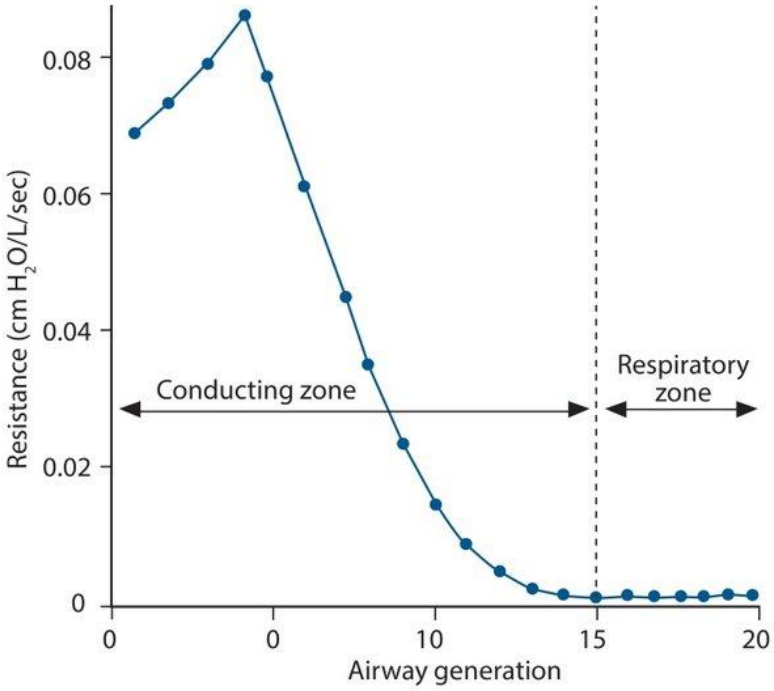
Respiratory System Physiology

Comprehensive File 3 – V1

Dr. Yanal Shafagoj



Done By:

Mohammad Mahasneh

Almothana Khalil

1.تصنيف أمراض الرئة:
70% من الحالات تتعلق بـ الأنماط الانسدادية. تشمل هذه الحالات مرض الانسداد الرئوي المزمن (COPD)، مثل التهاب الشعب الهوائية المزمن وانتفاخ الرئة، مع أو بدون الربو

As introduced in lecture 1, lung diseases are divided into 3 parts:

- 70% are of obstructive pattern – COPD: chronic bronchitis, emphysema, with or without asthma.
- 20% are of restrictive pattern – problems in the expansion of alveoli seen in pulmonary fibrosis, pulmonary edema, infant respiratory distress syndrome (IRDS), and acute respiratory distress syndrome (ARDS); the last two show a huge tendency for the alveoli to collapse.
- 10% are of vascular causes.

20% من الحالات تتعلق بـ الأنماط التقييدية. هذه الحالات تؤثر على توسع الحويصلات الهوائية (الأكياس الهوائية في الرئتين)، مثل التليف الرئوي، الوذمة الرئوية، متلازمة ضيق التنفس عند الرضع (IRDS)، ومتلازمة الضائقة التنفسية الحادة (ARDS). في هذه الحالات، يكون هناك ميل كبير لانهيار الحويصلات الهوائية

10% من الحالات تتعلق بـ الأسباب الوعائية، التي تؤثر على تدفق الدم إلى ومن الرئتين

Other non-lung related causes of hypoxia include the following:

- Anemia and hemoglobinopathies.
- Heart failure.
- Paralysis of the respiratory muscles, as in poliomyelitis affecting the phrenic nerves. Drug overdoses can depress the respiratory center in medulla oblongata.

2.أسباب نقص الأوكسجين غير المرتبطة بالرئة:
•فقر الدم والاضطرابات الهيموغلوبينية: انخفاض مستوى الهيموغلوبين أو وجود هيموغلوبين غير طبيعي (مثل مرض فقر الدم المنجلي) يؤدي إلى نقص قدرة الدم على نقل الأوكسجين.
•فشل القلب: عندما لا يستطيع القلب ضخ الدم بشكل فعال، مما يؤدي إلى نقص تزويد الأنسجة بالأوكسجين.
•شلل عضلات التنفس: أمراض مثل شلل الأطفال التي تؤثر على العصب الفرعي الذي يتحكم في الحجاب الحاجز وعضلات التنفس. كما يمكن أن تؤدي الجرعات الزائدة من الأدوية إلى تثبيط مركز التنفس في الدماغ (النخاع المستطيل)، مما يؤدي إلى نقص الأوكسجين بسبب التنفس غير الكافي

Airways Resistance

1.مقاومة المجاري الهوائية:
•تم شرح أن قوة القيادة (Driving Force) المطلوبة للتنفس هي +1 ملم زئبقي. هذا يعني أن فرق الضغط بين الضغط الجوي وضغط الحويصلات الهوائية (Pa) كافٍ لتحفيز التنفس.
•المعادلة التي توضح تدفق الهواء هي:

As discussed previously, a driving force of +1 mmHg is enough for respiration to happen; remember that $\boldsymbol{Flow} = \frac{\boldsymbol{P_{atm} - P_{alveolar}}}{\boldsymbol{R_{airways}}}$. [$\mathrm{DF} = \mathrm{P_{alveolar}} - \mathrm{P_{atm}}$ for expiration.]

