صدقة جارية عن المغفور له بإذن الله **عمر عطية** من دفعة 2023 – كلية الطب، الجامعة الأردنية.

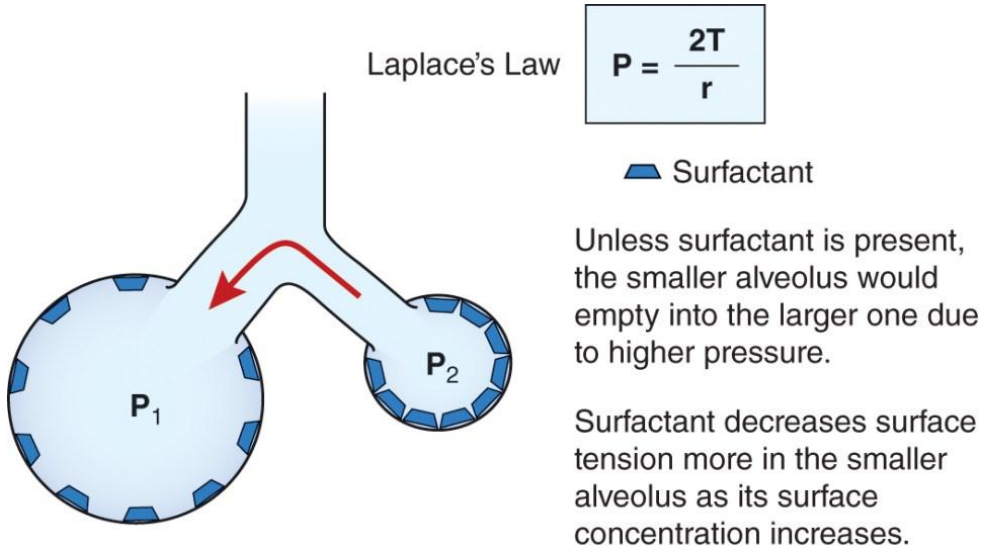
اللهم ارحمه واغفر له وأكرم نزله ووسع مدخله، لا تنسوه من دعائكم، إنا لله وإنا إليه راجعون.

#فريق_دوبامين_العلمي

Respiratory System Physiology

Comprehensive File 5 – V1

Dr. Yanal Shafagoj



Done By:

Mohammad Mahasneh

Almothana Khalil

شرح الامتثال الرئوي و منحنى الامتثال للنفخ:
الامتثال الرئوي (Lung Compliance):
•الرئة هي بالون مرن، وعند نفخها فإنها تميل إلى الانكماش بسبب قوتين:
1.التوتر السطحي، الذي يساهم في ثلثي القوة التي تسبب الانكماش.
2.الرجوع للقوة الناتجة عن الألياف المرنة الممتدة، التي تساهم في الثلث المتبقي من القوة.
•للتغلب على هذه القوى التي تسبب الانكماش، يلزم ضغط سلبي محيط قدره -4 مم زئبق في التجويف الصدري.
•الامتثال الرئوي يجب أن يبقى ضمن النطاق الفسيولوجي:
•إذا كان الامتثال مرتفعًا (كما في الانتفاخ الرئوي)، أو منخفضًا (كما في التليف الرئوي)، فإن وظيفة الرئة ستتأثر

Lung Compliance

The lung is an elastic balloon, and when inflated, it has a tendency to collapse. This collapsing tendency is due to two forces: surface tension, which contributes for approximately two-thirds of the collapsing force, and the recoil of elongated elastic fibers, which contributes for the remaining one-third. To overcome these collapsing forces, a surrounding negative pressure of −4 mmHg in the thoracic cavity is required. Lung compliance should be maintained within a physiological range; if it is increased (as in emphysema) or decreased (as in pulmonary fibrosis), lung function will be compromised.

In some pathological conditions, the patient may exhale until reaching the resting lung volume of around 150 ml, which is very low. At this volume, the lungs will be no more tending to collapse. Such a patient will also have marked difficulty with inspiration, as the inspiration is starting from an abnormally low lung volume.

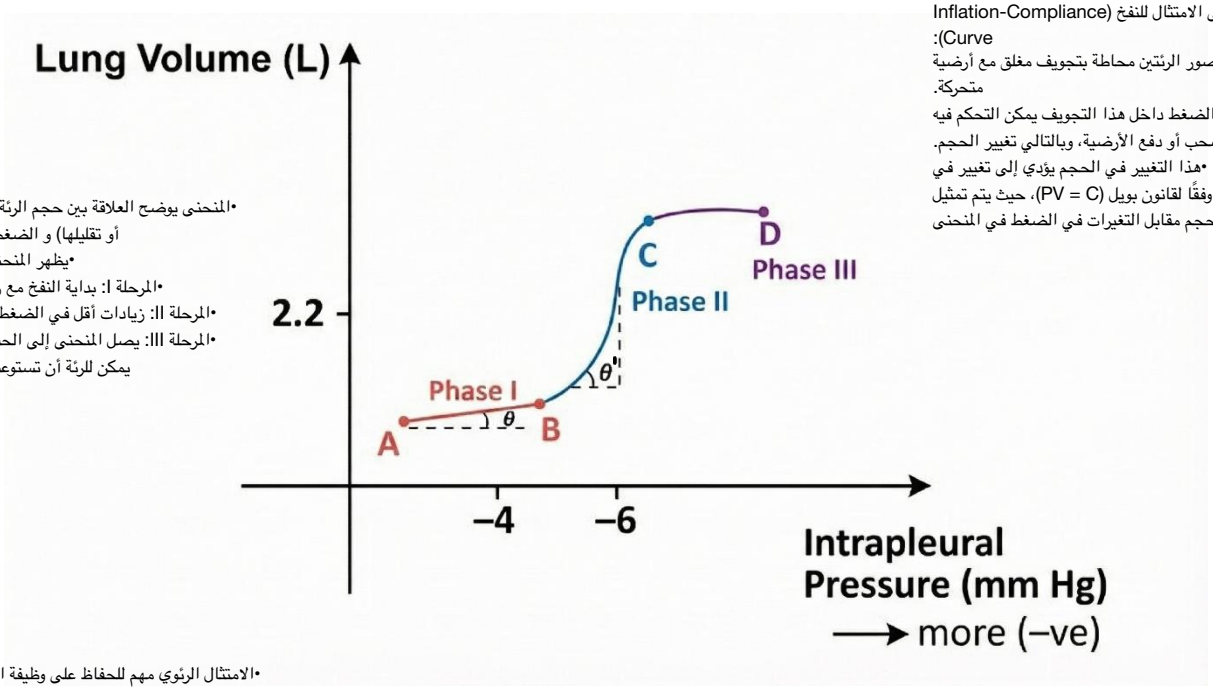
في بعض الحالات المرضية:
•قد يستطيع المريض الزفير حتى يصل إلى حجم الرئة الراحة الذي يكون منخفضًا جدًا (حوالي 150 مل)، عند هذه النقطة لن تكون الرئتين قادرتين على التوسع أكثر، مما يعوق التنفس.
•سيواجه المريض صعوبة شديدة في الشهيق، لأن الشهيق يبدأ من حجم رئة منخفض غير طبيعي.

