فيزيولوجيا جهاز التنفس

المحاضرة 5

المراجع المعتمدة

- الاطلاع على المراجع:

- Ref1: Walter F. Boron, Emile L. Boulpaep, Medical Physiology. Updated Edition, 2006, p: 471-533.
- Ref 2: Bruce R. Johnson PH.D, Human Physiology, 5th edition, 2010, p: 568-621.
- Periodical: The Journal of Physiology, monthly journal.

العناوين الرئيسية:

1- فيزيولوجيا التنفس
2- الدوران الرئوي
3- التهوية الرئوية
4- التبادل الغازي
5- تنظيم التنفس الرئوي

1. فيزيولوجيا التنفس:

التنفس هو جملة الآليات التي تسمح بتبادل الغازات التنفسية مع الوسط الخارجي بحيث تؤمن تزويد الجسم بالأكسجين الضروري لمختلف الفعاليات الاستقلابية وطرح CO2.

يشمل التنفس خمس مراحل:

1_ حدوث تبادل غازي بين الأسناخ الرئوية والوسط الخارجي المحيطي, ويسمى "التهوية الرئوية ".

2 – تبادل الغازات بين الأسناخ والدم الجاري في الشعريات الرئوية, وتبادل الغازات بين الدم والأنسجة ويدعى "الانتشار ".

3 – نقل الأكسجين وCO2 بواسطة الدم بين الرئتين والأنسجة.

4– استهلاك O2 وطرح CO2 من قبل الخلايا وهو التنفس الخلوي أو الداخلي.

5- السيطرة على التنفس.

2. الدوران الرئوي:

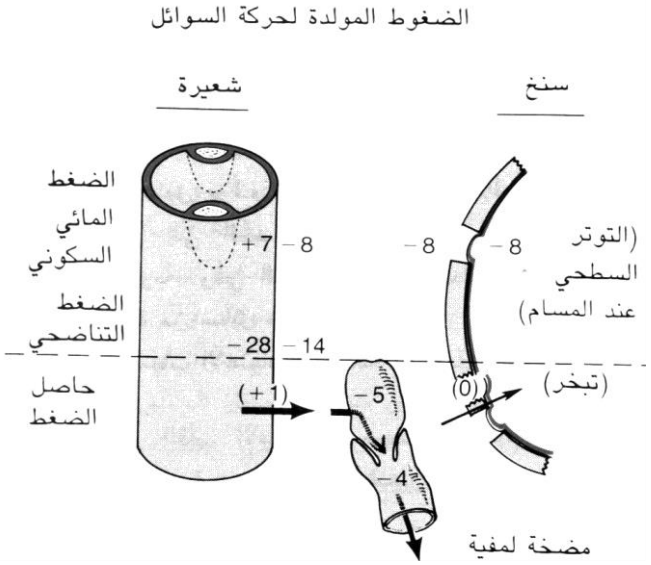
الدوران الرئوي وظيفي غايته نشر الدم على شكل طبقة رقيقة تقع على تماس مع هواء الأسناخ الرئوية ليتم التبادل الغازي. يتفرع الشريان الرئوي إلى فرعين يدخل كل فرع إلى رئة عبر السرة الرئوية, ويتفرع متماشياً مع تفرع القصبات حتى مستوى الأسناخ حيث تتشكل حول السنخ شبكة من الشعريات يتم فيها التبادل الغازي, ويتحول الدم الوريدي إلى دم شرياني مؤكسج. تجتمع الأوعية بعد ذلك في وريدات تنتهي بتشكيل الأوردة الرئوية الأربعة التي تعود بالدم المؤكسج إلى الأذينة اليسرى ليدخل في الدوران الجهازي.

تتميز الشعيرات الدموية الرئوية بغزارتها, وكثرة مفاغراتها, وهي لا تعمل دفعة واحدة وإنما قسم يعمل ويزداد أو يقل تبعاً للحالة الوظيفية للعضوية.

تتميز المصرات قبل الشعرية الرئوية بأنها تتقبض عند نقص الأكسجة (بعكس المصرات قبل الشعرية الموجودة في كل الأعضاء الأخرى التي تتوسع عند نقص الأكسجة) لهذا التقبض أهمية وظيفية كبرى إذ يسمح بتحويل الدم إلى أسناخ ذات تهوية جيدة وتركيز أكسجين ملائم لتحقيق تبادل كاف للغازات التنفسية.