This flow (RMV) can also be calculated using the following equation:

يُحسب تدفق الهواء باستخدام معادلة التنفس الدقيق لكل دقيقة (RMV):

$$\boldsymbol{Respiratory\ minute\ ventilation\ (RMV) = Tidal\ volume\ (V_T) \times Respiration\ Rate\ (RR)}$$

$$\boldsymbol{Respiratory\ minute\ ventilation\ (RMV) = 0.5\ L \times 12\ \frac{breathes}{min} = 6\ \frac{L}{min}}$$

Remember that $\boldsymbol{Cardiac\ output\ (Q) = Stroke\ volume * Heart\ rate \approx 5\ \frac{L}{min}}$.

3.الناتج القلبي (Cardiac Output):
•تم توضيح أن الناتج القلبي (Q) هو حاصل ضرب الحجم المقذوف (Stroke volume) في معدل ضربات القلب (Heart rate)، وهو يعادل 5 لتر في الدقيقة

Notice how the two flow values are close; to achieve a flow (Q) of 5 L/min, the heart provides a driving force of 100 mmHg mean arterial pressure against the total peripheral vascular resistance. Recall that the arterioles contribute the most for the resistance, and this is evident since they require the largest pressure gradient to maintain the flow.

4.مقارنة تدفق الدم وتدفق الهواء:
•على الرغم من أن تدفق الدم وتدفق الهواء متشابهان في قيمتهما (5 لتر في الدقيقة)، إلا أن المقاومة في الأوعية الدموية والأعصاب تختلف:
•يتطلب تدفق الدم إلى الأطراف قوة دفع (Driving force) تبلغ 100 ملم زئبقي ضد المقاومة الطرفية.
•أما في الرئتين، فإن المقاومة تتعلق بالمسافة المقطوعة عبر المجاري الهوائية، حيث أن المجاري الهوائية تتطلب +1 ملم زئبقي فقط لتحقيق تدفق هواء طبيعي

5.المعادلة المتعلقة بالمجاري الهوائية:
•المقاومة R تتناسب مع مقلوب المربع للمساحة A:
R \propto \frac{1}{A^2}
•حيث أن المساحة A تتناسب مع نصف القطر r للأسطح:
A \propto r^2
•هذا يعني أن مقاومة المجاري الهوائية تتزايد مع تقليل مساحة المجاري الهوائية

Back to the lungs, beware that $R \propto \frac{1}{A^2}$ [Recall that $R \propto \frac{1}{r^4}$ and that $A \propto r^2$].

The air flow required only +1 mmHg of driving force to achieve a normal RMV; this means that airway resistance is equal to 1% of the total peripheral vascular resistance, given that both flows are close enough ($5 \approx 6$).

6.خلاصة:
•تحتاج المجاري الهوائية إلى فرق ضغط بسيط (+1 ملم زئبقي) لتحقيق تدفق هواء طبيعي (RMV)، مما يعني أن مقاومة المجاري الهوائية تشكل 1% فقط من إجمالي المقاومة الوعائية الطرفية.

الشرح يوضح كيف أن مقاومة المجاري الهوائية تساهم بشكل طفيف في المقاومة الكلية مقارنة بمقاومة الأوعية الدموية الطرفية، وأن تدفق الهواء في الرئتين يتطلب قوة دفع أقل بكثير لتحقيق نفس تدفق الدم في الجسم

How is the Resistance Measured?

Resistance can be directly measured with the following equation: $\boldsymbol{R = \frac{8\eta l}{\pi r^4}}$.

حيث:
•η هو اللزوجة.
•l هو طول الأنبوب.
•r هو نصف قطر الأنبوب.
2.الشرط اللازم لاستخدام هذه المعادلة: لكي تكون المعادلة دقيقة في القياس، يجب أن تتوفر ثلاث شروط:
•السوائل يجب أن تكون متجانسة، بينما الدم يحتوي على مكونات مختلفة.
•التدفق يجب أن يكون مستقرًا، أي لا ينبغي أن يكون متقطعًا أو نابضًا.
•التدفق يجب أن يكون طبقيًا، أي أن تدفق الهواء يجب أن يكون غير مضطرب (Laminar flow)

However, for this equation to be used, three conditions must be met.

- The fluid must be homogenous, while blood contains different components.
- The flow must be steady, not pulsatile.
- The flow must be laminar, not turbulent.

3.الصعوبة في القياس في الفيزيولوجيا:
•هذه الشروط صعبة التطبيق في القياسات الفسيولوجية نظرًا لأن الجسم يحتوي على 23 تقسيمًا في الرئتين، مما يجعل القياس باستخدام المعادلة المباشرة غير دقيق.
•بالإضافة إلى ذلك، يصعب قياس القيم ا و r بدقة في الرئتين بسبب تقسيماتها المعقدة

These conditions cannot be met in physiological hemo/aerodynamics.
It is also difficult for 'l' and 'r' to be measured, as we have 23 divisions through the lung.