In other pathological conditions, some areas of the lung will be so much inflated and can't accept more air as they are no more compliant.

في حالات مرضية أخرى:
•بعض مناطق الرئة قد تتمدد بشكل مفرط بحيث لا تستطيع قبول المزيد من الهواء لأنها لم تعد مطواعة

Inflation-Compliance Curve

Imagine the lungs surrounded by a closed cavity with a mobile floor. The pressure inside this cavity can be controlled by pulling or pushing the floor, thereby changing the volume, which in turn leads to a change in pressure according to Boyle's law (PV = C), plotting changes in volume against changes in pressure will give the following figure:



منحنى الامتثال للنفخ (Inflation-Compliance Curve):
•تصور الرئتين محاطة بتجويف مغلق مع أرضية متحركة.
•الضغط داخل هذا التجويف يمكن التحكم فيه عن طريق سحب أو دفع الأرضية، وبالتالي تغيير الحجم.
•هذا التغيير في الحجم يؤدي إلى تغيير في الضغط وفقًا لقانون بويل (PV = C)، حيث يتم تمثيل التغيرات في الحجم مقابل التغيرات في الضغط في المنحنى

المنحنى البياني:
•المنحنى يوضح العلاقة بين حجم الرئة (التي يتم زيادتها أو تقليلها) و الضغط عند نفخ الرئتين.
•يظهر المنحنى المراحل التالية:
•المرحلة I: بداية النفخ مع زيادة في الضغط.
•المرحلة II: زيادات أقل في الضغط مع زيادة الحجم.
•المرحلة III: يصل المنحنى إلى الحد الأقصى حيث لا يمكن للرئة أن تستوعب المزيد من الهواء

الاستنتاج:
•الامتثال الرئوي مهم للحفاظ على وظيفة الرئة في نطاق فسيولوجي. أي تغير فيه، سواء في الزيادة أو النقصان، يمكن أن يؤثر بشكل كبير على قدرة الرئة على التوسع والانكماش.
•منحنى النفخ-الامتثال يُظهر كيف يؤثر الضغط على حجم الرئة، ويكشف عن الحالات المرضية التي تؤثر على هذه العلاقة

Compliance can be calculated from the figure, as it is represented by the slope of the volume–pressure curve.

$$Compliance = Slope = \frac{\Delta V}{\Delta P} = \tan\theta$$

حيث:
•ΔV: التغيير في الحجم (حجم الرئة).
•ΔP: التغيير في الضغط.

Using the A–B segment (Phase I) as an example, it is difficult to inflate an initially deflated lung, similar to inflating a deflated balloon. In this phase, a relatively large change in intrapleural pressure produces only a small change in lung volume, indicating low compliance. This is reflected by the small angle (θ) of the slope.

2.المرحلة الأولى (A-B):
•في المرحلة الأولى من منحنى الضغط-الحجم، يكون من الصعب نفخ الرئة المفرغة، ويشبه ذلك نفخ بالون فارغ.
•في هذه المرحلة، يتطلب التغيير الكبير في الضغط الداخلي تغييرًا صغيرًا في حجم الرئة، مما يشير إلى انخفاض الامتثال، ويظهر ذلك في زاوية صغيرة للمنحنى

Breathing in this phase requires high work for a small ΔV, which may lead to respiratory fatigue, since the work of breathing is proportional to the pressure–volume change, remember, $Work = \Delta P \times \Delta V$.

التنفس في هذه المرحلة يتطلب عملًا كبيرًا لتغيير الحجم الصغير، مما يؤدي إلى إرهاق التنفس، لأن العمل في التنفس يعتمد على التغيير في الضغط والحجم

In premature babies, the amount of surfactant is minimal, resulting in high surface tension and a strong tendency for the lungs to collapse at low lung volumes. Consequently, during expiration, the lungs reach very low volumes, and the next inspiration requires a large pressure change to reopen the alveoli. This corresponds to Phase I of the volume–pressure curve, where compliance is very low. The increased work of breathing leads to high energy consumption, which may cause respiratory muscle fatigue and, if untreated, respiratory failure.

أثناء الزفير، تصل الرئتين إلى أحجام منخفضة جدًا، ويتطلب الشهيق التالي تغييرًا كبيرًا في الضغط لإعادة فتح الحويصلات الهوائية

1.المرحلة الأولى من منحنى الضغط-الحجم:
•في هذه المرحلة، يكون الامتثال الرئوي منخفضًا جدًا مما يعني أن الرئتين تواجه صعوبة في التمدد مع زيادة الضغط.
•بسبب الامتثال المنخفض، فإن التنفس في هذه المرحلة يتطلب عملًا كبيرًا، مما يؤدي إلى زيادة استهلاك الطاقة بشكل كبير
2.زيادة استهلاك الطاقة:
•العمل الكبير للتنفس يتسبب في استهلاك طاقة عالية. هذا يعني أن الجسم يستخدم الكثير من الطاقة فقط للتنفس، مما يزيد من الجهد المطلوب.
•مع مرور الوقت، قد يؤدي هذا إلى إرهاق العضلات التنفسية، حيث لا تستطيع العضلات التنفسية الحفاظ على الأداء المطلوب بسبب استهلاك الطاقة المرتفع
3.فشل التنفس:
•إذا لم يتم معالجة هذه المشكلة، فإن الاستهلاك العالي للطاقة والإرهاق العضلي يمكن أن يؤدي إلى فشل التنفس، مما يعني أن الشخص سيواجه صعوبة شديدة في التنفس وقد لا يتمكن من الحفاظ على التنفس الطبيعي.

