

مقرر ٥٥٣ ترض

الجهاز التنفسي الدوري والجهد البدني

## اختبارات الوظائف الرئوية التنفسية

المصدر:

كتاب فسيولوجيا الجهد البدني: الاسس النظرية والإجراءات المعملية للقياسات  
الفسولوجية. هزاع بن محمد الهزاع، تحت الطبع.

## اختبار الوظائف الرئوية (Pulmonary function test)

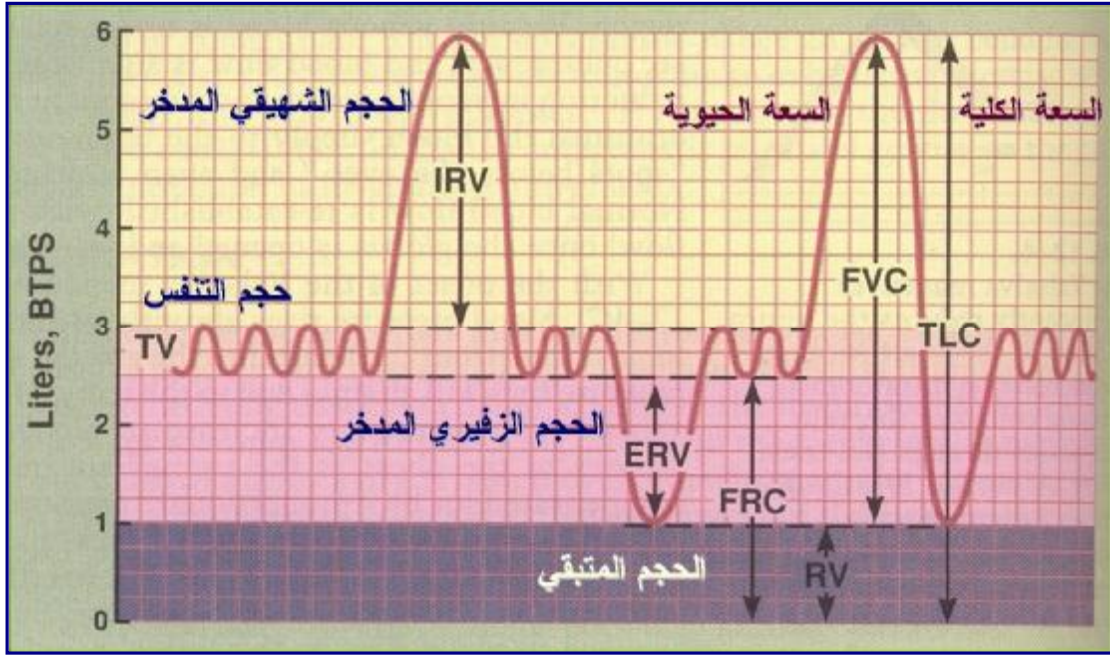
عند إجراء اختبار الوظائف الرئوية فيمكن الحصول على معلومات قيمة عن قوة عضلات التنفس والخصائص الميكانيكية للرئتين والقفس الصدري وكفاءة عملية التبادل الغازي. وعلى الرغم من أن الاختبارات الرئوية تعتبر أكثر دلالة في عملية الكشف عن الأمراض الرئوية والتنفسية ومدى تأثير المعالجة عليها، إلا أنها أيضاً مهمة في 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 (كالسبيروميتر المائي) أو الأنواع الحديثة (كالسبيروميتر الجاف).

وعند القيام بإجراء مناورة الوظائف الرئوية بواسطة السبيروميتر المائي، فإننا نحصل على الرسم البياني التقليدي (الكلاسيكي) الموضح في الشكل رقم (1)، الذي هو أسهل في تقريب الصورة للمتدرب من الرسم البياني الذي نحصل عليه في وقتنا الحالي من أجهزة القياس الإلكترونية. ويمكن تقسيم الوظائف الرئوية عموماً إلى وظائف رئوية ساكنة وأخرى حركية. ويقصد بالوظائف الرئوية الساكنة تلك الوظائف التي يتم من خلالها قياس السعة بغض النظر عن الزمن المنجز، أي أننا نقيس الحجم فقط، وليس معدل دخول الهواء المرتبط بزمن محدد، على 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. في الفقرات التالية سنتطرق إلى تلك الوظائف الرئوية بشيء من التفصيل.

## الوظائف الرئوية الساكنة (Static lung function)

تتمثل الوظائف الرئوية الساكنة في الأحجام والسعات الرئوية التالية:

- **حجم التنفس (أو عمق التنفس) (Tidal volume):**  
هو حجم هواء الشهيق أو الزفير في دورة تنفسية واحدة ويصل في المتوسط أثناء الراحة من ٥٠٠ إلى ٦٠٠ ملي لتر، وهو أيضاً حجم الهواء الذي يدخل الرئتين أثناء الشهيق ويغادرها أثناء الزفير.
- **الحجم الشهيق المدخر (Inspiratory reserved volume):**  
هو أقصى كمية من الهواء يمكن استنشاقها بعد نهاية دورة تنفسية (أي بعد الحد الشهيق لحجم التنفس)، ويصل هذا الحجم في المتوسط إلى ٣٠٠٠ ملي لتر.