تبادل السوائل عبر جدر الأوعية الشعرية:

تسمح جدر الشعريات الرئوية بمرور الماء والمواد المنحلة بالإضافة لغازات التنفس, ومحصلة القوى التي تدفع السوائل خارج الشعريات الرئوية تعادل 1 ملمز. الضغط الشعيري الرئوي يعادل 7 ملمز, والضغط الغرواني في الخلال 14 ملمز، وضغط السائل الخلالي يمثل ضغطاً سلبياً يعادل 8 ملمز، وهذه القوى بمجموعها 29 ملمز تعمل على دفع السوائل باتجاه الخلال تعاكس ضغط الدم الغرواني البالغ 28 ملمز، أي محصلة الضغط الذي يدفع السوائل نحو الخلال تعادل 1 ملمز، السائل المرتشح يعاد إلى الدوران عن طريق اللمف.



الشكل 1. الضغوط المولدة لحركة السوائل في الرئة.

لا تمنع الظهارة السنخية ارتشاح السوائل, تبقى الأسناخ جافة بسبب الضغط السلبي المرتفع في الخلال الرئوي الناجم عن فعالية مضخة اللمف.

3. التهوية الرئوية:

يتم تبادل الغازات بين الأسناخ والوسط الخارجي بوساطة الحركات التنفسية التي تحدث نتيجةً لعمل العضلات التنفسية.

العضلات التنفسية:

هي عضلات هيكلية تكيفت مع الوظيفة التنفسية, وتتألف من (الشكل 3-2):

A – عضلات شهيقية:

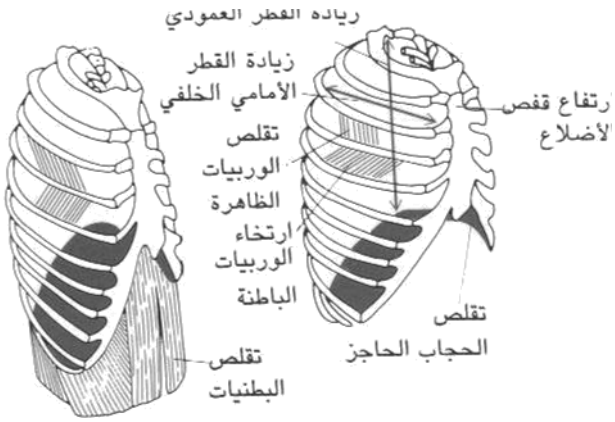
-الحجاب الحاجز: وهو أهمها، يفصل بين الصدر والبطن, يؤدي تقلصه لزيادة القطر العمودي للقفص الصدري

- العضلات الوربية الظاهرة: ترفع الأضلاع فيزداد القطر الأمامي الخلفي.
- الترقوية الخشائية: ترفع الضلع الأولى والقص فتزيد القطر الأمامي الخلفي.
- العضلات الشوكية: عضلات باسطة للعمود الفقري فيزداد القطر الأمامي الخلفي.

يحدث الشهيق نتيجة تقلص الحجاب الحاجز, ويمكن أن تشترك العضلات الوربية الظاهرة عند أغلب الأشخاص, في التهوية الشديدة تشترك بقية العضلات.

B – عضلات زفيرية:

دور هذه العضلات في الزفير القسري, ولا دور لها في الزفير العادي. وهي:



الشكل 2. العضلات التنفسية ودورها

- عضلات البطن وهي أهم العضلات الزفيرية.
- العضلات الوربية الداخلية.

الحركات التنفسية:

1-الشهيق: إدخال الهواء من الوسط الخارجي إلى الأسناخ الرئوية, وتقوم به العضلات الشهيقية.

2-الزفير: إخراج الهواء من الأسناخ إلى الوسط الخارجي. الزفير العادي منفعل يتم باسترخاء عضلات الشهيق، أما العضلات الزفيرية تتقلص أثناء الزفير القسري.

3-حركات إضافية: في مستوى المنخرين والمزمار, وتتدخل في التصويت والسعال والجهد العضلي والتبول والتغوط.

يؤدي تقلص العضلات الشهيقية إلى تمدد الرئتين. يزيد تقلص الحجاب الحاجز من القطر العمودي للصدر, وتقلص العضلات الوربية الظاهرة يزيد من القطر الأمامي الخلفي, فينخفض الضغط داخل الأسناخ ويندفع الهواء نحو الأسناخ. أما أثناء الزفير فيسترخي الحجاب الحاجز والعضلات الوربية الظاهرة, ويرتفع الضغط داخل الرئتين بالارتداد المرن لكل من الرئتين وجدار الصدر، فيخرج من الأسناخ حجم معادل الهواء ويحدث الزفير، أي الزفير العادي منفعل.

أثناء التنفس الجهدي أو القسري تشارك العضلات الشهيقية الأخرى فيزداد حجم الهواء الداخل إلى الرئتين. تسهم العضلات الزفيرية وخاصة المستقيمة البطنية في عملية الزفير القسري حيث لا تكفي القوى المرنة كقوة فاعلة لإحداث الزفير القسري, فتتقلص العضلات الزفيرية, وتخرج كميات أكبر من الهواء خارج الرئتين.