At point B, the compliance increases sharply, as this pressure represents the pop-opening pressure of the lung. Once this pressure is reached, the lung enters Phase II (B–C segment), which is a highly compliant phase. In this segment, a small change in intrapleural pressure produces a large increase in lung volume. Therefore, Phase II is the most efficient phase for tidal volume respiration, since the lung is most compliant in this region of the curve.

1.النقطة B في منحنى الضغط-الحجم:
•عند النقطة B، يحدث زيادة حادة في الامتثال الرئوي.
•هذا الضغط يمثل ضغط الفتح للرئة، حيث تفتح الرئتين وتصبح أكثر مرونة.
2.المرحلة الثانية (B-C):
•بعد أن يصل الضغط إلى هذا الحد (النقطة B)، تدخل الرئة المرحلة الثانية من منحنى الضغط-الحجم.
•في المرحلة B-C، يكون الامتثال عاليًا جدًا، أي أن الرئة تصبح أكثر مطواعية.
3.التغيير البسيط في الضغط:
•في هذه المرحلة، تغيير صغير جدًا في الضغط يؤدي إلى زيادة كبيرة في حجم الرئة.
•هذا يشير إلى أن الرئة في هذه المرحلة قادرة على التوسع بسهولة، مما يجعلها أكثر كفاءة في التنفس الطبيعي
4.أهمية المرحلة الثانية:
•المرحلة الثانية هي الأكثر كفاءة في التنفس، خاصة بالنسبة لـ التنفس بحجم المد (Tidal Volume)، حيث تكون الرئة في أعلى مستوى من الامتثال.
•في هذه المرحلة، يمكن للرئة أن تستجيب بسهولة لأقل التغيرات في الضغط، مما يسهل التنفس الطبيعي

Phase III (C–D) occurs at high lung volumes, where the alveoli are already fully expanded. In this phase, compliance is low, so a large pressure change produces only a small increase in volume. As a result, breathing in Phase III requires more work and is inefficient for normal tidal respiration.

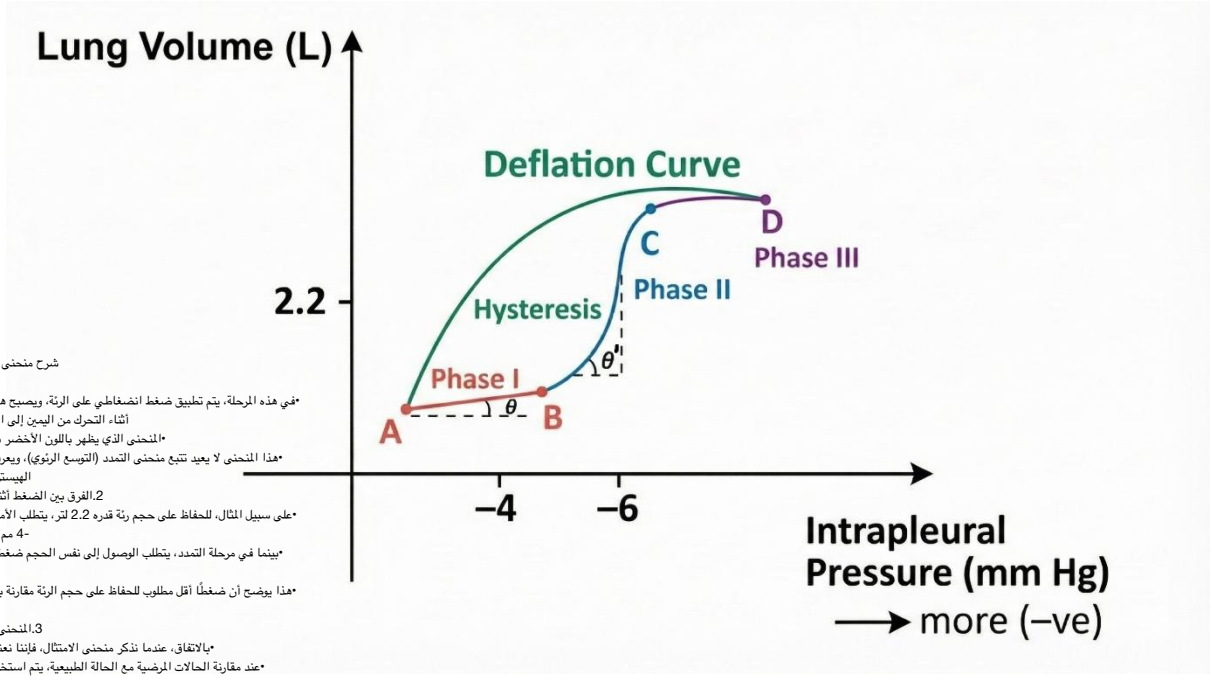
Note that the distribution of ventilation is not equal throughout the lung. At rest, the apical alveoli are already more inflated, whereas the basal alveoli are only partially inflated. As a result, during inspiration, more air is directed toward the basal alveoli, because they are more compliant and can accommodate a greater volume change.

This difference is due to regional variations in intrapleural pressure. The apical alveoli are surrounded by a more negative pleural pressure (approximately −8 mmHg), causing them to be already expanded, while the basal alveoli are surrounded by a less negative pressure (around −2 mmHg) and are therefore less inflated at rest. Consequently, most of the tidal volume preferentially enters the basal regions of the lung, which lie on the steeper (more compliant) portion of the volume–pressure curve.