شكل رقم (١): رسم بياني لنتيجة مناورة الوظائف الرئوية لشخص سعته الرئوية الكلية تبلغ ٦ لتر، 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).

- **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 إخراج من هواء داخل الرئتين) ويصل في المتوسط من ١١٠٠ - ١٣٠٠ مليلتر، وهو حجم من الهواء يبقى دائماً في الرئتين ولا يمكن إخراج 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 الشهيقية المدخر، وتصل في المتوسط إلى ٣٥٠٠ مليلتر.

● **السعة الزفيرية (Expiratory capacity):**

هي أقصى كمية من الهواء يمكن إخراجها من الرئتين بعد الحد الشهيقية لحجم التنفس، أي أنها تساوي في الواقع مجموع حجمين هما حجم التنفس والحجم الزفيري المدخر، وتصل في المتوسط إلى ٢٠٠٠ مليلتر.

● **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 ٤٨٠٠ - ٥٠٠٠ مليلتر، وهي تتأثر بحجم القفص الصدري، ولهذا نجد أن الأفراد ذوي الأجسام الطويلة والضخمة يمتلكون في الغالب سعة حيوية كبيرة قد تصل إلى ٧ لترات أو تتجاوزها.

● **السعة الرئوية الكلية (Total lung capacity):**

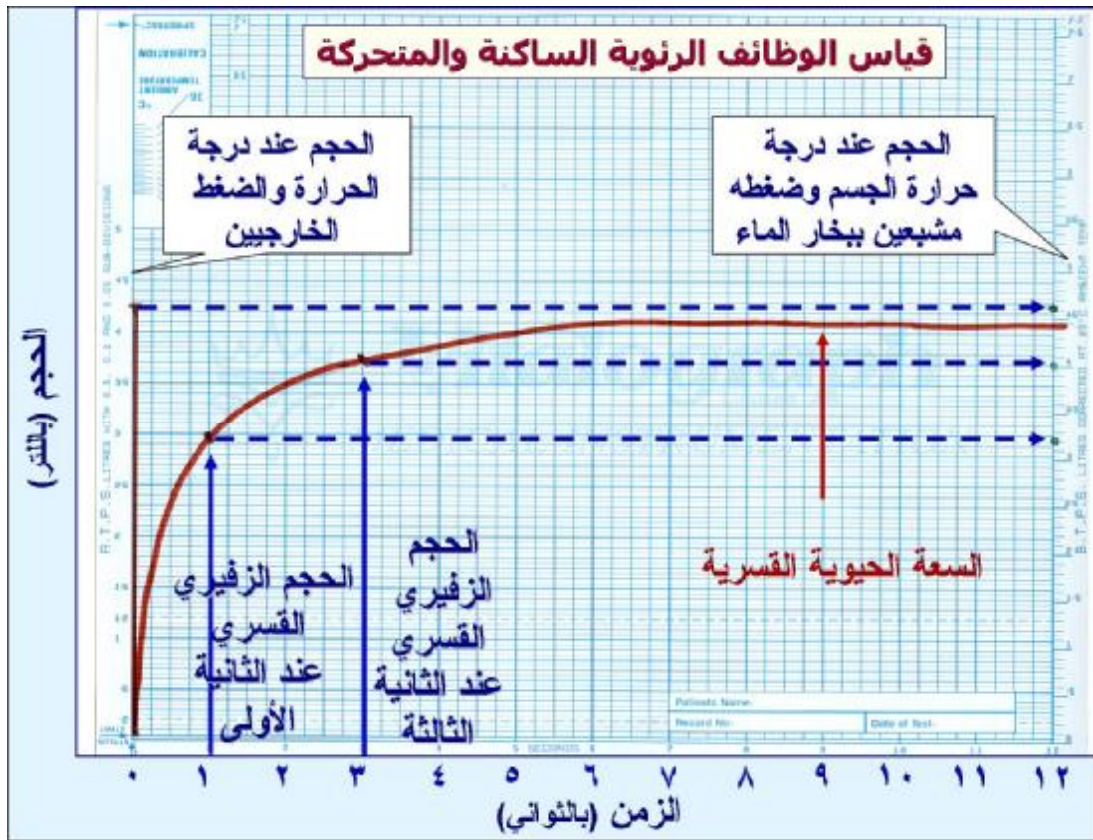
هي أقصى سعة ممكنة لاستيعاب الهواء داخل الرئتين، وتساوي مجموع السعة الحيوية والحجم المتبقي.

والملاحظ أن السعة الرئوية تساوي حجمين أو أكثر من الأحجام الرئوية، فالسعة الشهيقية مثلاً تساوي مجموع حجم التنفس والحجم الشهيقية المدخر، بينما تساوي السعة الحيوية مجموع كل من الحجم الشهيقية المدخر وحجم التنفس والحجم الزفيري المدخر، وهكذا.