The resistance can be **indirectly** measured by this equation:

$$\boldsymbol{R = \frac{DF}{Flow} = \frac{1\ mmHg}{6\ \frac{L}{min}} \rightarrow too\ small}$$

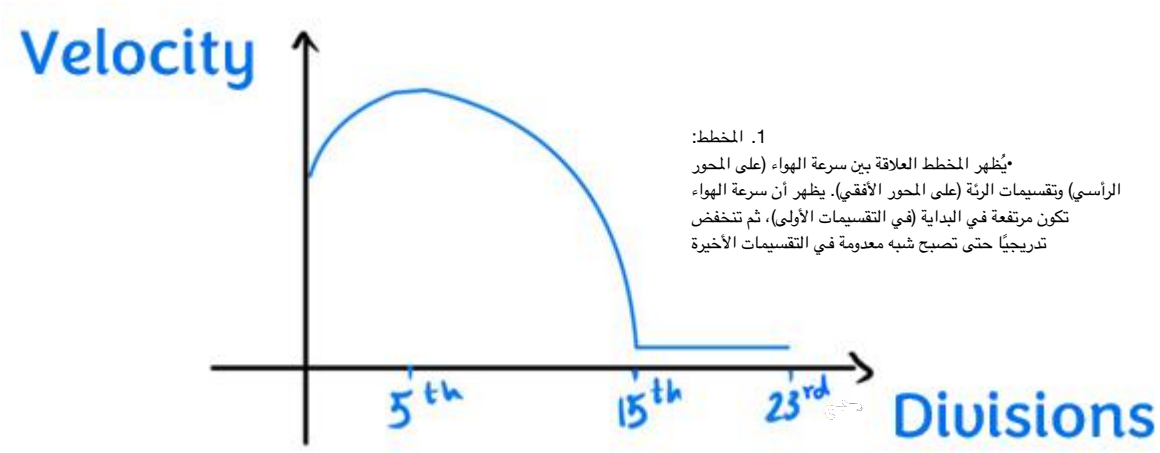
The airway resistance is physiologically small, yet it is important to know where exactly in the respiratory tract it resides. Remember that $\boldsymbol{Velocity\left(\frac{d}{t}\right) = \frac{Flow\left(\frac{d^3}{t}\right)}{Area\left(d^2\right)}}$.

باختصار، المقصود هو أنه في الرئتين من الصعب استخدام المعادلات المباشرة لقياس المقاومة بسبب الظروف الفسيولوجية المعقدة، ولذلك يُستخدم القياس غير المباشر

5.مقاومة المجاري الهوائية:
•مقاومة المجاري الهوائية صغيرة جدًا في الجسم الفسيولوجي، لكن من المهم معرفة المكان الذي توجد فيه هذه المقاومة داخل الجهاز

6. السرعة (Velocity) والتدفق:
• كما هو موضح في المعادلة الأخيرة، سرعة الهواء في المجاري الهوائية تتناسب مع التدفق والمساحة عبر المعادلة التالية:
$\text{Velocity} = \frac{\text{Flow}\left(\frac{d^3}{t}\right)}{\text{Area}\left(d^2\right)}$
حيث تُظهر هذه المعادلة كيف أن السرعة تعتمد على التدفق والمساحة.

Plotting the velocity of air against lung divisions gives us the following figure:



1. المخطط:
•يُظهر المخطط العلاقة بين سرعة الهواء (على المحور الرأسي) وتقسيمات الرئة (على المحور الأفقي). يظهر أن سرعة الهواء تكون مرتفعة في البداية (في التقسيمات الأولى)، ثم تنخفض تدريجيًا حتى تصبح شبه معدومة في التقسيمات الأخيرة

When the velocity of air is high, the (total division-specific) cross-sectional area is small, and thus the resistance in high. This means that nearly 40% of the airway resistance contribution is from airways above the larynx, another 40% of resistance is present in the first 4 divisions, and the last 20% of resistance is present in the rest of divisions where the velocity becomes very low and almost reaches zero.

So, most of the airway resistance normally resides in the larger divisions.

2.تفسير العلاقة:
•عند ارتفاع سرعة الهواء: تكون المساحة العرضية (المحددة للتقسيمات الفردية) صغيرة، مما يعني أن المقاومة في هذه النقطة تكون عالية. بمعنى آخر، في المراحل الأولى من التنفس، حيث تكون المجاري الهوائية أكبر (مثل الأنبوب الرئوي والقصبة الهوائية)، تكون المقاومة أكبر لأن السرعة أعلى.
40% من المقاومة الهوائية تأتي من المجاري الهوائية التي تقع فوق الحنجرة، أي في التقسيمات العليا (مثل القصبة الهوائية والشعب الهوائية الكبرى).
40% أخرى من المقاومة تأتي من المجاري الهوائية في أول 4 تقسيمات (حيث تكون المسافة قصيرة والسعة منخفضة).
•آخر 20% من المقاومة توجد في التقسيمات الأخيرة، حيث تصبح السرعة منخفضة جدًا وتقترب من الصفر. في هذه المرحلة، تكون المجاري الهوائية أصغر حجمًا (التقسيمات الأصغر) وتساهم في قليل من المقاومة

3. الاستنتاج:
•معظم مقاومة المجاري الهوائية توجد في التقسيمات الأكبر (التقسيمات العليا) حيث تكون سرعة الهواء أعلى والمجاري الهوائية أكبر.

هذا يوضح أن مقاومة المجاري الهوائية تكون أعلى في التقسيمات العليا من الرئتين، وتنخفض مع التقسيمات الأصغر حيث تصبح سرعة الهواء منخفضة

Pathological Airway Resistance

1. المجاري الهوائية الكبيرة والصغيرة:
•المجاري الهوائية الكبيرة محاطة بالغضاريف التي تمنعها من الانهيار، لذلك حتى إذا تراكمت المخاطات فيها، فإنها لن تضيق بشكل كبير.
•من ناحية أخرى، المجاري الهوائية الصغيرة لا تحتوي على غضاريف، ولها قطر ضيق، مما يجعلها أكثر عرضة للانسداد بالمخاط

In pathological conditions that show increased airway resistance, which parts of the airways contribute most to this increased resistance?

