الباب الثالث

فيزيولوجيا الجهاز التنفسي

Respiratory System Physiology

مقدمة :

التنفس هو مجموعة العمليات التي يحدث بنتيجتها تبادل غازي بين الكائن الحي والوسط المحيط به والتنفس من العمليات الضرورية لاستمرار حياة الكائن الحي ، وذلك لأن خلايا ونسيج جسم الإنسان تحتاج إلى مدد مستمر من الأوكسجين لاستعماله في عمليات الإستقلاب وإنتاج الطاقة اللازمة لاستمرار الوظائف الحيوية في الجسم . كما تحتاج هذه الخلايا أيضاً إلى وسيلة يتم بوساطتها التخلص من نواتج عملية الأكسدة وخاصة ثاني أوكسيد الكربون .

الفصل الأول

تركيب الجهاز التنفسي

تتم عملية التنفس عند الإنسان بوساطة الرئتين والممرات الهوائية :

١ – الممرات الهوائية :

يدخل الهواء الخارجي إلى الرئتين عن طريق مروره بمجموعة من الممرات الهوائية والتي تشمل التجويف الأنفي ، البلعوم ، الحنجرة ، الرغامى والقصبات الهوائية .

والتجويف الأنفي عبارة عن عضو يمتد من فتحتي الأنفي في الأمام وحتى الفتحة الأنفية البلعومية في الخلف . وهو يقسم إلى قسمين متماثلين بوساطة حاجز عظمي غضروفي يدعى الحاجز الأنفي .

ويحتوي التجويف الأنفي على تلافيف وامتدادات غير منتظمة والتي تعتبر امتداد للعظم الغربالي وتدعى هذه التلافيف والإمتدادات بالمحارات . وتؤدي

هذه المجارات دوراً هاماً في تقليل سرعة تيارات الهواء المستنشق حتى يتسنى للغشاء المخاطي المبطن لتجويف الأنف تدفئة الهواء وترطيبه وتنقيته قبل دخوله الرئتين .

ويبطن كامل مساحة التجويف الأنفي بما فيها المجارات غشاء ظهاري مهدب عمدي بالأوعية الدموية ويحتوي على خلايا غدية خاصة تفرز المخاط (خلايا جوبلت Goblet Cells) . وتنمو على هذا الغشاء الظهاري أشعار دقيقة تلعب دوراً هاماً في تصفية الهواء المار عبر الأنف .

ويفيد التركيب الخاص لبطانة التجويف الأنفي في تنقية الهواء المستنشق وتدفئته أو تبريده كما يفيد في ترطيب الهواء الجاف الذي يدخل الممرات الهوائية في طريقه إلى الرئتين . كما تعمل مفرزات الغدد المخاطية على امتصاص الجزيئات الكبيرة الموجودة في الهواء المستنشق . وتساعد حركة أهداب الخلايا الموجودة في التجويف الأنفي على دفع المخاط إلى مؤخرة هذا التجويف حيث يتم سقوطه في الجزء الأنفي من البلعوم .

ويتراكم المخاط في البلعوم يتم إبتلاع قسط منه لإرادياً وقد يتم خروج قسم منه عن طريق الفم . وفي حالات الإصابات التحسسية في الأنف عند الإنسان أو في أثناء الالتهابات الأنفية عنده ، يفرز الغشاء المخاطي المبطن للأنف كميات كبيرة من المخاط لا تستطيع حركة الأهداب المستمرة إيصالها كلها إلى البلعوم . ولذا تظهر السيلانات المخاطية الأنفية عند الإنسان .

والبلعوم هو ممر مشترك لكل من الجهاز التنفسي والهضمي كما أنه يتصل مع الأذن الوسطى عن طريق نفير أوستاش . (شكل رقم ١٠) . وتقسم البلعوم تشريحياً إلى ثلاثة أجزاء .