**الوظائف الرئوية الحركية (Dynamic lung function)**

تسمى هذه الوظائف بالحركية لأن أداءها يرتبط ببذل جهد في أقصر زمن ممكن، لذا نجد أنها تسجل بالتر في الدقيقة، ومن المعلوم بأن الوظائف الرئوية الساكنة لا ترتبط بزمن محدد لإنجازها، على عكس الوظائف الرئوية الحركية. كما يمكن من خلال مناورة الوظائف الرئوية الحركية التعرف أيضاً على معدل جريان الهواء (Flow rate). وتتمثل الوظائف الرئوية الحركية بالإضافة إلى السعة الحيوية القسرية ما يلي:

- **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 أعمق 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 لسلامة الجهاز التنفسي من الأمراض التنفسية، وهذه النسبة ينبغي أن لا تقل عن ٧٥% من السعة الحيوية القسرية، ويوضح الرسم البياني رقم (٢) مناوراة تنفسية حركية يظهر فيها كل من السعة الحيوية القسرية والحجم الزفيري القسري عند الثانية الأولى والحجم الزفيري القسري عند الثانية الثالثة.



شكل رقم (٢): رسم بياني يوضح نتيجة اختبار الوظائف الرئوية الحركية، وتظهر كل من السعة الحيوية القسرية والحجم الزفيري القسري عند الثانية الأولى وعند الثانية الثالثة.

• **الحجم الزفيري القسري عند الثانية الثالثة (Forced expiratory volume three second):** هو حجم الهواء الذي يمكن إخراجها من الرئتين في نهاية الثانية الثالثة بعد أن يأخذ المفحوص أعمق شهيق ممكن، وهو أيضاً مؤشر جيد وأكثر دلالة من الحجم الزفيري القسري عند الثانية الأولى للكشف عن بعض الأمراض التنفسية. ويتم الحصول على هذين الحجمين السابقين بعمل مناورة السعة الحيوية القسرية.

• **الإمكانية التنفسية القصوى (Maximal breathing capacity):**

تسمى أيضاً التهوية الرئوية الطوعية القصوى (Maximal voluntary ventilation)، ويتم معرفة هذه الإمكانية بعمل مناورة التنفس بأقصى شهيق وزفير ممكن لمدة ١٢ ثانية ثم تعدل هذه إلى دقيقة بضربها في الرقم خمسة، وبهذا نحصل 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 (Breathing reserve)، وكذلك نسبة احتياطي التنفس (% Breathing reserve) 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**

كما يمكن أن ننسب حجم التهوية الرئوية إلى الإمكانية التنفسية القصوى، وهذه النسبة تبلغ لدى الأصحاء غير الرياضيين في حدود ٧٠%، إلا أنها ترتفع لدى الرياضيين الذين يتمكنون من الوصول إلى حجم تهوية رئوية عال جداً، أو لدى المصابين بأمراض تنفسية نتيجة ارتفاع كلفة التنفس لديهم، أما الأشخاص المصابين بأمراض القلب (خاصة ضعف في عضلة القلب) فيلاحظ انخفاض هذه النسبة لديهم.

## تقدير أحجام الوظائف الرئوية من خلال معادلات تنبؤية

### ١- معادلات خاصة بالأطفال:

- . السعة الحيوية القسرية (FVC) (Cherniack, CMAJ, 1962):
  - § بنين:  $0,05134 \times \text{العمر بالسنوات} \times \text{الطول بالسم} - 3,655$
  - § بنات:  $0,09096 \times \text{العمر بالسنوات} \times \text{الطول بالسم} - 2,554$
- . الحجم الزفيري القسري عند الثانية الأولى (FEV<sub>1</sub>) (Dickman, et al. Am Rev Respir Dis, 1971):
  - § بنين:  $0,0535 \times \text{الطول بالسم} - 2,855$
  - § بنات:  $0,0291 \times \text{الطول بالسم} - 2,482$
- . السعة الرئوية الكلية (TLC) (Polgar & Promadhat, 1971):
  - § بنين:  $5,6 \times 10^{-6} \times (\text{الطول بالسم})^{2,67}$
  - § بنات:  $4,0 \times 10^{-6} \times (\text{الطول بالسم})^{2,73}$
- . الحجم المتبقي (RV) (Polgar & Promadhat, 1971):
  - § بنين:  $4,41 \times 10^{-6} \times (\text{الطول بالسم})^{2,41}$
  - § بنات:  $4,41 \times 10^{-6} \times (\text{الطول بالسم})^{2,41}$