The large airways are surrounded by cartilage that prevents them from collapsing, and they are, by definition, larger, so accumulation of mucus, for example, will not significantly narrow them. On the other hand, smaller divisions lack supporting cartilage and have narrower diameters, making them vulnerable to significant obstruction by mucus.

2. المعالجة بالموسعات المخاطية:
•يتم استخدام الأدوية الموسعة للمخاط (mucolytic drugs) لإذابة المخاط والمساعدة في التخلص منه، مما يحافظ على المجاري الهوائية الصغيرة مفتوحة

المخاط يتكون من مركبات عضوية (غالبًا الجليكوبروتينات) والماء، وعند امتصاص الماء من المخاط المتراكم، تبقى الأجزاء الصلبة فقط، مما يبرز أهمية الأدوية في إزالة هذه الأجزاء

Clinically, mucolytic drugs are given to dissolve the mucus and aid in its removal, and this maintains smaller divisions patent. Remember that mucus is composed of organic compounds (primarily glycoproteins) and water. When water is reabsorbed from the accumulated mucus, only the hard part stays, which is why drugs are needed.

Coughing reflexes are of great importance here, and this is why drugs that stop coughing are contraindicated in patients with productive cough. They are also contraindicated in children as children usually cannot express their exact symptoms.

3. أهمية رد فعل السعال:
•يعتبر رد فعل السعال ذا أهمية كبيرة في إزالة المخاط. لذلك، الأدوية التي توقف السعال لا يتم إعطاؤها للمرضى الذين يعانون من سعال منتج (يخرج منه المخاط).
•هذه الأدوية أيضًا لا يُنصح بها للأطفال، حيث لا يستطيع الأطفال التعبير عن أعراضهم بدقة

Smoking worsens this case by many ways, including increasing mucus secretion by goblet cells, and paralyzing the cilia, which normally remove mucus outside the respiratory tract.

4. تأثير التدخين:
•التدخين يزيد الوضع سوءًا بعدة طرق:
•يزيد من إفراز المخاط بواسطة خلايا الغدد المصلية.
•يسبب شلل الأهداب (Cilia)، وهي المسؤولة عن إزالة المخاط من الجهاز التنفسي.

In addition to the absence of cartilage and the narrow diameter, smaller air ways have more smooth muscle content, which makes them more vulnerable to severe bronchoconstriction, which is induced by several inflammatory mediators such as leukotrienes, prostaglandins, and histamine. This is primarily what happens in asthma.

5. خصائص المجاري الهوائية الصغيرة:
•يجانب عدم وجود الغضاريف وضيق القطر، تحتوي المجاري الهوائية الصغيرة على مزيد من العضلات الملساء، مما يجعلها أكثر عرضة لتضيق الحاد (الربو) بسبب الانسداد الشعبي الذي تحفزه المواد الالتهابية مثل الليوكوترينات، البروستاجلاندينات، و الهيستامين.
•هذا التفاعل هو السبب الرئيسي لظهور الربو.

<u>All these facts explain why smaller airways, not larger ones, are responsible for increased airway resistance in pulmonary diseases.</u>

6. الاستنتاج:
•المجاري الهوائية الصغيرة، وليس الكبيرة، هي المسؤولة بشكل رئيسي عن زيادة مقاومة المجاري الهوائية في الأمراض الرئوية

هذا النص يشرح في أي مرحلة تظهر مقاومة المجاري الهوائية بشكل أكبر في الأمراض الرئوية الانسدادية وكيفية تأثير الضغط داخل الجنب (intrapleural pressure) على هذه المقاومة:

During what phase does high airway resistance show up more?

متى تظهر مقاومة المجاري الهوائية بشكل أكبر؟
1.مرحلة الزفير (Exhalation):
•الأمراض الرئوية الانسدادية (مثل الربو أو مرض الانسداد الرئوي المزمن) تظهر صعوبة في الزفير وليس في الاستنشاق.
•السبب الرئيسي في ذلك هو تغيرات الضغط داخل الجنب. عند الزفير، يرتفع الضغط داخل الجنب (intrapleural pressure)، مما يؤدي إلى انهيار المجاري الهوائية، مما يزيد من الانسداد ويجعل التنفس أكثر صعوبة

As mentioned before, <u>obstructive pulmonary diseases mainly show difficulty in exhaling</u>, not inhaling. This is mainly because of intrapleural pressure changes. Higher intrapleural pressure, which is the case during exhalation, causes the collapse of the airways, further exacerbating the obstruction in addition to the aforementioned causes.

2.زيادة المقاومة:
•عندما تزداد المقاومة، يصبح من الضروري بذل مزيد من الجهد لزيادة الضغط داخل الجنب أثناء الزفير.
•هذا يجعل عملية الزفير عبارة عن عملية "مدفوعة" حيث يزيد الإنفاق الطاقي بشكل كبير عن المعتاد

Because the resistance increases the required driving force to maintain normal flow, additional work must be done to increase intrapleural pressure during exhalation. This fact makes exhalation a “paid” process, increasing energy expenditure significantly above the normal 2%. Note that $\boldsymbol{Work} = \Delta \boldsymbol{P} * \Delta \boldsymbol{V};\ \Delta P = DF;\ \Delta V = Tidal\ Volume.$

3. صيغة العمل:
• في هذه العملية، يتم زيادة الضغط داخل الجنب لتسهيل التنفس. يتم حساب العمل باستخدام المعادلة:
$\text{Work} = \Delta P \times \Delta V$
حيث:
• ΔP هو الفرق في الضغط.
• ΔV هو حجم التنفس (Tidal Volume).
4. الصوت المميز للزفير:
• الصوت المميز لهذه الصعوبة في الزفير هو صوت الأزيز (wheezing)، الذي يختلف في شدته حسب شدة المرض.