أشكال التنفس:

- الشكل البطني: عند الأطفال, يعتمد التنفس بشكل أساسي على تقلص الحجاب الحاجز.

- الشكل الضلعي العلوي: عند النساء, حيث تشارك في الشهيق العضلات الوربية الظاهرة في أعلى الصدر.
- الشكل الضلعي السفلي: عند الرجال, يعتمد الشهيق على حركة الحجاب الحاجز والأضلاع السفلية.

تردد التنفس:

_ يتغير مع العمر فهو ينقص بتقدم العمر: بين40 مرة /د عند الولادة, حتى 16 مرة/د بعد البلوغ.
- يزداد أثناء التمارين الرياضية وارتفاع درجة الحرارة, ويقل في النوم.

الحجوم والسعات الرئوية والعوامل المؤثرة عليها:

أثناء التنفس العفوي تدخل كمية من الهواء أثناء الشهيق وتخرج نفس الكمية أثناء الزفير وهذا يسمى حجم الهواء الجاري أو المدي لكن لاحظنا أنه يمكن إدخال كميات أكبر بالشهيق القسري وإخراج كميات إضافية بالزفير القسري، لذلك توجد حجوم مختلفة من الهواء يمكن تبادلها. تُقاس عن طريق مقياس خاص هو مقياس النفس, وتعرف كما يلي (الشكل 3-3):

1-حجم الهواء الجاري: TIDAL VOLUME (VT)

وهو كمية الهواء الداخلة إلى الرئة خلال شهيق عادي, أو الخارجة خلال زفير عادي, وتبلغ (0.5) لتر.

2- الحجم الشهيقي الاحتياطي: The Inspiratory Reserve Volume(I. R .V)

وهو حجم الهواء الداخل إلى الرئتين بشهيق قسري تالٍ لشهيق عادي, ويقدر بـ (2) لتر.

3- الحجم الزفيري الاحتياطي: The Expiratory Reserve Volume (E.R.V)

حجم الهواء الخارج من الرئتين بزفير قسري تالٍ لزفير عادي, ويقدر بـ (1.5-1) لتر.

4 – الحجم المتبقي: The Residual Volume (V .R)

هو كمية الهواء المتبقية في الرئتين بعد زفير قسري ويقدر بـ (1200– 1500) مل.

- يمكن جمع اثنين أو أكثر من الحجوم فنحصل على السعات الرئوية, وهي:

5- السعة الشهيقية: The Inspiratory Capacity (I .C.)

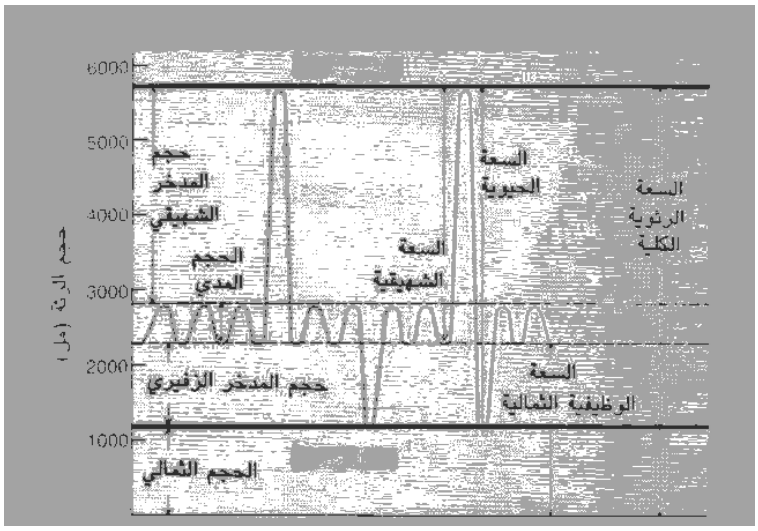
تعادل (الحجم الجاري + الحجم الشهيقي المدخر). وهي أقصى كمية من الهواء يمكن أن يستنشقها الشخص ابتداءً من نهاية زفير عادي, وحتى أقصى حد وتقدر ب 2.5لتر.

6- السعة الوظيفية المدخرة أو المتبقية: The Functional Residual Capacity (F.R .C)

وتعادل (الحجم الزفيري المدخر + الحجم المتبقي), ويقدر بـ (3) لتر, وهي كمية الهواء التي تبقى في الرئتين في نهاية زفير عادي.

7- السعة الحيوية أو الحياتية: The Vital Capacity (V .C)

وهي أكبر كمية هواء يمكن أن يشاركها الشخص في المبادلات, وتساوي مجموع الحجم الزفيري الاحتياطي والحجم الشهيقي الاحتياطي وحجم الهواء الجاري, وتقدر بـ (4.5) لتر.