### ٢- معادلات خاصة بالراشدين:

- . السعة الحيوية القسرية (FVC) (Cherniack R, 1977):
  - § رجال:  $0,06584 \times \text{الطول بالسم} - 0,2954 \times \text{العمر بالسنوات} - 5,12451$
  - § نساء:  $0,05557 \times \text{الطول بالسم} - 0,0793 \times \text{العمر بالسنوات} - 4,89036$
- . الحجم الزفيري القسري عند الثانية الأولى (FEV<sub>1</sub>) (Cherniack R, 1977):
  - § رجال:  $0,04525 \times \text{الطول بالسم} - 0,3509 \times \text{العمر بالسنوات} - 2,59946$
  - § نساء:  $0,04071 \times \text{الطول بالسم} - 0,2147 \times \text{العمر بالسنوات} - 2,56958$
- . السعة الحيوية (VC) (Goldman, & Becklake, Am Rev Tuberc Respir Dis, 1959):
  - § رجال:  $0,0481 \times \text{الطول بالسم} - 0,20 \times \text{العمر بالسنوات} - 2,81$
  - § نساء:  $0,0404 \times \text{الطول بالسم} - 0,22 \times \text{العمر بالسنوات} - 2,35$

. السعة الرئوية الكلية (TLC) (Goldman, & Becklake, Am Rev Respir Dis, 1959):

§ رجال:  $0,094 \times \text{الطول بالسـم} - 0,015 \times \text{العمر بالسنوات} - 9,167$

§ نساء:  $0,079 \times \text{الطول بالسـم} - 0,008 \times \text{العمر بالسنوات} - 7,49$

. الحجم المتبقي (RV) (Goldman, & Becklake, Am Rev Respir Dis, 1959):

§ رجال:  $0,027 \times \text{الطول بالسـم} + 0,017 \times \text{العمر بالسنوات} - 3,447$

§ نساء:  $0,032 \times \text{الطول بالسـم} + 0,009 \times \text{العمر بالسنوات} - 3,90$

### قياس إمكانية الانتشار الرئوي (Pulmonary diffusion capacity)

يُعد اختبار إمكانية الانتشار الرئوي (DL) مؤشراً على معدل انتشار الغازات، من أغشية الحوصلات الرئوية إلى الشعيرات الدموية المحيطة بها، ومعبراً عن المساحة المتوفرة لانتشار الغازات فيما بين الحوصلات الرئوية والشعيرات الدموية المحيطة بها. ومن المعروف أن معدل الانتشار الرئوي يتأثر بعدة عوامل أهمها مساحة سطح الشعيرات الدموية الملاصقة للحوصلات الرئوية، وسماكة غشاء الحوصلات الرئوية، والمقاومة النوعية للانتشار الغازي عبر أغشية تلك الحوصلات.

ويتم قياس إمكانية الانتشار الرئوي باستنشاق خليط من الغازات لمرة واحدة وحبسها داخل الرئتين لفترة وجيزة. هذا الخليط من الغازات يتكون من  $0,03\%$  أول أكسيد الكربون (CO)،  $10\%$  من غاز الهيليوم (He)،  $21\%$  من غاز الأكسجين (O<sub>2</sub>)، والنسبة الباقية من غاز النيتروجين. ومن خلال معادلات حسابية تأخذ في الحسبان تركيز كل من أول أكسيد الكربون والهيليوم وحجم الهواء الحويصلي والضغط الجوي، يتم تحديد إمكانية الانتشار الرئوي. هذا وتتراوح الحدود الاعتيادية لإمكانية الانتشار الرئوي في وضع الجلوس أثناء الراحة من  $20-30$  ملي لتر من أول أكسيد الكربون في الدقيقة لكل ملم زئبقي، علماً بأن إمكانية الانتشار الرئوي تزداد مع زيادة شدة الجهد البدني.

معادلة إمكانية الانتشار الرئوي:

$$DLCO = VA (STPD) \times (60 \text{ sec/ Breath hold time}) \times (1/(P_B - 47)) \times (CO_A/CO_E)$$

حيث:

DLCO = Single diffusion capacity for CO إمكانية الانتشار الرئوي لأول أكسيد الكربون

VA = Alveolar volume at STPD حجم التهوية الحويصلية



P B	= Barometric pressure	الضغط الجوي
COA	= Initial concentration of CO	تركيز غاز أول أكسيد الكربون في الحويصلات
COE	= expired concentration of CO	تركيز غاز أول أكسيد الكربون في هواء الزفير

ويتم حساب حجم التهوية الرئوية الحويصلية كالتالي:

$$V_A = V_I (\text{STPD}) \times (\text{HeI} / \text{HeE}) \times 1.05 \times \text{STPD correction factor}$$

حيث:

V I	= Inspired volume at ATPS	حجم الهواء المستنشق
HeI	= Inspired Helium	تركيز الهيليوم المستنشق
HeE	= Expired Helium	تركيز الهيليوم المستنشق

بالنسبة لمعامل تصحيح الغاز إلى STPD، فأنظر إلى الفصل السابع عشر من هذا الكتاب.