1.التوزيع غير المتساوي للتهوية:
•عند الراحة، تكون الحويصلات الهوائية القمية (العلوية) قد تم تمددها بالفعل، بينما الحويصلات القاعدية (السفلية) تكون مملوءة جزئيًا فقط.
•نتيجة لذلك، أثناء الشهيق، يتم توجيه المزيد من الهواء إلى الحويصلات القاعدية، لأنها أكثر قابلية للتمدد ويمكنها استيعاب تغيير أكبر في الحجم مقارنة بالحويصلات القمية.
2.الاختلافات الإقليمية في الضغط الداخلي:
•يعود هذا الاختلاف في التوزيع إلى الاختلافات في الضغط الداخلي في الرئة:
•الحويصلات القمية محاطة بضغط سالب أكبر (حوالي -8 سم زئبق)، مما يؤدي إلى تمددها بشكل طبيعي.
•الحويصلات القاعدية محاطة بضغط سالب أقل (حوالي -2 سم زئبق)، لذلك تكون أقل تمددًا عند الراحة.
3.توجيه الهواء إلى الحويصلات القاعدية:
•نتيجة لهذه الاختلافات في الضغط، فإن معظم حجم التنفس (الهواء الذي يتم استنشاقه في التنفس الطبيعي) يدخل بشكل تفضيلي إلى المناطق القاعدية من الرئة.
•هذه المناطق تقع في الجزء الأكثر قابلية للتمدد من منحنى الضغط-الحجم، حيث تكون الحويصلات القاعدية أكثر مطواعية من الحويصلات القمية

الاستنتاج:
•التوزيع غير المتساوي للتهوية يرجع إلى اختلافات الضغط الداخلي بين الحويصلات القمية و الحويصلات القاعدية.
•الحويصلات القاعدية تكون أكثر مطواعية خلال التنفس، مما يجعلها أكثر قدرة على استيعاب الهواء، مقارنة بالحويصلات القمية

Deflation - Compliance Curve

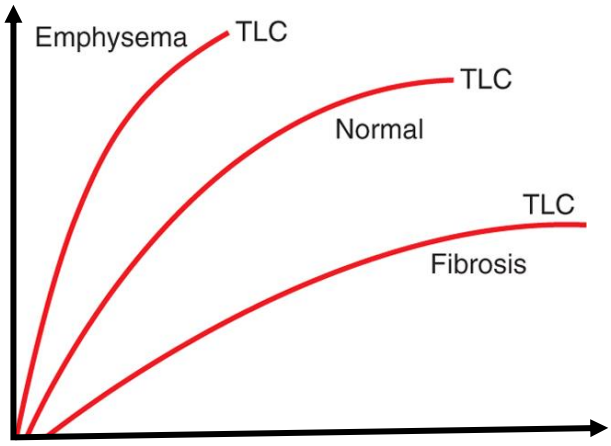


شرح منحنى الانكماش - الامتثال:
1.منحنى الانكماش:
•في هذه المرحلة، يتم تطبيق ضغط انضغاطي على الرئة، ويصبح هذا الضغط أقل سلبية أثناء التحرك من اليمين إلى اليسار على المحور X.
•المنحنى الذي يظهر باللون الأخضر هو منحنى الانكماش.
•هذا المنحنى لا يعيد تتبع منحنى التمدد (التوسع الرئوي)، ويعرف هذا الظاهرة باسم الهيستريس (hysteresis).
2.الفرق بين الضغط أثناء الانكماش والتمدد:
•على سبيل المثال، للحفاظ على حجم رئة قدره 2.2 لتر، يتطلب الأمر ضغطًا داخليًا قدره -4 مم زئبق أثناء الانكماش.
•بينما في مرحلة التمدد، يتطلب الوصول إلى نفس الحجم ضغطًا داخليًا أكثر سلبية، حوالي -6 مم زئبق.
•هذا يوضح أن ضغطًا أقل مطلوب للحفاظ على حجم الرئة مقارنة بالضغط الذي يحتاجه التمدد الأولي للرئة.
3.المنحنى المتفق عليه للامتثال:
•بالاتفاق، عندما نذكر منحنى الامتثال، فإننا نعني منحنى الانكماش.
•عند مقارنة الحالات المرضية مع الحالة الطبيعية، يتم استخدام منحنى الانكماش

During deflation, the pressure acting on the lung is a compression pressure, becoming less negative as we move from right to left on the x-axis. The curve shown in green represents the deflation curve. This curve does not retrace the inflation curve, a phenomenon known as hysteresis.

For example, to maintain a lung volume of 2.2 L, an intrapleural pressure of −4 mmHg is required during deflation, whereas during inflation, a more negative pressure (−6 mmHg) is needed to reach the same volume. This illustrates that less pressure is required to maintain lung volume than to initially inflate the lung.

By convention, when we say compliance curve we mean the **deflation curve**.
When comparing pathological conditions to normal, the deflation curve is used.



4.منحنيات الانكماش في الحالات المرضية:
•في حالة النفاخ الرئوي (Emphysema)، يكون حجم الرئة الكلي (TLC) أكبر من الطبيعي.
•في الحالة الطبيعية (Normal)، يكون حجم الرئة الكلي (TLC) ضمن المعدلات الطبيعية.
•في حالة التليف الرئوي (Fibrosis)، يكون حجم الرئة الكلي (TLC) أقل من الطبيعي، مما يشير إلى صعوبة في التمدد

الاستنتاج:
•منحنى الانكماش يُستخدم لفهم كيف يختلف الضغط أثناء الانكماش مقارنة بـ التمدد، ويُظهر كيف تتغير القدرة على التمدد مع حالة الرئة.
•هذا المنحنى يعد أداة هامة لتقييم الامتثال الرئوي ومقارنة الحالات المرضية مع الحالة الطبيعية

شرح السلوك المتناقض في الرئتين:
1.التوتر السطحي:
•التوتر السطحي يشكل حوالي ثلثي القوى التي تؤدي إلى انهيار الرئتين. بمعنى آخر، التوتر السطحي يعزز عملية انكماش الرئتين بدلاً من توسيعها.
•خلال التمدد الرئوي (الشهيق)، يجب التغلب على التوتر السطحي لتمديد الرئتين. أما أثناء الانكماش الرئوي (الزفير)، فإن التوتر السطحي يساهم في ارتداد الرئة ولا يعارضه

Explaining the Paradoxical Behavior

As previously mentioned, surface tension accounts for approximately two-thirds of the collapsing forces of the lungs. This means that surface tension favors lung deflation rather than inflation. Therefore, during lung inflation, surface tension must be overcome, whereas during deflation, surface tension contributes to lung recoil and does not oppose it.

2.الفرق بين التمدد والانكماش:
•هذا السلوك المتناقض بين التمدد والانكماش يفسر سبب عدم تطابق منحنيات الضغط-الحجم أثناء التمدد والانكماش، وهذه الظاهرة تعرف بـ الهيستريس (Hysteresis)

This difference in behavior during inflation and deflation explains why the inflation and deflation pressure–volume curves are not coincident – this is hysteresis.