الشكل 3. الحجوم والسعات التنفسية.

8- السعة الرئوية الكلية: The Total Lung Capacity (T .L .C)
هو أكبر حجم للرئة يمكن أن تتمدد إليه باستخدام أكبر جهد تنفسي, ويعادل(السعة الحيوية + الحجم المتبقي), ويبلغ حوالي (6) لتر.

تتأثر الحجوم والسعات الرئوية بالعوامل التالية:

1 – العمر: تزداد حتى سن العشرين بسبب النمو, وتبقى ثابتة حتى الأربعين, وتبدأ بالتناقص بعد ذلك بسبب تأثير الأمراض المختلفة، يترافق نقص السعة الحياتية مع زيادة الحجم المتبقي. وتنقص السعة الرئوية الكلية مع تقدم العمر.

2 – الجنس: تكون عند الرجال أكبر مما هي عند النساء. وهي تزداد بازدياد الطول.

3– الحالة الصحية: السل, وانتفاخ الرئة, والربو القصبي, وشلل العضلات التنفسية أمراض تسبب تناقص السعة الحيوية.

4- وضعية الجسم: تنخفض السعة الحيوية عند الاضطجاع مقارنة بالجلوس بسبب دفع الأحشاء للحجاب الحاجز, بينما تزداد في الوقوف.

5- درجة اللياقة البدنية: تزداد السعة الحيوية عند الرياضيين, ويمكن أن تصل إلى 7 لترات.

نذكر بعض المفاهيم:

1-حجم الحيز الميت: وهو حجم الهواء الذي لا يسهم في التبادل الغازي, وهو حجم الطرق الهوائية من الرغامى وحتى العنيبات الرئوية ويقدر بـ (150) مل.

2-التهوية الرئوية: وهي كمية الهواء الداخلة أو الخارجة من الرئتين في الدقيقة.

التهوية الرئوية = حجم الهواء الجاري × تردد التنفس.

= 0,5 × 15 = 7,5لتر / دقيقة.

3- التهوية السنخية: كمية الهواء الداخلة أو الخارجة من الأسناخ الرئوية في الدقيقة.

التهوية السنخية = (حجم الهواء الجاري – حجم الحيز الميت) × تردد التنفس.
= (0,15-0,5) × 15 = 5,25 لتر / دقيقة.

4. التبادل الغازي:

يتعلق التبادل الغازي في مستوى الأنسجة والرئة بسماكة ومساحة غشاء التبادل, والفروق في الضغوط الجزيئية للغازات, ويتعلق مبدأ انتشارها بدرجة ذوبان الغاز في الغشاء ووزنه الجزيئي.

انتشار الغازات عبر الغشاء التنفسي:

يحدث التبادل الغازي بين هواء الأسناخ والدم عبر الأجزاء الانتهائية في الرئتين خلال ما يسمى بالغشاء التنفسي الذي يتألف من:

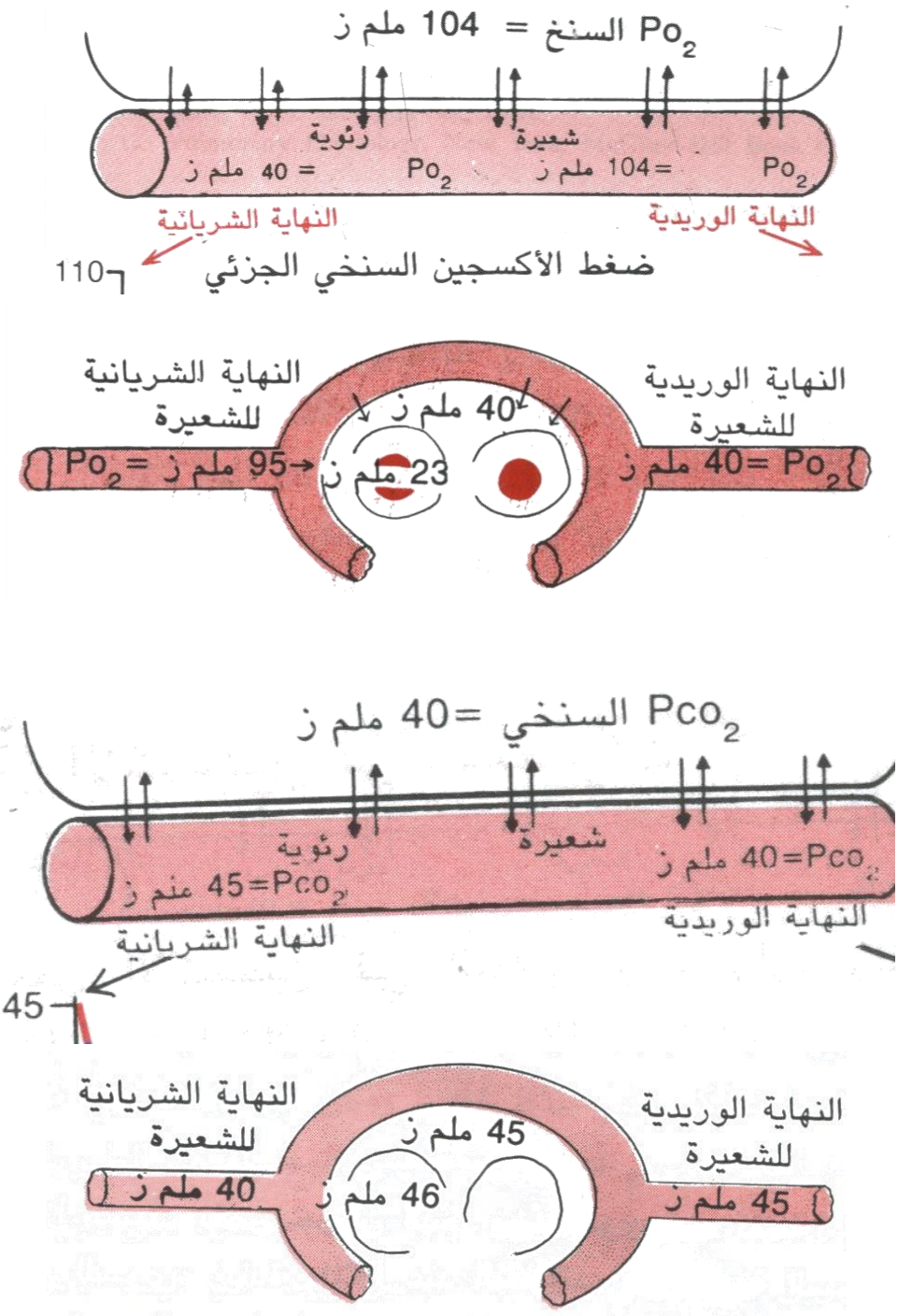
1 – طبقة من السائل المبطن للسطح, ويحوي مادة السورفاكتانت التي تنقص التوتر السطحي للسائل السنخي.
2- الظهارة السنخية المؤلفة من خلايا ظهارية رقيقة جدا".
3- غشاء قاعدي ظهاري.
4- مسافة خلالية رقيقة جدا" بين الظهارة السنخية والغشاء الشعري.
5- غشاء قاعدي شعري يندمج في أماكن عديدة مع الغشاء القاعدي الظهاري.
6- الغشاء البطاني الشعري.

وعلى الرغم من العدد الكبير للطبقات وثخانتها التي تتراوح بين (0.2-0.6) ميكرومتر فإن مساحة كامل الغشاء التنفسي حوالي (50-100) م^2.

يتأثر معدل انتشار الغاز عبر الغشاء التنفسي بثخانة الغشاء ومساحته, معامل انتشار الغاز في ماء الغشاء, فارق الضغط بين طرفي الغشاء.

يتناسب معامل الانتشار لأي غاز مع قابلية ذوبان الغاز في الغشاء طردا", وعكسا" مع الجذر التربيعي لوزنه الجزيئي، وطبقا" لذلك فإن سرعة انتشار غاز CO2 عبر الغشاء أكبر بعشرين مرة من سرعة انتشار O2, والانتشار بين طرفي الغشاء يخضع لفرق الضغط بين طرفي الغشاء.

- ينتشر O2 من الأسناخ إلى الدم وينتقل محمولا" بالخضاب بارتباط كيميائي إلى النسج حيث تستعمله الخلايا.
- يستهلك O2 في جميع الخلايا, ويتشكل CO2 ليخرج إلى الدم ويصل إلى الرئتين ويخرج من الأسناخ.
- الانتقال عبر جميع المراحل يتم أيضا" بفارق الضغوط.
- الضغط الجزئي للـ O2 في الأسناخ 104 ملمز, وفي الشعريات الرئوية 40 ملمز. يندفع O2 نحو الدم بفرق الضغط, ويرتبط مع الخضاب ليشكل الخضاب المؤكسج. في الدم القادم عبر الشرايين إلى النسج يعادل الضغط الجزئي للـ O2 94 ملمز, وقيمته في الخلال أقل من 40 ملمز, لذلك يترك O2 الخضاب ويتجه نحو الخلال ثم نحو الخلايا.
- الضغط الجزئي للـ CO2 في الأسناخ 40 ملمز, وفي الشعريات الرئوية 46 ملمز, لذلك يترك CO2 الدم ويطرح للأسناخ. في النسج بالعكس يبلغ الضغط الجزئي للـ CO2 أكثر من 46 ملمز, وفي الدم الشرياني 40 ملمز لذلك يترك CO2 الخلايا والخلال ويتجه نحو الدم.