ويتم حساب تركيز أول أكسيد الكربون في الحويصلات كالتالي:

$$\text{COA} = \text{COI} \times (\text{HeI} / \text{HeE})$$

حيث: COI = تركيز أول أكسيد الكربون المستنشق (والذي عادة = ٠,٣ %) )

### الاختلافات في الوظائف الرئوية

تعزى الاختلافات في مقادير الوظائف الرئوية إلى عوامل مرتبطة بالقياس مثل كفاءة الأجهزة المستخدمة، وخبرة وتدريب الشخص القائم على عملية القياس، ودرجة الحرارة المحيطة بالمفحوص (أي درجة حرارة مكان القياس)، ومقدار تجاوب المفحوص وإتباعه للتعليمات بشكل صحيح. غير أن ما يهمنا هو في الواقع العوامل البيولوجية التي قد تؤدي إلى حدوث اختلاف في القياس، سواء كان ذلك القياس بين الشخص ونفسه (في حالة إجراء القياس مرة ثانية) أو فيما بين الأشخاص أنفسهم.

**الاختلافات في الوظائف الرئوية فيما بين الشخص ونفسه (Within-subject variability):**

تتمثل أهم العوامل المؤدية إلى وجود اختلافات في القياس لدى الشخص نفسه في كل من وضع الجسم ووضع الرأس أثناء عملية القياس، وفي مقدار الجهد المبذول من قبل المفحوص أثناء عملية القياس وفهمه للتعليمات المعطاة له. فلقد وجد أن حجم السعة الحيوية القسرية (FVC) أثناء عملية القياس في وضع الاستلقاء يقل عما هي في وضع الوقوف بنحو ٧-٨%، وهي أقل أثناء الجلوس مقارنة بها أثناء الوقوف بمقدار ١-٢%. ويوصى بإجراء عملية القياس للوظائف الرئوية لدى البدناء من وضع الوقوف. أما قياس الحجم المتبقي فيزيد

أثناء وضع الجلوس عن وضع الوقوف بحوالي ٢٠%. كما أن ثني الرقبة إلى الأمام يؤدي إلى انخفاض معدل ذروة تدفق الهواء (PEF) ويزيد من مقاومة الهواء في المجاري التنفسية. وتتأثر نتائج القياس بالوقت من اليوم التي أجريت فيه عملية القياس، فالحجم الزفير القسري عند الثانية الأولى (FEV1) والسعة الحيوية القسرية (FVC) وُجد أنها تكون في أدنى مستوى لها في فترة الصباح مقارنة بفترة ما بعد الظهر.

### الاختلافات في الوظائف الرئوية فيما بين الأشخاص (Between-subject variability):

تتضمن أهم العوامل المؤدية لوجود اختلافات في نتائج قياس الوظائف الرئوية فيما بين الأشخاص كل من نوع الجنس، وحجم الجسم، والعمر، وصحة المفاصل، فمقادير الوظائف الرئوية وُجد أنها تكون أعلى لدى الرجال مقارنة بالنساء عند نفس الحجم من الجسم (عند نفس مساحة الجسم). كما أن حجم الجسم، بما في ذلك الطول وحجم القفص الصدري، عامل مؤثر على نتائج القياس، فالأشخاص طوال القامة لديهم مستويات أعلى من السعة الحيوية والسعة الرئوية الكلية وحجم التنفس مقارنة بالأشخاص قصار القامة. أما بالنسبة لتأثير العمر فتتخفف مقادير الوظائف الرئوية مع التقدم في العمر بعد نهاية العشرينات أو بداية الثلاثينات، كما أن السعة الحيوية لدى الرجال لا تبلغ أقصى مستوى لها قبل بلوغ الشخص عمر ٢٥ سنة في كثير من الأحيان. أما لدى النساء فتتوقف الزيادة في أحجام الوظائف الرئوية قبل الوصول إلى العشرين من العمر.

### الوظائف الرئوية لدى قاطني المرتفعات

يقتضي العيش في المرتفعات التأقلم على انخفاض كثافة الهواء وقلة ضغط الأكسجين المستنشق، فيلاحظ زيادة عدد كريات الدم الحمراء وارتفاع تركيز الهيموجلوبين وزيادة نسبة الهيماتوكريت لديهم. وعلى الرغم من صغر حجم أجسام الأشخاص الذين يعيشون في المرتفعات، فإن حجم الصدر لديهم يزيد بنسبة ٥% من أمثالهم الذين يعيشون في مستوى سطح البحر، الأمر الذي يؤدي إلى زيادة حجم الرئتين لدى قاطني المرتفعات. كما أن حجم الحويصلات الرئوية لدى الذين يعيشون في المناطق الجبلية التي تصل إلى ارتفاع ٤٠٠٠ متر فوق سطح البحر يعد أكبر من حجم الحويصلات لدى الأشخاص من ذوي الحجم الجسمي المشابه الذين يعيشون عند مستوى سطح البحر، مما يزيد من إمكانية الانتشار الرئوي لديهم كتعويض عن انخفاض ضغط الأكسجين في الهواء عند ذلك المستوى من الارتفاع.