To overcome the collapsing forces (including surface tension) during inflation, negative intrapleural pressure is needed. To be more context-oriented, the **inflation pressure (P)** needed to inflate the lungs is related to **surface tension (T)** and **alveolar radius (r)** by

Laplace's law:

$$P = \frac{2T}{r}$$

3.قانون لابلاس:
•لتجاوز قوى الانهيار، بما في ذلك التوتر السطحي، أثناء التمدد الرئوي، يحتاج الأمر إلى ضغط داخلي سالب في الرئة.
•الضغط المطلوب لتمديد الرئة مرتبط بـ التوتر السطحي (T) و نصف قطر الحويصلات الهوائية (r) وفقًا لقانون

هو التوتر T، هو الضغط اللازم لتمديد الرئة P
هو نصف القطر للحويصلة الهوائية r السطحي، و

Approximate values for the alveolar radius are 300 µm in adults and 200 µm in newborns. In premature babies, due to reduced surfactant, surface tension is high. High surface tension combined with a small alveolar radius means that the pressure required to inflate the lungs is significantly increased.

As a result, premature infants require assisted respiration to prevent respiratory muscle fatigue and possible death.

4.التأثيرات في الأطفال الخدج:
•القيم التقريبية لنصف قطر الحويصلة الهوائية هي 300 ميكرومتر في البالغين و 200 ميكرومتر في الأطفال الخدج.
•في الأطفال الخدج، يكون التوتر السطحي مرتفعًا بسبب نقص السطحي (surfactant)، مما يزيد من التوتر السطحي ويجعل نصف القطر صغيرًا.
•نتيجة لذلك، الضغط المطلوب لتمديد الرئتين يكون أعلى بكثير، مما يتطلب مساعدة في التنفس لمنع إرهاق العضلات التنفسية ولتفادي الفشل التنفسي والموت
الاستنتاج:
•التوتر السطحي يساعد على انكماش الرئتين، وبالتالي التوتر السطحي يزيد الضغط اللازم لتوسيع الرئتين.
•في الأطفال الخدج، التوتر السطحي مرتفع بسبب نقص السطحي، مما يتطلب ضغطًا أكبر لتمديد الرئتين.
•هذا يشير إلى ضرورة المساعدة في التنفس لتجنب إرهاق العضلات التنفسية والوفاة

The next part of this file will explain more Laplace's law and its implications in different scenarios, highlighting the effects of surfactant distribution on surface tension.

3 Questions arise that can explain this behavior on the molecular level:

1. How & why is the surfactant distribution different in inflation vs. deflation?
2. Why does this surfactant distribution lower surface tension during inflation?
3. Why exactly is hysteresis seen in the pressure-volume (compliance) curves?

See the next pages for answers to these questions.

يشرح الجزء القادم من الملف قانون لابلاس وتأثيرات توزيع السطحي (Surfactant) على التوتر السطحي في الرئتين، مع التركيز على سلوك الرئتين أثناء التمدد والانكماش. هناك ثلاثة أسئلة تبرز لفهم هذا السلوك على المستوى الجزيئي:

1. كيف ولماذا يختلف توزيع السطحي في التمدد (الاستنشاق) مقارنة بالانكماش (الزفير)؟
•هذا السؤال يبحث في كيفية تصرف السطحي في الرئتين عندما تتمدد (أثناء الاستنشاق) مقارنةً عندما تنكمش (أثناء الزفير). هذا الاختلاف مهم لفهم كيفية عمل الرئتين.

2. لماذا يقلل توزيع السطحي التوتر السطحي أثناء التمدد؟
•يسأل هذا السؤال عن دور السطحي في خفض التوتر السطحي في الرئتين أثناء الاستنشاق. يقلل السطحي من العمل المطلوب لتمديد الرئتين من خلال تقليل التوتر السطحي على مستوى الحويصلات الهوائية، مما يجعل التمدد أكثر كفاءة.

3. لماذا نلاحظ ظاهرة الهيستريس (Hysteresis) في منحنيات الضغط-الحجم (التوافقية)؟
•يشير هذا السؤال إلى الفرق بين منحنيات التمدد والانكماش للرئتين. الهيستريس هي ظاهرة تحدث عندما لا تتطابق منحنيات التمدد والانكماش، وهذا يساهم في فهم سلوك الرئتين أثناء التنفس ولماذا المنحنيات لا تتطابق

1. Why surfactant distribution differs during inflation and deflation:

Pulmonary surfactant forms a thin molecular film lining the air–liquid interface of the alveoli. This film is not rigid; it behaves as a mobile layer that responds to changes in alveolar size during the respiratory cycle.

1. لماذا يختلف توزيع السورفاكتانت أثناء الانكماش والانبساط؟
السورفاكتانت الرئوي متحرك ويستجيب لتغيرات حجم الحويصلات الهوائية طوال دورة التنفس.

A. Effects of inflation and deflation on surfactant concentration:

أ. تأثيرات الانكماش والانبساط على تركيز السورفاكتانت:
أثناء انبساط الرئتين:
•تتسع الحويصلات الهوائية، مما يزيد من مساحة الواجهة بين الهواء والسائل.
•مع ذلك، كمية السورفاكتانت الموجودة لا تزيد بشكل فوري.
•يتم توزيع الجزيئات الموجودة من السورفاكتانت على مساحة أكبر، مما يؤدي إلى انخفاض تركيز السورفاكتانت على السطح. هذا يعني أن هناك جزيئات سورفاكتانت أقل في كل وحدة من المساحة السطحية للحويصلات الهوائية

During lung inflation, the alveoli expand, which increases the surface area of the air–liquid interface. The amount of surfactant present at that moment does not increase instantly. As a result, the existing surfactant molecules are **spread over a larger surface area**. This leads to a **decrease in surfactant surface concentration**, meaning fewer surfactant molecules are present per unit area of alveolar surface.

أثناء انكماش الرئتين:
•تنكمش الحويصلات الهوائية، مما يقلل من المساحة السطحية للواجهة بين الهواء والسائل.
•يتم ضغط نفس جزيئات السورفاكتانت في مساحة أصغر، مما يؤدي إلى زيادة تركيز السورفاكتانت على السطح. وبالتالي، يصبح السورفاكتانت أكثر كثافة أثناء الانكماش

During lung deflation, the opposite occurs. As the alveoli shrink, the surface area of the air–liquid interface decreases. The same surfactant molecules are now **compressed into a smaller surface area**, leading to an **increase in surfactant surface concentration**. Thus, surfactant becomes more densely packed during deflation.