This difficulty in exhalation shows as a wheezing sound, which varies with severity.

الاستنتاج:
•زيادة مقاومة المجاري الهوائية تكون أكثر وضوحًا في مرحلة الزفير بسبب التغيرات في الضغط داخل الجنب، مما يؤدي إلى صعوبة التنفس، ويظهر هذا بشكل واضح في الصوت المميز للأزيز

الشرح في هذا النص يتعلق بمقاومة المجاري الهوائية في أمراض الرئة المختلفة وكيف يؤثر الضغط داخل الحويصلات الهوائية على هذه المقاومة أثناء التنفس

قياس المقاومة في أمراض الرئة:
1.زيادة الضغط داخل الحويصلات الهوائية (Intra-alveolar pressure):
•في الظروف المرضية، مثل في أمراض الرئة الانسدادية، قد يحتاج الرئتان إلى زيادة الضغط داخل الحويصلات الهوائية إلى +10 ملم زئبقي بدلاً من الضغط الطبيعي +1 ملم زئبقي أثناء الزفير.
•هذا يعني أن فرق الضغط (ΔP) قد زاد 10 مرات، مما يزيد من العمل المطلوب 10 مرات.
•نتيجة لذلك، تزداد الطاقة المستهلكة (ATP) من 2% إلى 20% من إجمالي الطاقة في الجسم. وبالتالي، يصبح التنفس أكثر صعوبة مع زيادة الانسداد الرئوي، مما يؤدي إلى شعور المريض بالتعب الذي يتناسب مع درجة الانسداد

To quantify things, imagine that the lungs need an intra-alveolar pressure of +10 mmHg instead of the normal +1 mmHg for expiration. This means that the ΔP has increased 10 times, which will in turn increase the work done 10 times, and this will raise the energy expenditure from 2% to 20% of the total ATP. In such cases, the lungs are no more an efficient machine, and the patient will suffer of fatigue proportional to the degree of obstruction; more obstruction → more R → increased required ΔP → more work done.

2.التنفس والزفير:
•أثناء الزفير، يزداد الضغط داخل الحويصلات الهوائية مما يسبب انسداد المجاري الهوائية، وكلما زاد الانسداد، زادت المقاومة (R) وزاد العمل المطلوب.
3.الاستنشاق أسهل من الزفير:
•في حالة أمراض الانسداد الرئوي، يكون الاستنشاق أسهل من الزفير لأن الاستنشاق يؤدي إلى انخفاض الضغط داخل الجنب، مما يفتح المجاري الهوائية.
•هذا هو السبب في أن الاستنشاق أسهل من الزفير في الأمراض الانسدادية.

Inhalation, on the other hand, decreases intrapleural pressure and causes the opening of the airways. This is why inhalation is easier than exhalation in obstructive diseases.

Restrictive lung disease, as discussed before, shows difficulty in inhalation due to increased collapsing forces or decreased compliance of the alveoli to fill in air.

الأمراض الرئوية التقييدية:
•الأمراض الرئوية التقييدية تظهر صعوبة في الاستنشاق بسبب زيادة قوى الانهيار أو انخفاض الامتثال (Compliance) في الحويصلات الهوائية، مما يجعلها أقل قدرة على التمدد لاستيعاب الهواء

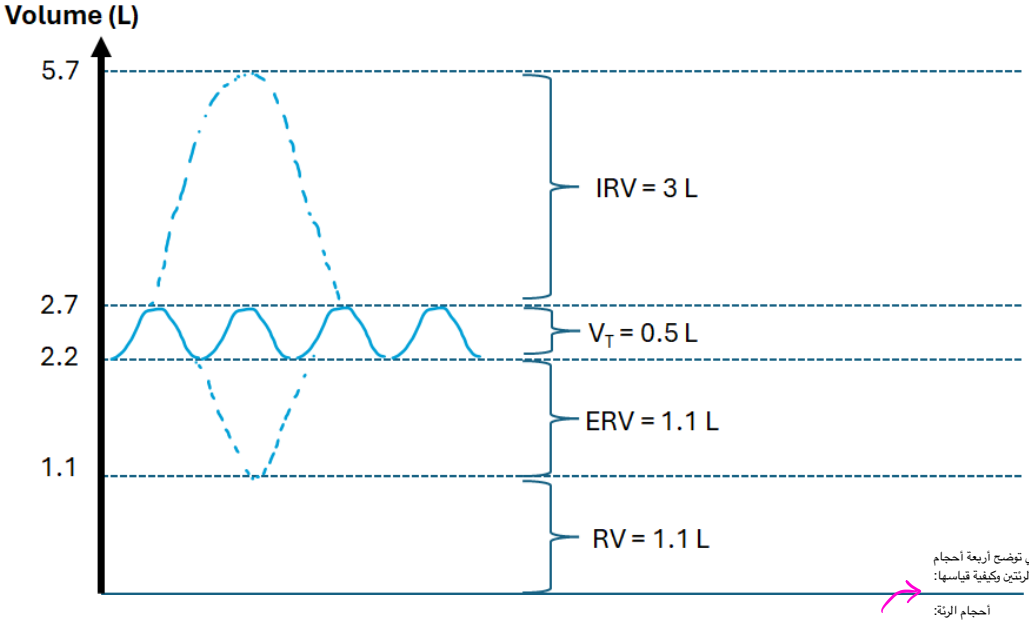
The resting volume of the lungs, at which the lungs (excluding the airways) no longer tend to collapse, is approximately 150 ml. This is analogous to a rubber band returning to its resting length once all external forces are removed.