## الوظائف الرئوية لدى الغواصين

يتميز الغواصون المحترفون بامتلاك حجمًا عاليًا من السعة الحيوية (VC) وبانخفاض الحجم المتبقي (RV) لديهم، وقد تصل السعة الحيوية لدى هؤلاء الغواصون ما يعادل ١٢٥% من الحجم المتوقع لهم. كما يتصف الغواصون بامتلاك سعة شهيقية عالية (IC) كنتيجة للتكيف الحاصل لعضلاتهم الشهيقية نظير طبيعة عملهم.

## التهوية الرئوية كعامل محدد للأداء البدني

عرفنا سابقاً أن المهمة الرئيسية لعملية التهوية الرئوية هي إمداد الحويصلات الرئوية بالأكسجين والتخلص من ثاني أكسيد الكربون بمعدل يوازي معدل إنتاجه من الجسم، والمحصلة هي أن يغادر الدم الشرياني الحويصلات الرئوية وقد ارتفع ضغط الأكسجين فيه وتشبع به. ويعتقد في الأحوال الاعتيادية أن التهوية الرئوية لدى الأصحاء تقوم بدورها في تهوية الرئتين بشكل كافٍ، وبالتالي لا تعد عائقاً أما قدرة الشخص في الوصول إلى أقصى استهلاك له من الأكسجين. إلا أن بعض من المختصين يرى أن التهوية الرئوية يمكن لها أن تكون عاملاً مؤثراً يحد من قدرة الشخص في الوصول إلى الأداء البدني الأقصى له، وذلك في الحالات التالية:

- ١- لدى الأفراد الذين يعانون من مشكلات تنفسية أو أمراض رئوية، حيث تكمن العلة في عدم وصول الهواء المحمل بالأكسجين إلى الحويصلات الرئوية، مما يؤثر سلباً على ضغط الأكسجين وضغط ثاني أكسيد الكربون في تلك الحويصلات، وبالتالي ينخفض تشبع الدم الشرياني بالأكسجين.
- ٢- في حالة وجود الشخص في المرتفعات، حيث يكون ضغط الأكسجين في الهواء الخارجي منخفضاً، الأمر الذي يؤثر على ضغط الأكسجين في الحويصلات الرئوية وبالتالي على ضغط الأكسجين في الدم الشرياني.
- ٣- لدى بعض الرياضيين المتميزين جداً، الذين يمكنهم الوصول أثناء الجهد البدني إلى أحجام عالية من التهوية الرئوية، تتجاوز ما يستطيع الوصول إليه الشخص العادي غير المدرب. في هذه الحالة يصبح حجم التهوية الرئوية العالي جداً لديهم عاملاً مؤثراً يحد من قدرتهم على الأداء البدني، نتيجة عاملين هما:

§ يصبح استهلاك الأكسجين من قبل العضلات التنفسية عالياً جداً، مما يعني أن جزء من استهلاكهم من الأكسجين يذهب إلى العضلات التنفسية، بدلاً من أن يتجه إلى

العضلات الهيكلية العاملة. وهذا ما يصفه البعض بسرقة الأكسجين من قبل العضلات التنفسية. والمعروف أن استهلاك العضلات التنفسية من الأكسجين في الراحة وفي الجهد البدني المنخفض الشدة يعد بسيطاً جداً ولا يتجاوز ١-٢% من معدل استهلاك الأكسجين من قبل الجسم في الراحة. غير أن هذه النسبة والتي تمثل كلفة عمل العضلات التنفسية ترتفع لدى الرياضيين المتميزين لتبلغ ١٠% وقد تصل إلى ١٥% أو حتى ٢٠% من الاستهلاك الكلي للأكسجين من قبل الجسم.

§ إن استمرار حجم التهوية الرئوية بهذا الحد الأقصى لفترة طويلة من الجهد البدني لدى الرياضي، قد يؤدي إلى إجهاد العضلات التنفسية وتعبها، وبالتالي يمكن أن يؤدي إلى انخفاض قدرتها على المحافظة على حجم التهوية الرئوية، مما ينتج عنه انخفاض ضغط الأكسجين في الدم المغادر للرئتين، الأمر الذي يقود في النهاية إلى انخفاض معدل الاستهلاك الأقصى للأكسجين.

### الأحجام الرئوية واختلافها بالضغط الجوي ودرجة الحرارة

تبعاً لقانون الغازات، فمن المؤكد أن درجة الحرارة والضغط الجوي يؤثران على حجم الهواء، ولهذا فعند القيام بإجراء اختبارات قياس وظائف الرئتين ينبغي علينا أولاً أن نصحح (نعدل) الأحجام التي تم الحصول عليها من أجهزة قياس وظائف الرئتين (السيبروميتر) إلى أحجام تأخذ في الاعتبار كل من الضغط الجوي ودرجة حرارة الغرفة التي تم فيها الاختبار ودرجة تشبع هواء الغرفة ببخار الماء. ومن المعروف أن درجة حرارة الهواء في الرئتين هي درجة حرارة الجسم (أي ٣٧ درجة مئوية)، وعند هذه الدرجة فإن ضغط بخار الماء وحده يكون ٤٧ ملليمترًا زئبقياً (أنظر إلى الجدول رقم ١). ولهذا يلزمنا دائماً القيام بتصحيح الحجم الذي نحصل عليه من الجهاز مباشرة (الحجم عند درجة الحرارة والضغط الخارجيين (ATPS) إلى الحجم عند درجة حرارة الجسم وضغطه مشبعاً ببخار الماء (BTPS)، والجدول رقم (٢) يعطينا معامل التصحيح الذي يلزم ضربه في الحجم (ATPS) الذي نحصل عليه من الجهاز لكي يصبح (BTPS).