This difference in surfactant distribution between inflation and deflation is therefore a physical consequence of changing alveolar surface area, not a change in surfactant production or secretion during each breath.

الخلاصة:
•الفرق في توزيع السورفاكتانت بين الانكماش والانبساط هو نتيجة فعلية لتغيير مساحة السطح في الرئتين أثناء دورة التنفس.
•لا يوجد تغيير في إنتاج السورفاكتانت أو إفرازه أثناء كل نفس. بدلاً من ذلك، يتم إعادة توزيع السورفاكتانت بناءً على التغيرات في حجم الرئة أثناء الانكماش والانبساط.

يساعد هذا السلوك للسورفاكتانت في تقليل التوتر السطحي في الرئتين ويتيح تبادل الغازات بكفاءة عن طريق ضمان بقاء الحويصلات الهوائية مفتوحة أثناء التنفس

B. Effects of inflation and deflation on surfactant orientation:

أثناء الانكماش (Deflation):
•تقل مساحة السطح في الحويصلات الهوائية، مما يؤدي إلى ضغط جزيئات السورفاكتانت بشكل أقرب إلى بعضها.
•هذا الضغط يعزز الترتيب الأفضل للجزيئات والتركيز بشكل أكبر.
•في هذه الحالة، الجزيئات تتخذ وضعًا مثاليًا حيث تكون رؤوس الفوسفوليبيد المحبة للماء (التي تحتوي على الجلسيرول) موجهة نحو السائل المائي في الرئة، بينما الذيول الكارهة للماء تواجه الهواء في الحويصلات الهوائية.
•مع الترتيب الجزيئي الصحيح وكثافة السطح العالية، يعمل السورفاكتانت على تعطيل قوى التماسك بين جزيئات الماء بشكل فعال، مما يؤدي إلى انخفاض شديد في التوتر السطحي

During deflation, when alveolar surface area decreases, surfactant molecules are compressed closer together. **This compression promotes better alignment** and more orderly orientation of phospholipids, with hydrophilic (glycerol-based) heads facing the aqueous lining fluid and hydrophobic tails facing the alveolar air. With correct molecular orientation and high surface density, surfactant maximally disrupts water–water cohesive forces, resulting in very low surface tension.

أثناء الانبساط (Inflation):
•عندما تزيد مساحة السطح للحويصلات الهوائية أثناء الانبساط، فإن جزيئات السورفاكتانت تتوزع وتنتشر أكثر.
•ينخفض تركيز السورفاكتانت، وقد تصبح الجزيئات أقل ترتيبًا بشكل مثالي عند الواجهة بين الهواء والسائل.
•بعض الجزيئات قد تميل أو تفشل في الحفاظ على المحاذاة المثالية للرأس والذيل، مما يقلل من قدرتها على إضعاف التفاعلات بين جزيئات الماء.
•نتيجة لذلك، يصبح السورفاكتانت أقل فعالية في تقليل التوتر

During inflation, when alveolar surface area increases, surfactant molecules are spread apart. They are therefore less concentrated and **may also become less optimally oriented** at the air–liquid interface. Some molecules may tilt or fail to maintain ideal head–tail alignment, reducing their ability to disrupt water–water interactions. As a result, surfactant is less effective at lowering surface tension, beyond the effect of dilution alone.

Thus, surface tension during inflation is higher not only because surfactant concentration is reduced, but also because phospholipid orientation at the air–liquid interface is less optimal. During deflation, both increased concentration and improved molecular orientation act together to markedly reduce surface tension.

الاستنتاج:
•التوتر السطحي أثناء الانبساط أعلى ليس فقط لأن تركيز السورفاكتانت منخفض، ولكن أيضًا لأن توجيه الفوسفوليبيدات عند الواجهة بين الهواء والسائل يصبح أقل مثالية.
•أثناء الانكماش، يزداد التركيز ويُحسن التوجيه الجزيئي، مما يؤدي إلى تقليل التوتر السطحي بشكل كبير

الخلاصة:
•السورفاكتانت أكثر فعالية أثناء الانكماش بسبب ارتفاع التركيز والتوجيه المثالي للجزيئات.
•في الانبساط، يواجه السورفاكتانت تحديات في الحفاظ على فعاليته نتيجة لتوزيع الجزيئات على مساحة أكبر، مما يجعل تأثيره أقل في تقليل التوتر السطحي

2. لماذا السورفاكتانت المركز يُخفض التوتر السطحي بشكل أفضل؟

التوتر السطحي في الحويصلات الهوائية:
•يتم توليد التوتر السطحي في الحويصلات الهوائية بواسطة القوى الجذابة بين جزيئات الماء، التي تبطن سطح الحويصلة. هذه القوى التماسك تميل إلى تقليل المساحة السطحية، مما يخلق قوة تُساعد على انكماش الحويصلات

2. Why concentrated surfactant lowers surface tension better:

Surface tension in the alveoli is generated by the **attractive forces between water molecules** lining the alveolar surface. These cohesive forces tend to **minimize surface area**, creating a collapsing force on the alveoli.

Surfactant composition is 2% carbohydrates, 8% proteins, and **90% phospholipids.**

كيف يعمل السورفاكتانت؟
•جزيئات السورفاكتانت هي فوسفوليبيدات نشطة سطحياً، وهي تدخل بين جزيئات الماء عند الواجهة بين الهواء والسائل.
•عندما يكون السورفاكتانت مركزاً (أي بكثافة عالية)، يتواجد عدد أكبر من جزيئات السورفاكتانت لكل وحدة مساحتها السطحية. هذا الوجود يعيق الروابط الهيدروجينية والقوى التماسك بين جزيئات الماء بشكل أكثر فعالية، مما يؤدي إلى خفض أكبر في التوتر السطحي

Surfactant molecules are surface-active phospholipids that insert themselves between water molecules at the air–liquid interface. When surfactant is highly concentrated, a greater number of surfactant molecules are present per unit surface area. Their presence disrupts the hydrogen bonding and cohesive forces between water molecules more effectively, leading to a greater reduction in surface tension.