حجم الرئتين أثناء الراحة:
•عند الراحة، عندما لا يعود هناك قوة خارجية تؤثر على الرئتين، يكون الحجم الراحة للرئتين (أي الحجم الذي لا يتسبب في انهيار انهيار الرئتين) حوالي 150 مل.
•هذا يشبه إلى حد كبير مطاط يُرجع إلى طوله الطبيعي بعد إزالة أي قوة خارجية عليه

الاستنتاج:
•في الأمراض الانسدادية، الزفير أكثر صعوبة لأن الضغط داخل الحويصلات الهوائية يزيد ويؤدي إلى انسداد المجاري الهوائية.
•في الأمراض التقييدية، الاستنشاق أكثر صعوبة بسبب زيادة القوى التي تسبب انهيار الحويصلات الهوائية أو انخفاض قدرة الحويصلات على التمدد

Volumes and Capacities of the Lungs

The figure below shows the 4 important lung volumes and their definitions.



الشرح في هذا النص يتعلق بأحجام وقدرات الرئتين، وهي توضح أربعة أحجام رئيسية في الرئتين وكيفية قياسها:

أحجام الرئة:
1.حجم التنفس (Tidal Volume - V_T):
•هو الحجم الذي يُستنشق أو يُزفر خلال نفس عادي.
•في هذا المثال، حجم التنفس هو 0.5 لتر

Tidal Volume (V_T): volume of air inspired or expired during a normal breath.

Inspiratory Reserve Volume (IRV): maximum volume of air that can be inspired after a normal inspiration; reflects inspiratory muscle strength and lung compliance.

2.حجم الاحتياطي الاستنشاقي (Inspiratory Reserve Volume - IRV):
•هو الحد الأقصى للهواء الذي يمكن استنشاقه بعد الشهيق العادي.
•يعكس قوة عضلات الاستنشاق وامتثال الرئتين.
•في هذا المثال، حجم الاحتياطي الاستنشاقي هو 3 لترات

Expiratory Reserve Volume (ERV): maximum additional volume of air that can be expired after a normal tidal expiration; depends on expiratory muscle effort.

3.حجم الاحتياطي الزفيري (Expiratory Reserve Volume - ERV):
•هو الحد الأقصى من الهواء الذي يمكن زفيره بعد الزفير العادي.
•يعتمد هذا الحجم على جهد عضلات الزفير.
•في هذا المثال، حجم الاحتياطي الزفيري هو 1.1 لتر

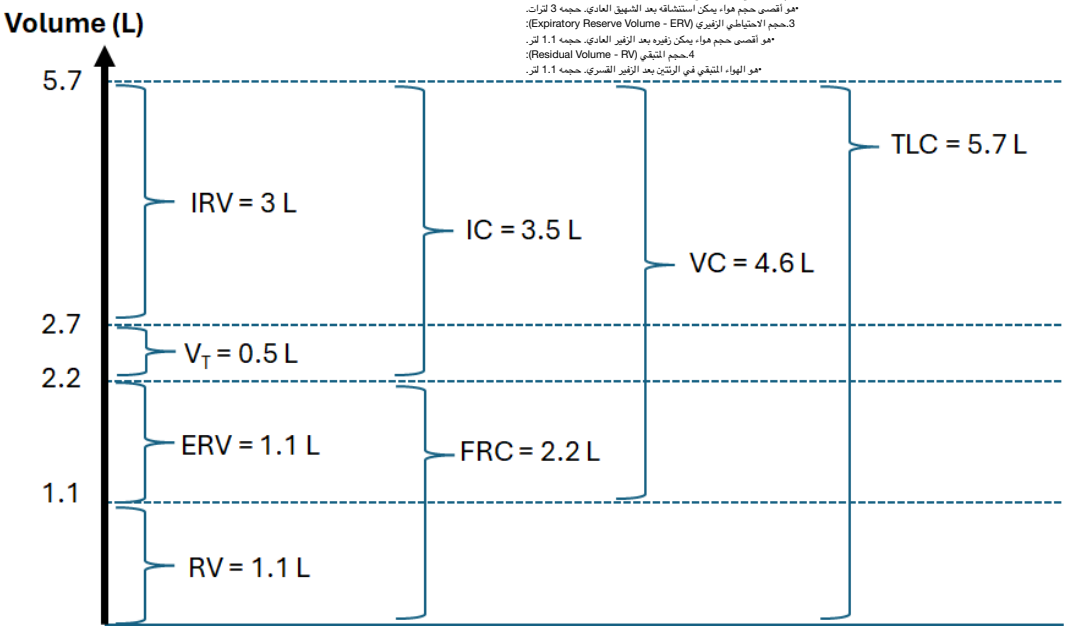
Residual Volume (RV): air remaining in the lungs after a maximal forced expiration.