جدول رقم (١): ضغط بخار الماء (مليمتر زئبقي) عند درجات الحرارة المتوقعة في المختبر.

درجة الحرارة	ضغط بخار الماء	درجة الحرارة	ضغط بخار الماء
٢٠	١٧,٥	٣١	٣٣,٧
٢١	١٨,٧	٣٢	٣٥,٧
٢٢	١٩,٨	٣٣	٣٧,٧
٢٣	٢١,١	٣٤	٣٩,٩
٢٤	٢٢,٤	٣٥	٤٢,٢
٢٥	٢٣,٨	٣٦	٤٤,٦
٢٦	٢٥,٢	٣٧	٤٧,١
٢٧	٢٦,٧	٣٨	٤٩,٧
٢٨	٢٨,٤	٣٩	٥٢,٤
٢٩	٣٠,٠	٤٠	٥٥,٣
٣٠	٣١,٨		

المصدر: McArdle W, et al. *Exercise Physiology*, 1991: 797

جدول رقم (٢): معامل تحويل حجم الغاز من حجم عند درجة الحرارة والضغط الخارجيين (ATPS) إلى الحجم عند درجة حرارة الجسم وضغطه مشبعاً ببخار الماء (BTPS).

درجة الحرارة	BTPS	درجة الحرارة	BTPS
٢٠	١,١٠٢	٢٩	١,٠٥١
٢١	١,٠٩٦	٣٠	١,٠٤٥
٢٢	١,٠٩١	٣١	١,٠٣٩
٢٣	١,٠٨٥	٣٢	١,٠٣٢
٢٤	١,٠٨٠	٣٣	١,٠٢٦
٢٥	١,٠٧٥	٣٤	١,٠٢٠
٢٦	١,٠٦٨	٣٥	١,٠١٤
٢٧	١,٠٦٣	٣٦	١,٠٠٧
٢٨	١,٠٥٧	٣٧	١,٠٠٠

ATPS = حجم الغاز عند درجة الحرارة الخارجية والضغط الخارجي مشبعاً ببخار الماء.

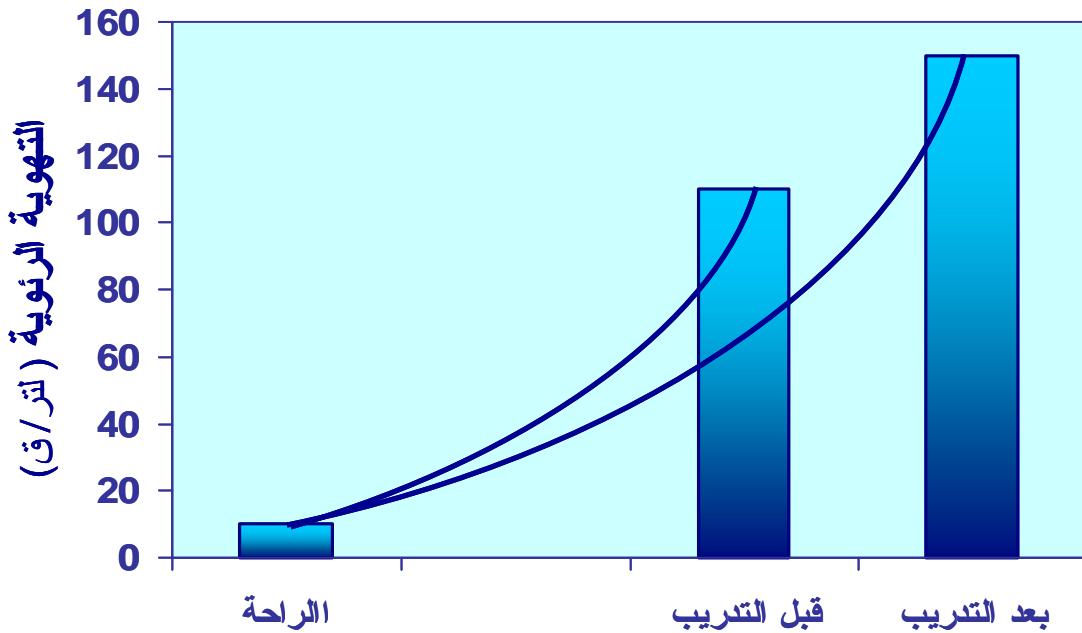
BTPS = حجم الغاز عند درجة حرارة الجسم والضغط الخارجي مشبعاً ببخار الماء.

المصدر: McArdle W, et al. *Exercise Physiology*, 1991: 799.