تأثير السورفاكتانت القليل التركيز:
•عندما يكون السورفاكتانت أقل تركيزاً (أي بتركيز أقل)، يقل عدد الجزيئات المتاحة للتداخل مع التفاعلات بين جزيئات الماء.
•نتيجة لذلك، تظل قوى التماسك بين جزيئات الماء أكثر تأثيرًا، مما يعني أن التوتر السطحي يظل مرتفعًا نسبيًا

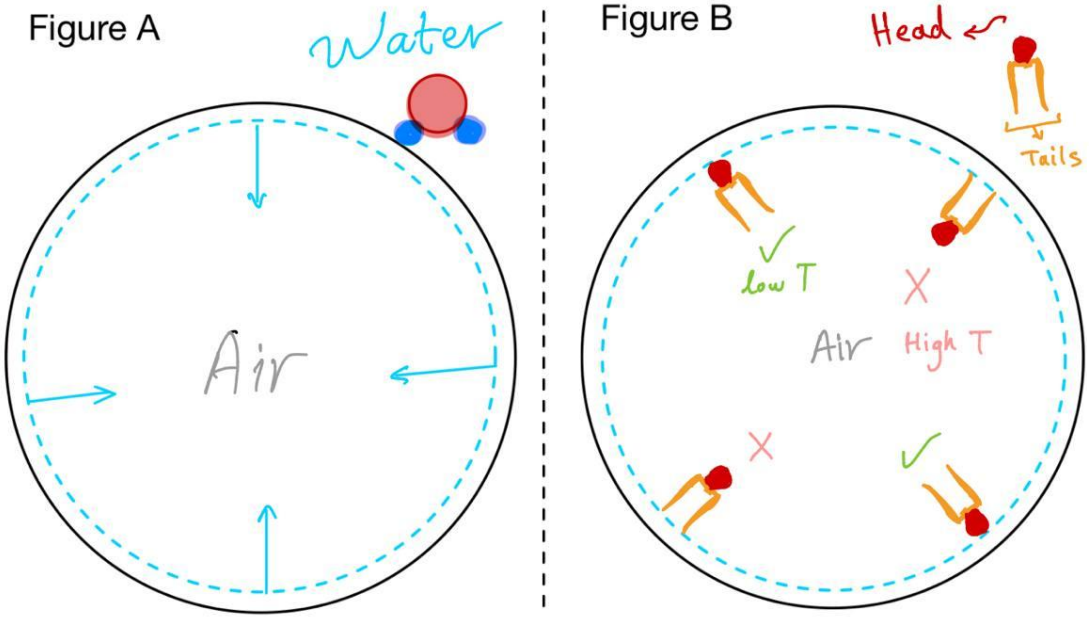
When surfactant is less concentrated, fewer molecules are available to interfere with these water–water interactions. As a result, cohesive forces between water molecules are less disrupted, and surface tension remains relatively high.

في حالة غياب السورفاكتانت:
•في غياب السورفاكتانت، تحتاج الحويصلات الهوائية المبطنة بالماء إلى ضغط سالب قدره حوالي -23 مم زئبقي لكي تتمدد وتنفخ.
•إذا كانت الحويصلات مغطاة بالبلازما (بدلاً من الماء)، يصبح التوتر السطحي أقل، وبالتالي يُكتفى بضغوط سالبة أقل (حوالي -13 مم زئبقي)

In the absence of surfactant, alveoli lined with water require a negative pressure of approximately -23 mmHg to inflate. If the alveoli are lined with plasma, surface tension is lower, so a smaller negative pressure of about -13 mmHg is sufficient.

In premature newborns, the alveolar radius is smaller (200 µm), which, according to Laplace's law, increases the inflation pressure. As a result, these infants require a negative pressure of around -30 mmHg to open the alveoli.

في المواليد الجدد الخدج:
•في المواليد الجدد الخدج، يكون قطر الحويصلة الهوائية أصغر (حوالي 200 ميكرومتر)، مما يزيد من التوتر السطحي وفقًا لقانون لابلاس، مما يجعل زيادة التوتر السطحي تتطلب طاقة أعلى لملء الرئتين بالهواء



الشكل A: واجهة الهواء والماء والقوى التماسك بين جزيئات الماء
•يوضح هذا الشكل واجهة الهواء والماء والقوى التماسك بين جزيئات الماء. هذه القوى تحاول تقليل المساحة السطحية مما يؤدي إلى إنشاء توتر سطحي.
•جزيئات الماء في الواجهة تكون شديدة التماسك (أي تجذب بعضها البعض) وهو ما يسهم في التوتر السطحي عند الحدود بين الهواء والسائل

الشكل B: اتجاه السورفاكتانت في الواجهة
•في هذا الشكل، تظهر جزيئات السورفاكتانت في الواجهة بين الهواء والسائل. تحتوي جزيئات السورفاكتانت على رؤوس محبة للماء (تتفاعل مع الماء) و ذيول كارهة للماء (تتفاعل مع الهواء).
•التوجيه الصحيح لجزيئات السورفاكتانت في الواجهة، حيث تكون الرؤوس المحبة للماء موجهة نحو الماء والذيل الكاره للماء موجه نحو الهواء، يقلل من التوتر السطحي عن طريق تقليل القوى التماسك بين جزيئات الماء (التي تسبب التوتر السطحي العالي).
•التوتر السطحي المنخفض يتحقق عندما يتم توجيه جزيئات السورفاكتانت بشكل مثالي كما يظهر في الأجزاء الخضراء، حيث يقلل السورفاكتانت بشكل فعال من التوتر السطحي. بالمقابل، عندما يكون السورفاكتانت في وضع غير مثالي أو مائل (كما هو موضح في علامات الـ X الحمراء)، يبقى التوتر السطحي مرتفعاً

Figure A *shows the air-water interface and cohesive forces between water molecules.*
Figure B *shows the orientation of the surfactant in the interface to minimize tension.*

باختصار، يقلل السورفاكتانت من التوتر السطحي عن طريق تنظيم جزيئاته بشكل مثالي على واجهة الهواء والسائل، بحيث تواجه الرؤوس المحبة للماء الماء وتواجه الذيل الكاره للماء الهواء. هذا التوجيه يعيق التماسك بين جزيئات الماء ويقلل التوتر السطحي بشكل كبير

3. Linking both concepts to inflation, deflation, and hysteresis

3. ربط كل من مفهومي التضخم، التقريغ، والتناقض
1.التضخم:
•في مرحلة التضخم، جزيئات السورفكتانت تنتشر بسبب التمدد في الأسطح الهوائية للألويول (الحويصلات الهوائية).
•هذا التمدد يسبب تقليل كثافة السورفكتانت، مما يقلل قدرته على خفض التوتر السطحي. لذا، يحتاج الجسم إلى ضغط أعلى للتضخم (النفخ) في الرئتين

During inflation, surfactant molecules are spread out due to alveolar expansion, making them less concentrated. This reduces their ability to lower surface tension, so higher pressure is required to inflate the lungs.