إن97 % من O2 ينتقل محمولا" على الخضاب, 3 % ينتقل منحلا" في البلاسما.

إن ميزة O2هي ارتباطه الضعيف والعكوس مع الخضاب حسب فارق التركيز, بعكس CO الذي يتم اتحاده مع الحديد في الهيموغلوبين ويشكل الكاربوكسي هيموغلوبين وهذا الارتباط قوي ويفقد الخضاب وظيفته.

العوامل المؤثرة على درجة ارتباط الأكسجين بالخضاب: تزداد نسبة إشباع الخضاب بالأكسجين بـ:

- زيادة الضغط الجزئي للأكسجين PO2.

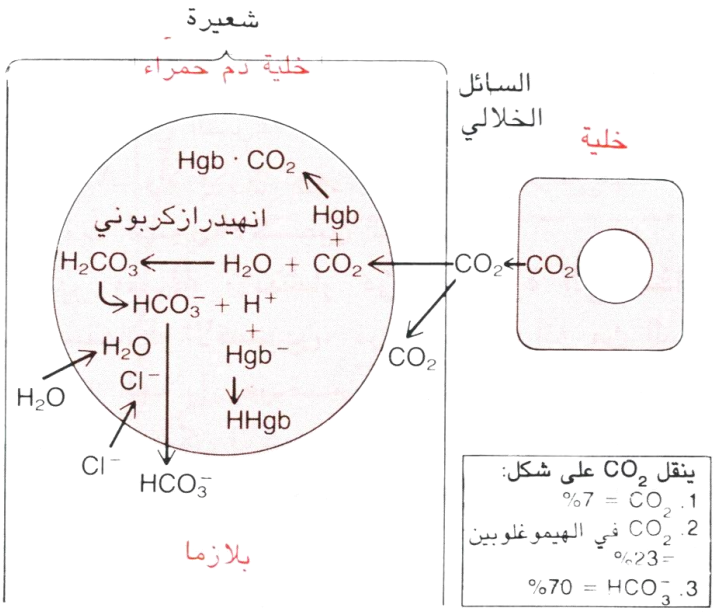
- نقص الضغط الجزيئي للكربون PCO2.
- نقص تركيز شوارد الهيدروجين H^+ (زيادة pH).
- نقص درجة الحرارة.

نلاحظ أنه في الرئتين بسبب فرق ضغط O2 ينتقل من الأسناخ إلى الدم, ويرتبط بالخضاب, وتزداد نسبة الارتباط لنقص PCO2, وتركيز شوارد الهيدروجين H^+, ودرجة الحرارة.

في الأنسجة يستهلك الأكسجين باستمرار لذلك تركيزه منخفض أقل من 40 ملمز, وعندما يصل الدم الشرياني إلى الشعيرات حيث PO2 95 ملمز سيترك الأكسجين الخضاب ويتجه إلى النسج بفرق الضغط, ويتعزز ترك الأكسجين للخضاب بتأثير زيادة PCO2, وتركيز شوارد الهيدروجين H^+ (نقص pH), ودرجة الحرارة حيث تزداد كل هذه العوامل في النسج مقارنة بالرئتين.

نقل وتثبيت ثاني أكسيد الكربون:

يتشكل CO2 من الاستقلاب الخلوي, ويخرج على شكل منحل إلى المصورة حيث تحمل نسبة منه بشكل منحل. الباقي يدخل إلى الكرية الحمراء ليتفاعل قسم منه مع الخضاب, ويشكل الكاربأمينوهيموغلوبين, والقسم الأكبر يتحد مع الماء لتشكيل حمض الكربون الذي يتفكك إلى $HCO3^-$, H^+, تذهب شاردة البيكربونات إلى المصورة, أما شاردة الهيدروجين فتبقى متحدة مع الخضاب في كرية الدم الحمراء. (الشكل 5).



- يتم هذا الارتباط ((H2O + CO2)) بوجود الأنهيدراز الكربونية وهي مسؤولة عن نقل 70% من CO2 من النسج إلى الرئتين.
- 5% من CO2 تنتقل منحلة بالمصورة.
- 23% تنتقل عن طريق الخضاب.
- حوالي 3% من CO2 تتحد مع بروتينات المصورة.

يبلغ PCO2 في النسج أكثر من 46 ملمز, وفي الدم الشرياني القادم 40 ملمز, يترك الكربون الخلال إلى الدم بفرق الضغط, ويتعزز ذلك بنقص الأكسجين، وفي الرئتين يحدث العكس إذ يترك الكربون الدم إلى الأسناخ وتزداد كمية الكربون المطروحة بزيادة الأكسجين.