## التدريب البدني والجهاز الرئوي التنفسي

يؤدي التدريب البدني إلى جملة من التكيفات الفسيولوجية المرتبطة بوظائف الجهاز الرئوي التنفسي، والتي من أهمها ما يلي:

- زيادة الكفاءة الهوائية للعضلات التنفسية، مما يقلل من فرصة تعبها مبكراً، والمعروف أن العضلات التنفسية هي عضلات هيكلية، وبالتالي تستفيد من التدريب البدني.
- زيادة حجم التهوية الرئوية القصوى (VE max) بعد التدريب البدني، كما هو موضحاً في الشكل البياني رقم (٣)، كما أن استجابة التهوية الرئوية لجهد بدني.
- زيادة حجم الإمكانية التنفسية القصوى (MVV) لدى الفرد بعد التدريب البدني.
- زيادة حجم التنفس الأقصى بعد التدريب البدني، وإليه يعزى بشكل كبير التحسن الملحوظ في حجم التهوية الرئوية القصوى بعد التدريب البدني، على أن الأحجام الرئوية الأخرى أو السعات الرئوية لا تتأثر كثيراً من جراء التدريب البدني لدى الأفراد الأصحاء.
- زيادة حجم التنفس في الجهد البدني دون الأقصى، مما يجعل عدد مرات التنفس أثناء الجهد البدني دون الأقصى تنخفض مقارنة بما قبل التدريب.
- يلاحظ أيضاً بعد التدريب البدني انخفاض تركيز الأكسجين في هواء الزفير (مثلاً من ١٨% إلى ١٥%)، دلالة على زيادة قدرة الجسم على استخلاص أكبر كمية من الأكسجين الموجود في الدم، وهذا مؤشر على ارتفاع كفاءة التهوية الرئوية بعد التدريب البدني،



شكل رقم (٣): يؤدي التدريب البدني الهوائي إلى تحسن في حجم التهوية الرئوية القصوى، كما هو موضحاً في الرسم البياني أعلاه.

## مناورة الوظائف الرئوية الحركية

تهدف هذه التجربة المعملية إلى إجراء مناورة الوظائف الرئوية الحركية، والتعرف على العلاقة بين مقادير الوظائف الرئوية الحركية وبعض المؤشرات الجسمية، كطول الجسم ومساحة سطح الجسم ومحيط الصدر وطول الجذع.

### الإجراءات:

- 1- على كل مفحوص القيام بإجراء مناورة الوظائف الرئوية المتحركة، والحصول على حجم السعة الحيوية القسرية (FVC)، والحجم الزفيرى عند الثانية الأولى (FEV1)، والحجم الزفيرى عند الثانية الثالثة (FEV3)، كما هو موضحاً في الشكل رقم (٢).
- 2- أحسب نسبة الحجم الزفيرى عند الثانية الأولى إلى حجم السعة الحيوية القسرية. هل النسبة ضمن الحدود الطبيعية؟
- 3- هل هناك علاقة بين الوظائف الرئوية المستخرجة وكل من طول الجسم، أو مساحة سطح الجسم، أو محيط الصدر؟
- 4- قم بتقدير كل من السعة الحيوية القسرية والحجم الزفيرى عند الثانية الأولى باستخدام معادلات التقدير المعطاة في هذا الفصل، وقارنها بنتائج القياس المباشر الذي قمت بإجراءه.
- 5- مستخدماً معادلات التقدير الموضحة في هذا الفصل، قم بتقدير السعة الرئوية الكلية والحجم المتبقي لكل مفحوص.

## مقارنة قياس الإمكانية التنفسية القصوى مع معادلات تقديرها

تهدف هذه التجربة المعملية إلى قياس الإمكانية التنفسية القصوى بطريقة مباشرة بجهاز قياس الوظائف الرئوية، ومقارنة نتيجة القياس بنتائج التقدير المستخرج من المعادلات التقديرية.

### الإجراءات:

- 1- قم بقياس الإمكانية التنفسية القصوى لكل مفحوص مستخدماً جهاز قياس الوظائف الرئوية الموجود في المختبر، وما عليك سوى معايرة الجهاز أولاً ثم إتباع التعليمات الظاهرة لك على شاشة الكمبيوتر، حتى يتسنى لك الحصول على قراءة صحيحة للإمكانية التنفسية القصوى (MVV).

٢- قم بتقدير الإمكانية التنفسية القصوى مستخدماً المعادلات التالية:

أ- الحجم الزفيرى عند الثانية الأولى  $\times 35$

ب- الحجم الزفيرى عند الثانية الأولى  $\times 37,5$

ج- الحجم الزفيرى عند الثانية الأولى  $\times 40$

٣- أي من نتائج المعادلات السابقة أكثر قريباً من نتائج القياس؟

٤- كم مقدار العلاقة الارتباطية بين مقدار الإمكانية التنفسية القصوى وأي من طول الجسم،

أو مساحة سطح الجسم، أو محيط الصدر، أو الحجم الزفيرى عند الثانية الأولى.