2.التقريغ:
•أثناء التقريغ، جزيئات السورفكتانت تصبح أكثر تراكمًا مع انخفاض مساحة السطح الهوائي.
•هذا التراكم يساعد السورفكتانت على خفض التوتر السطحي بشكل أكثر فعالية، مما يعزز ثبات الألويول (يمنع انهيار الحويصلات الهوائية)

During deflation, surfactant molecules become more concentrated as alveolar surface area decreases. This allows surfactant to lower surface tension more effectively, promoting alveolar stability and preventing collapse.

Because the surface tension is higher during inflation than during deflation at the same lung volume, the pressure–volume relationship differs between these two phases. This difference produces lung hysteresis, where the inflation and deflation curves do not coincide.

3.الفرق في التوتر السطحي بين التضخم والتقريغ:
•لأن التوتر السطحي أعلى أثناء التضخم مقارنة بالتقريغ عند نفس الحجم الرئوي، فإن العلاقة بين الضغط والحجم تختلف بين هاتين المرحلتين.
•هذا الاختلاف ينتج عنه ظاهرة التناقض (Hysteresis)، حيث أن منحنيات التضخم والتقريغ لا تتطابق

المفاهيم الأساسية:
•التوتر السطحي أثناء التضخم يكون أعلى، مما يتطلب ضغطًا أعلى لدفع الهواء إلى الرئتين.
•أثناء التقريغ، ينخفض التوتر السطحي ويصبح السورفكتانت أكثر تركيزًا، مما يساعد في تقليل التوتر السطحي بشكل أكثر كفاءة.
•التناقض (Hysteresis) يحدث بسبب هذا الاختلاف في التوتر السطحي بين التقريغ والتضخم، ويؤدي إلى عدم تطابق منحنيات الضغط والحجم بين الحالتين

Alveolar stability

•الاستقرار الألويولي يعني قدرة الألويول على البقاء مفتوحًا ومقاومة الانهيار، خاصة أثناء الزفير. في غياب آليات الاستقرار، تكون الألويول الصغيرة أكثر عرضة للانهيار والدخول في الألويول الأكبر

2.قانون لابلاس:
•وفقًا لقانون لابلاس ($P = 2T / r$)، الضغط المطلوب لإبقاء الألويول مفتوحًا يكون مباشرًا مع التوتر السطحي (T) و عكسيًا مع نصف القطر (r). وبالتالي، إذا كان التوتر السطحي ثابتًا، فإن الألويول الصغيرة تحتاج إلى ضغط أعلى للبقاء مفتوحة، وبالتالي تكون أكثر عرضة

Alveolar stability refers to the ability of alveoli to remain open and resist collapse, especially during expiration. Without stabilizing mechanisms, smaller alveoli would be prone to collapse into larger ones.

According to Laplace's law ($P = 2T/r$), the pressure required to keep an alveolus open is directly proportional to surface tension (T) and inversely proportional to alveolar radius (r). Thus, for the same surface tension, smaller alveoli require higher pressure to remain open and are more likely to collapse.

3.دور السورفكتانت الرئوي:
•السورفكتانت الرئوي يقوم بتخفيض التوتر السطحي، خاصة في الألويول الصغيرة، حيث يتجمع السورفكتانت، مما يقلل من الضغط المطلوب لإبقائها مفتوحة. وهذا يساعد في زيادة الاستقرار الألويولي من خلال جعل التوتر السطحي أقل في الألويول الصغيرة مقارنة بالألويول الكبيرة.
•عبر تقليل التوتر السطحي في الألويول الصغيرة، يساعد السورفكتانت في موازنة الضغوط بين الألويول ذات الأحجام المختلفة، مما يمنع الانهيار ويضمن استقرار الألويول

Pulmonary surfactant lowers surface tension, particularly in smaller alveoli where it is more concentrated, thereby reducing the pressure required to keep them open. By decreasing surface tension more in small alveoli than in large ones, surfactant equalizes pressures between alveoli of different sizes, preventing collapse and ensuring alveolar stability.

4.توزيع السورفكتانت بين الألويول:
•الاستقرار الألويولي يتيح التعايش بين الألويول ذات الأحجام المختلفة. على الرغم من أن الضغط المحيط بها (مثل -4 ملم زئبقي) قد يكون متشابهًا، إلا أن الألويول الصغيرة لا تنهار طالما أن الضغط المطلوب لبقائها مفتوحة متوازن بينها.
•هذا يعني أن الضغط الذي يتطلبه الحفاظ على الألويول مفتوحة يجب أن يكون متماثلاً بين الألويول ذات الأحجام المختلفة في نفس المنطقة

Alveolar stability makes possible the coexistence of different sizes of alveoli in proximity to each other. Although the pressure (*P*) surrounding them is similar, say -4 mmHg, they can coexist in stability without net air flowing between them. This means that the collapsing pressure must be similar between different alveoli in the same region.

Laplace's law assumes constant tension, but tension here must change because when '*P'* is constant and '*r'* changes, *'T'* must change to fit in the equation.

It is the physiological presence of surfactant that makes surface tension volume-dependent, and thus tension is dynamic, not constant.

5.تعديل التوتر السطحي وفقًا لقانون لابلاس:
•في حالة تغيير الحجم، يتغير التوتر السطحي لأن التوتر يجب أن يتكيف وفقًا للقانون. عندما يتغير نصف القطر، يجب أن يتغير التوتر السطحي بما يتناسب مع المعادلة.

الخلاصة:
•السورفكتانت الرئوي يعد عاملًا رئيسيًا في تقليل التوتر السطحي، خصوصًا في الألويول الصغيرة، مما يسمح باستقرار الألويول وعدم انهيارها

Changes from VERSION 0 to VERSION 1:

- First paragraph (in page **4**):
  from "… becoming less negative as we move from left to right on the x-axis."
  to "… becoming less negative as we move from right to left on the x-axis."
- Fixed the quality of the images (page **2**; page **4** (**upper** one))