4.حجم المتبقي (Residual Volume - RV):
•هو الهواء المتبقي في الرئتين بعد الزفير القسري.
•في هذا المثال، حجم المتبقي هو 1.1 لتر أيضًا

التفسير:
•يُظهر الرسم البياني المرفق كيف تتغير هذه الأحجام أثناء التنفس.
•حجم التنفس (V_T) هو كمية الهواء التي يتم استنشاقها أو زفيرها في نفس عادي.
•حجم الاحتياطي الاستنشاقي (IRV) هو الهواء الإضافي الذي يمكن استنشاقه بعد التنفس العادي.
•حجم الاحتياطي الزفيري (ERV) هو الهواء الإضافي الذي يمكن زفيره بعد الزفير العادي.
•حجم المتبقي (RV) هو الهواء الذي يبقى في الرئتين بعد محاولة الزفير القسري.
هذه القياسات تُساعد في فهم كيفية عمل الرئتين وتحديد قدرة الرئتين على التعامل مع الهواء في مختلف الظروف

The following figure shows all 4 volumes and 4 capacities (sum of volumes) of the lungs and their approximate physiological values.

الشرح في هذا النص يتعلق بالقدرات الرئوية (capacities) والأحجام الرئوية (volumes) مع قيمها الفسيولوجية التقريبية:
الأحجام الرئوية:
1.حجم التنفس (Tidal Volume - V_T):
•هو الحجم الذي يتم استنشاقه أو زفيره خلال نفس عادي. في المثال، حجمه 0.5 لتر.
2.حجم الاحتياطي الاستنشاقي (Inspiratory Reserve Volume - IRV):
•هو أقصى حجم هواء يمكن استنشاقه بعد الشهيق العادي. حجمه 3 لترات.
3.حجم الاحتياطي الزفيري (Expiratory Reserve Volume - ERV):
•هو أقصى حجم هواء يمكن زفيره بعد الزفير العادي. حجمه 1.1 لتر.
4.حجم المتبقي (Residual Volume - RV):
•هو الهواء المتبقي في الرئتين بعد الزفير القسري. حجمه 1.1 لتر.



Inspiratory Capacity (IC): the maximum volume of air that can be inspired starting from the end of a normal expiration; it equals **V_T + IRV**.

القدرات الرئوية:
1.القدرة الاستنشاقية (Inspiratory Capacity - IC):
•هي أقصى حجم هواء يمكن استنشاقه بدءًا من نهاية الزفير العادي. وتساوي V_T + IRV، أي 0.5 لتر + 3 لترات = 3.5 لترات

Functional Residual Capacity (FRC): the volume of air remaining in the lungs at the end of a normal, passive expiration; it equals **ERV + RV**.

2.القدرة المتبقية الوظيفية (Functional Residual Capacity - FRC):
•هي الحجم المتبقي في الرئتين عند نهاية الزفير العادي (الزفير العفوي). وتساوي ERV + RV، أي 1.1 لتر + 1.1 لتر = 2.2 لتر

Vital Capacity (VC): the maximum volume of air that can be expelled forcefully following a maximal inspiration; it equals **IRV + V_T + ERV (all volumes except RV).**

3.القدرة الحيوية (Vital Capacity - VC):
•هي أقصى حجم هواء يمكن زفيره بعد استنشاق أقصى كمية هواء. وتساوي IRV + V_T + ERV، أي 3 لترات + 0.5 لتر + 1.1 لتر = 4.6 لترات

Total Lung Capacity (TLC): the total volume of air in the lungs after a maximal inspiration; it equals **VC + RV (all 4 volumes)**.

4.القدرة الرئوية الكلية (Total Lung Capacity - TLC):
•هي الحجم الكلي للهواء في الرئتين بعد الاستنشاق الأقصى. وتساوي VC + RV، أي 4.6 لترات + 1.1 لتر = 5.7 لترات.

الاستنتاج:
•هذه الأحجام والقدرات تُظهر كيف يتغير حجم الهواء الذي يتم استنشاقه وزفيره في الرئتين في حالات مختلفة من التنفس، وتُساعد في تحديد قدرة الرئتين على التعامل مع الهواء تحت مختلف الظروف

Residual volume (RV) is not the same as the resting lung volume (150 mL). RV is the volume of air remaining in the lungs after maximal forced expiration (1100 mL), mainly due to airway closure and gas trapping. In contrast, the resting lung volume is a theoretical volume reflecting the lung's intrinsic elastic equilibrium if all distending forces were removed, which does not happen in physiological conditions. The resting lung volume is about 150 ml (not zero because of air trapping). Thus, RV is a measured physiological volume, whereas the resting lung volume is a property of lung elasticity, and they are fundamentally different.

