنقسم هذه الأحجام والسعات الرئوية بين ما يدخل الرئتين من حجم الهواء وما يخرج منها والذي يُقدر بحوالي (500) سم$^3$ وهو ما يدعى بحجم التناوب إضافة إلى ما يدخله المرء إلى الرئتين والذي يُقدر بحوالي (2500) سم$^3$ والذي تدعى بكمية الهواء الشهيقي إضافة إلى كمية الهواء الخارجة والتي تُقدر (1500) سم$^3$ والتي تُسمى بالحجم الزفيري وهذه تُسمى بمجموعها (4500) سم$^3$ بالسعة الرئوية التي تتأثر هي الأخرى بحسب نوع النشاط الرياضي يُضاف إلى ذلك ما تبقى من كمية الهواء في الحويصلات حتى بعد أعمق زفير والتي تُقدر بحوالي (1300) سم$^3$ والذي يُسمى بالحجم المتبقي (المتخلف) وتُشكل هذه الكمية مع السعة الرئوية ما يُسمى بالسعة الرئوية الكلية والتي تُقدر بـ (6) لتر ولكن هناك قسم آخر من الهواء الداخل لا يصل إلى الحويصلات الهوائية ويبقى بالمجاري التنفسية (المنخرين، القصبة الهوائية والقصيبات) وذلك لعدم تخصصها بالتبادل الغازي لذلك يسمى بالحيز المتبقي وتُقدر قيمته بـ (150) سم$^3$ ولهذا فأثناء التنفس العادي يتجدد حوالي (350) سم$^3$ من هواء حويصلات الرئوية (350) سم$^3$ بالرغم من الحجم المتناوب**

يُقدر بـ (500) سم$^3$ والشكل رقم (17) يوضح الأحجام والسعات الرئوية وسنوضح كل منها ومقدار زيادتها في النشاط الرياضي وكما يلي:

1- معدل التنفس (يزداد معدله ليصل عند الجهد الأقصى من (35-50) مرة /د).

2- هواء التنفس (يزداد ليصل عند النشاط الرياضي إلى (3) لتر أي بمقدار 6 أضعاف).

3- حجم التهوية الرئوية (يزداد عند النشاط الرياضي ليصل إلى (12-20) ضعف أي يصل من (8-12) لتر/د.

4- تبادل الغازات (يصل أثناء النشاط الرياضي من (20-30) ضعف وهو مرتبط بالتهوية الرئوية).

5- استهلاك الأوكسجين (يزداد في النشاط الرياضي ليصل من (250) ملي لتر/د بالراحة إلى (5-6) لتر/د.

6- الهواء المتبقي في الرئتين (يزيد حجم الهواء المتبقي بالرئتين بعد إطلاق أقصى زفير)

7- يزداد حجم السعة الرئوية والأحجام الرئوية بشكل عام لدى رياضيي التحمل والأشخاص المدربين.

إن كل ما ذُكر يمكن أن يرتبط بمطاطية الرئتين وقدرتهما على التمدد والانكماش لأداء حركات التنفس القوي والعميق إضافة إلى ذلك فإن زيادة كثافة الشعيرات الدموية المحيطة بالحويصلات الهوائية للرئتين تلعب هي الأخرى دور مهم وذلك لتفَتح عدد من الشعيرات الدموية المغلقة أو الخاملة وتَوَلد شعيرات دموية جديدة وتحت تأثير التكرارات المتواصلة عند أداء النشاط الرياضي المطلوب.

## الجهاز التنفسي والنشاط الرياضي:

يتأثر الجهاز التنفسي عند تعرض الفرد إلى النشاط الرياضي وعلى هذا الأساس فإن سرعة التنفس ستزداد على إن هذه الزيادة تختلف من فرد إلى آخر وعند الفرد الواحد تختلف حسب النشاط الرياضي الممارس وعلى سبيل المثال وفي النشاط الرياضي المتوسط الشدة وذو المدد الطويلة نجد إن معدل التنفس يزداد في الفترة الأولى من السباق ثم يقل معدله بعد ذلك ويظل منتظماً على هذا المعدل لفترة زمنية حيث تسمى هذه الفترة بالثانية أو المنتظمة ولكي يصل الفرد إلى هذه الفترة يتطلب منه أخذ فترة زمنية تُقدر بخمسة دقائق من بداية قيامه بالمجهود، ففي هذه الفترة يقوم الجسم بتنظيم نفسه من حيث تبادل الأوكسجين وثاني أوكسيد الكربون من وإلى الدم عن طريق الرئتين وعن طريق العضلات وخلايا الجسم ومن أجل الاستمرار على ذلك يجب أن يحدث تكيف فسيولوجي لأجهزة الجسم المختلفة وخصوصاً جهاز الدوران والتنفس لكي يستطيع الفرد أداء النشاط الرياضي بأحسن حال حيث سيتمكن الرياضي هنا من معالجة نقص سرعة التنفس مع خلق الإمكانيات الاقتصادية لعمل الأجهزة الوظيفية للجسم عند أداءه للنشاط بالمستوى المطلوب وخصوصاً ما يتعلق بعمل العضلات بشكل منتظم مع عدم وجود ألم. وهناك عدد كبير من المؤشرات الفسيولوجية التي تعبر عن لياقة الجهاز التنفسي من حيث قوة عضلات التنفس ومرونة الرئتين والقفص الصدري وكفاءتها الميكانيكية فضلاً عن كفاءة عملية التبادل الغازي ومن أهم هذه المتغيرات هي:

**1- معدل التنفس (عدد مرات التنفس في الدقيقة الواحدة ويُقدر باثني عشرة مرة بالدقيقة لدى الأصحاء البالغين).**

**2- حجم هواء التنفس العادي (مقدار الهواء الذي يمكن أن يستنشقه الفرد وخلال عملية الشهيق الهادئ أو الزفير ويُقدر بحوالي 500 ملي لتر).**

**3- حجم هواء التهوية الرئوية (حجم الهواء الداخل والخارج من الرئتين ويتراوح مقداره بين (6-7) لتر في الراحة وهو ناتج ضرب معدل التنفس × حجم هواء التنفس الواحد العادي أي 12 مرة × 500 ملي لتر = 6 لتر/د).**

**وهناك عدد من المؤشرات الأخرى التي تُعبر عن كفاءة الوظائف التنفسية ويُطلق عليها الأحجام والسعات الرئوية وكما ذكرناها سابقاً.**

## مؤشرات لياقة الجهاز التنفسي للأشخاص الأصحاء البالغين:

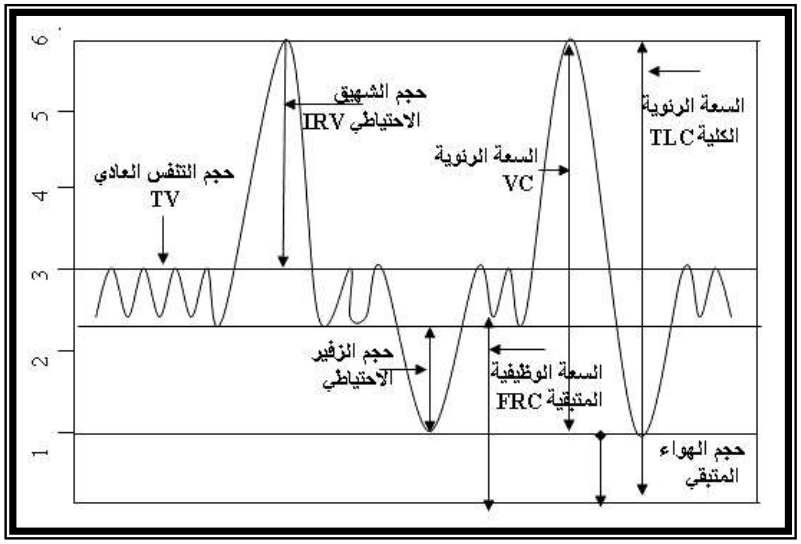
**هناك عدد كبير من المؤشرات الفسيولوجية التي تُعبر عن مدى لياقة الجهاز التنفسي من حيث قوة عضلات الجهاز ومرونة الرئتين والقفص الصدري وكفاءة عملية التبادل الغازي ومن أهم المتغيرات التي تُستخدم للكشف عن لياقة الجهاز التنفسي ما يلي:**

**1- معدل التنفس (Breathing rate) عدد مرات التنفس في الدقيقة الواحدة (12) مرة بالدقيقة للأصحاء البالغين.**

**2- حجم هواء التنفس العادي (Tibal volume) مقدار الهواء الذي يمكن أن يستنشقه الشخص خلال عملية الشهيق الهادئ أو الزفير ويُقدر بحوالي 500 ملي لتر.**

**3- حجم التهوية الرئوية (Pulmonary ventilation volume) حجم الهواء الداخل والخارج من الرئتين والذي يعمل على تجديد هواء الحويصلات وتهوية الرئتين بشكل عام ويُحسب خلال الدقيقة الواحدة ويتراوح مقداره ما بين (6-7) لتر في الراحة وهذا المقدار هو ناتج ضرب معدل التنفس × حجم هواء التنفس الواحد العادي)؛ فعلى سبيل المثال اذا كان معدل مرات التنفس 12 مرة فيكن: 12 مرة × 500 ملي لتر = 6 لتر/د.**

**وهناك أيضاً عدد من المؤشرات الفسيولوجية والتي يمكن قياسها والتي تُعبر عن كفاءة الوظائف التنفسية والتي يُطلق عليها الأحجام والسعات الرئوية. انظر الشكل رقم (17).**




**شكل رقم (17)**

**يمثل قياسات الأحجام والسعات الرئوية في حالة الراحة**