5. تنظيم التنفس الرئوي:

للحفاظ على استتباب الضغوط الجزيئية للغازات التنفسية أهمية قصوى في الحفاظ على الحياة. يمكن أن تزداد الحاجة إلى الأكسجين, ويزداد إنتاج CO2 حتى 20 ضعفاً, مما يتطلب تعديلاً مناسباً للتهوية لتحقيق استتباب الغازات. بالمقابل أي اضطراب في آلية تنظيم التنفس يترافق بتبدلات في ضغوط الغازات, ويتظاهر بأعراض مختلفة قد تصل حتى تهديد الحياة.

يعتمد تنظيم التنفس على عمل مراكز عصبية ناظمة موجودة في جذع الدماغ يشاركها في التنظيم مستقبلات كيميائية مركزية, وأخرى محيطية منتشرة خاصة في السباتي والأبهر, وكذلك يشارك في التنظيم مستقبلات موجودة في جدار الرئة والصدر.

مراكز التنفس العصبية:

- يضبط التنفس منطقة عصبية تسمى بمركز التنفس, وهو مؤلف من مجموعة من العصبونات المنتشرة والمتوضعة في البصلة والحدبة والأكيمات الأربعة والجسر.

- وتتألف من أربعة مراكز: (الشكل 3-5)

أ – مركز الشهيق في البصلة.

ب- مركز الزفير العميق في البصلة.

ج- المركز الناهي يقع أسفل الجسر, ويثبط مركز الشهيق.

د- المركز المنظم للتنفس ويقع أعلى الجسر, ويصحح عمل المركز الناهي.

تتدخل المراكز التنفسية في عملية التنفس بطريقتين: عصبية وكيميائية.

التنظيم العصبي للتنفس الرئوي:

- يتم التنظيم العصبي للتنفس عن طريق منعكسين عصبيين:
  - الأول: ينطلق من الرئة.
  - الثاني: ينطلق من القفص الصدري.

الأول: إن تمدد الأسناخ في الشهيق يولد منعكس الزفير, وانخماصها في الزفير يولد منعكس الشهيق, وهكذا في الحالة العادية لا يوجد تنبيه إلا في نهاية الشهيق حيث يؤدي لتثبيط الفعالية الحجابية ويحدث الزفير بآلية انعكاسية.

الثاني: ينطلق من القفص أثناء التمدد, فتمدد القفص الصدري ينبه التنفس.

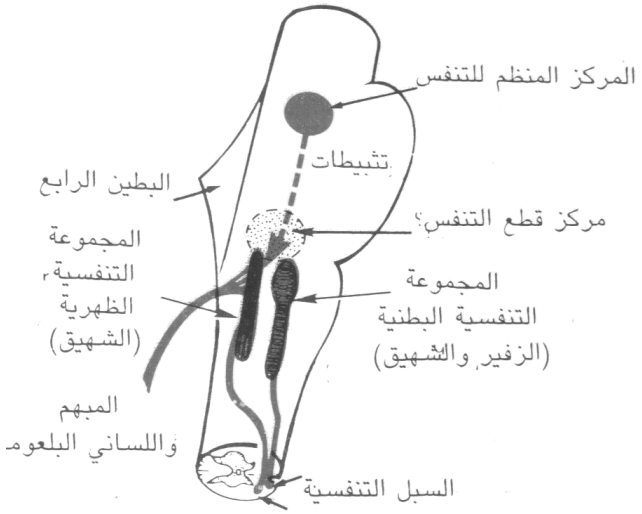
دور المراكز السابقة:

1- مركز الشهيق: يشمل عصبونات ذات فاعلية ذاتية مسؤولة عن إثارة الشهيق, وتحدد بالتالي إيقاع التنفس أو تواتر التنفس. يتوضع المركز في الناحية الظهرية للبصلة, تصله سيالات عبر المبهم ويرسل سيالات عبر العصب الحجابي إلى الحجاب الحاجز.

2- مركز الزفير: يقع على الناحية البطنية من البصلة – ففي التنفس الهادئ يكون الزفير منفعلاً ولا دور لمركز الزفير أما في حالة التهوية المفرطة يرسل المركز سيالاته إلى العضلات الوربية الباطنة والمستقيمة البطنية مما يؤدي إلى زفير فعال.

3- المركز الناظم: يقع في القسم الأمامي أعلى الجسر, يثبط هذا المركز مركز الشهيق– لذلك وظيفته تحديد الشهيق لكنه يؤثر بذلك على الزفير.

4- المركز الناهي: يرسل عصبونات (سيالات) إلى مركز الشهيق ويتحكم بعمق الشهيق.



الشكل 6. أقسام مركز التنفس

- منعكس هيرنغ – بروير:

مستقبلات التمطط الموجودة في جدر القصبات والقصيبات وفي كامل الرئة, ترسل إشاراتها إلى المراكز التنفسية عبر المبهمين عندما تتمطط الرئة إذ تحرضها على وقف الشهيق ومنع أي إضافة له وهذه آلية وقائية تمنع الرئة من التمزق.