1.حجم المتبقي (RV):
•حجم المتبقي (RV) هو الهواء المتبقي في الرئتين بعد الزفير القسري (بعد إخراج أقصى كمية من الهواء).
•حجم المتبقي عادةً يكون 1.1 لتر (كما تم شرحه في النص السابق).
•هذا الحجم يحدث نتيجة إغلاق المجاري الهوائية وحبس الهواء داخل الرئتين بسبب مقاومة المجاري الهوائية، وهو لا يمكن إخراجه بالكامل.
•هذا حجم قياسي يتم قياسه باستخدام أدوات خاصة ولا يمكن

2.حجم الرئة عند الراحة (Resting Lung Volume):
•حجم الرئة عند الراحة هو الحجم النظري للرئة في حالة إزالة كل القوى الخارجية (مثل الجاذبية أو مقاومة الأنسجة).
•هذا الحجم يعكس التوازن المرن الداخلي للرئة. عند الراحة، يكون الحجم حوالي 150 مل، وهو ليس صفرًا لأن هناك دائمًا حبس هواء داخل الرئتين (نتيجة للانسداد في المجاري الهوائية).
•حجم الرئة عند الراحة هو خاصية من خصائص مرونة الرئة، بينما حجم المتبقي هو حجم قابل للقياس ويعتمد على الحبس الفعلي للهواء داخل الرئتين

All volumes and capacities, except those depending on RV, can be calculated using a spirometer. RV, TLC, and FRC need other methods. FRC calculation is shown next.

كيفية حساب الأحجام والقدرات:
•جميع الأحجام والقدرات يمكن حسابها باستخدام جهاز السبيرومتر باستثناء الأحجام التي تعتمد على حجم المتبقي (RV).
•حجم المتبقي (RV)، القدرة الرئوية الكلية (TLC)، و القدرة المتبقية الوظيفية (FRC) تتطلب طرقًا أخرى لقياسها، مثل اختبار الغازات أو التصوير الطبي.

الخلاصة:
•حجم المتبقي (RV) هو الحجم الذي يبقى في الرئتين بعد أقصى زفير، ويعكس التفاعل بين مقاومة المجاري الهوائية وحبس الهواء.
•حجم الرئة عند الراحة هو حجم النظري يعتمد على مرونة الرئة الداخلية.
•RV هو حجم قابل للقياس، بينما حجم الراحة هو خاصية مرنة للرئة

الشرح في هذا النص يتعلق بقياس القدرة المتبقية الوظيفية (Functional Residual Capacity - FRC) باستخدام طريقة تخفيف الهيليوم (Helium Dilution Method). هذه الطريقة تعتمد على مبدأ حفظ الكتلة وهي تستخدم الغاز الهيليوم (He) كغاز غير قابل للذوبان، حيث يمكن استخدام درجة تخفيف الهيليوم لحساب حجم الرئة المجهول، وهو الحجم المتبقي الوظيفي (FRC)

Measurement of Functional Residual Capacity (FRC)

Helium Dilution Method

The helium dilution method is based on the principle of conservation of mass.
Helium (He) is an inert, insoluble gas that:

- Does **not** diffuse across the alveolar–capillary membrane
- Is **not** absorbed into blood

Therefore, when a known amount of helium is allowed to mix with the gas in the lungs, the **degree of helium dilution** can be used to calculate the unknown lung volume, which is the functional residual capacity (FRC).

1. A system (analogous to a breathing bag) is filled with a known gas volume ($\mathbf{V_1}$) containing helium at a known concentration ($\mathbf{C_1}$).
2. The patient is connected to the system **at the end of a normal expiration**, when lung volume equals **FRC**.
3. The subject breathes normally from the closed system.
4. Helium gradually mixes between the spirometer gas and the lung gas.
5. After equilibration, the helium concentration becomes uniform and is measured as the **final concentration ($\mathbf{C_2}$)**.

خطوات قياس القدرة المتبقية الوظيفية (FRC) باستخدام طريقة تخفيف الهيليوم:
1. إعداد النظام:
•يتم ملء النظام (المشابه لكيس التنفس) بحجم معين من الغاز الذي يحتوي على الهيليوم بتركيز معروف C_1.
2.توصيل المريض بالنظام:
•يتم توصيل المريض بالنظام في نهاية الزفير العادي، حيث يكون حجم الرئة في هذه اللحظة هو القدرة المتبقية الوظيفية (FRC).
3.التنفس الطبيعي:
•يبدأ المريض بالتنفس بشكل طبيعي من النظام المغلق.
4.اختلاط الهيليوم:
•يختلط الهيليوم تدريجيًا بين الغاز في السبيروميتر (جهاز قياس التنفس) والغاز الموجود في الرئتين.
5.التوازن:
•بعد الوصول إلى التوازن، يصبح تركيز الهيليوم في النظام موحدًا ويتم قياسه باعتباره التركيز النهائي (C_2)

Conservation of helium:

$$\text{Initial amount of He} = \text{Final amount of He}$$
$$\boldsymbol{C_1 \times V_1 = C_2 \times (V_1 + FRC)}$$

Final Equation:

$$\boldsymbol{FRC = V_1 \left(\frac{C_1}{C_2} - 1\right)}$$

A **greater drop** in helium concentration (C_2 much less than C_1) indicates a **larger FRC**.

A **small change** in helium concentration indicates a **smaller FRC**.

الزيادة في تركيز الهيليوم (C_2 أقل بكثير من C_1): تعني FRC أكبر.
•الانخفاض في تركيز الهيليوم (C_2 أقرب إلى C_1): تعني FRC أصغر.

الاستنتاج:
•كلما كانت درجة تخفيف الهيليوم أكبر (أي كان C_2 أقل بكثير من C_1)، كانت القدرة المتبقية الوظيفية (FRC) أكبر، مما يعني أن الرئتين تحتويان على هواء أكثر بعد الزفير القسري

Changes from VERSION 0 to VERSION 1:

- Added page **7** (FRC calculations)
- Clarified more about the resting lung volume and differentiating it from residual volume (in page **6**)