دور قشر الدماغ:

- التنفس فعل تلقائي لكن يمكن للإرادة أن تؤثر بإبطائه أو تسريعه أو إيقافه لفترة محدودة أو تضخيمه وذلك عن طريق صدور سيالات قشرية تصل إلى المراكز البصلية لتؤثر مباشرة في العصبونات الحركية للعضلات التنفسية الحجابية والوربية.

لكن كيف يتم التحكم بالفعالية التنفسية حسب حاجات الجسم؟

يتم ذلك بالتحكم الخلطي للتنفس, وتستجيب الفعالية التنفسية لتغير هذه العناصر.

التنظيم الكيميائي للتنفس:

بما أن الهدف النهائي للتنفس هو الحفاظ على تراكيز مناسبة من H, CO2, O2، فإن مركز التنفس يستجيب لتغيرات هذه العناصر.

- زيادة H^+, CO_2 تزيد إشارات الشهيق المرسلة للعضلات التنفسية, أما تبدلات O_2 فلا تملك تأثيراً هاماً على مركز التنفس مباشرة, لكنها تؤثر على المستقبلات المحيطية في السباتي والأبهر والتي تصدر إشارات إلى مركز التنفس.

- لا تتأثر المراكز العصبية بشكل مباشر بالغازات, وإنما يوجد مركز مجاور حساس كيميائياً يتحسس لتغيراتH^+, CO_2, ويثير بدوره الأجزاء الأخرى من مراكز التنفس.

الهيدروجين المنبه الأولي: إن عصبونات المستقبلات الكيميائية حساسة بشكل خاص لشوارد H^+, وهو المنبه الأساسي, لكن شوارد الهيدروجين لا تجتاز الحاجز الدماغي بسهولة لذلك يكون تأثيرها أقل من CO_2 الذي يعمل بشكل مباشر وغير مباشر.

تأثير CO_2: لـ CO_2 تأثير مباشر على تنبيه عصبونات المنطقة الحساسة كيميائيا", لكنه يملك تأثير غير مباشر فعال جدا", وذلك عن طريق تفاعله مع الماء وتشكيل حمض الكربون الذي يتفكك إلى بيكربونات وهيدروجين، الذي بدوره يعزز التأثير على مركز التنفس.

لا تملك تغيرات PO_2 تأثيراً مباشراً على المركز التنفسي إلا إذا انخفض بشدة، فآلية عمل الخضاب تسمح بتأمين ما يكفي للنسج حتى وإن انخفض ضغطه حتى 60 ملمز, بينما تبدلات PCO_2 تؤثر بشكل مباشر وقوي، وهذا يشكل خط دفاع أولي وقائي.

المستقبلات المحيطية: مجموعة من المستقبلات الحساسة كيميائياً تنتشر في الجيب السباتي وقوس الأبهر, وهي حساسة لتبدلات PO_2, إذ يؤدي نقصه (خاصة إذا انخفض إلى أقل من 60 ملمز) إلى تنبيه هذه المستقبلات التي تنتقل سيالاتها عبر العصبين البلعومي اللساني والمبهم ومنها إلى مركز التنفس فيزداد العمل التنفسي.

هذه المستقبلات حساسة أيضا" لزيادة PCO_2 وH^+ لكن بدرجة أقل بسبعة مرات من حساسية المراكز التنفسية المركزية, وميزة التنبيه للمستقبلات المحيطية هنا أنه يكون أسرع وهذا مهم أثناء الجهد.

عندما *ينقص*PCO_2 تتنبه المستقبلات الكيميائية وتثبط التنفس، نقص PCO_2 وH^+ معاً يثبطان المركز التنفسي بشدة.

التنفس في المرتفعات:

في المرتفعات العالية (3000متر) يهبط الضغط الجزئي للأكسجين حتى 60 ملمز مما يحرض المستقبلات المحيطية الكيميائية فتنبه مركز التنفس, وتزداد الفعالية التنفسية وينقص بالنتيجة PCO_2 وH الأمر الذي يثبط مركز التنفس, وتظهر أعراض مرض الجبال مثل الصداع والغثيان والدوار بسبب نقص الأكسجين الذي يتعزز بتقبض الأوعية الدموية التالي لنقص الكربون.

بعد ساعات يتأقلم مركز التنفس مع التراكيز المنخفضة لـ PCO_2 فيزداد معدل التنفس ويتحسن مستوى الأكسجين، تشارك الكلية في التأقلم بتصحيح القلاء التنفسي. ثم يزداد عدد الكريات الحمر بتحريض زيادة إفراز الأريثروبيوتين من الكلية.

المحاضرة

إضافات مدرس المقرر