١ – البلعوم الأنفي Nasopharynx :

ويقع بعد الفتحة الخلفية للأنف وفوق الحنك الرخو مباشرة . ويحتوي البلعوم الأنفي على اللوز البلعومية Pharyngeal Tonsils وهي مجموعة من العقد

الـلـمفاوية . كما يحتوي البلعوم الأنفي أيضاً على فتحة نفير أوستاش التي تصل التجويف الأنفي بالأذن الوسطى والتي يسبب انغلاقها اضطرابات في آلية السمع .

٢- البلعوم الفموي Oropharynx :

وهـو يـمـتـد مـن نـهـايـة الـتـجـويف الفـمـوي إلى حدود العظم الالسي (Hyoid bone) وهـو يقع تحت البلعوم الأنفي مباشرة ويحتوي على اللوزات الحنكية واللسانية .

٣- البلعوم الحنجري Laryngopharynx :

وهو الجزء الذي يحيط بالفتحة الأمامية للحنجرة والمري . والهواء الذي تجـاوز في مسيرته القمع الأنفي يتجه إلى البلعوم الأنفي فالبلعوم الفموي وأخيراً إلى البلعوم الحنجري الذي يتصل مع المزمار Glottis أي الفتحة الأمامية للحنجرة

والـحـنـجرة هي عضو غضروفي غشائي يصل البلعوم بالرغامى . وهي بالإضافة إلى وظيفتها التنفسية في تمرير الهواء إلى الرغامى تحتوي على الأحبال الصوتية التي يتشكل من اهتزازاتها الصوت عند الإنسان .

ويتكون هيكل الحنجرة من عدد من الغضاريف ترتبط مع بعضها البعض بواسطة أربطة وعضلات خاصة . ويبطن تجويف الحنجرة غشاء ظهاري مهدب تـتـحـرك أهدابـه باستمرار دافعة الجزيئات الصغيرة الغريبة المحمولة في الهواء باتجـاه الـبـلـعوم ليـصـار إلى دفعها إلى خارج الجسم أو بلعها إلى داخل الجهاز الهضمي . من جهة أخرى تساعد العضلات الخاصة الداخلة في تركيب الحنجرة عـلـى تـحـريك هذه الحنجرة إلى الأعلى وإلى الأسفل أثناء عمليات البلع وإخراج الأصوات والتقيؤ .

والـرغـامـى هـي أنبوب عضلي غضروفي يبدأ من الحنجرة ويهبط في الـتـجويف الصـدري لمسافة تنقسم بعدها إلى شعبتين تنتهي كل شعبة في رئة . وتـتـألف جدران الرغامى من نسيج ضام رقيق وقاسي ومدعم بغضاريف حلقية الشكل ولكنها غير مكتملة الاستدارة وتأخذ عادة شكل الحرف اللاتيني C .

وتدخل في تركيب جدار الرغامي عضلات ملساء تشغل بشكل أساسي الفجوات التي تتركها الحلقات غير المكتملة لغضاريف الرغامي .

يتألف الغشاء المبطن للرغامي من نسيج ظهاري مهدب غني بالغدد المخاطية المفرزة للمخاط . ويقوم هذا المخاط باحتجاز الجزئيات الغريبة التي يحملها الهواء صعد إلى الرغامي . أما وظيفة الأهداب فهي دفع هذه الجزئيات المحتجزة إلى الأعلى باتجاه البلعوم حيث يصار إلى بلعها أو بصقها إلى الخارج . وكما ذكرنا سابقاً تتفرع الرغامي داخل تجويف الصدر إلى شعبتين قصبيتين تنتهي كل واحدة في رئة . وتتفرع كل شعبة قصبية داخل الرئة إلى عدد كبير من الفروع معطية القصيبات الهوائية التي تتشعب بدورها إلى فروع أصغر فأصغر . وأدق هذه الفروع ينتهي بالأسناخ الرئوية التي تولف بمجموعها تجمعات كبيرة من الأكياس الصغيرة الحجم والتي تنتظم على شكل عناقيد العنب . وعبر جدران هذه الأسناخ السرئوية تتم جميع المبادلات الغازية بين الوسط الخارجي ودم الرئتين.

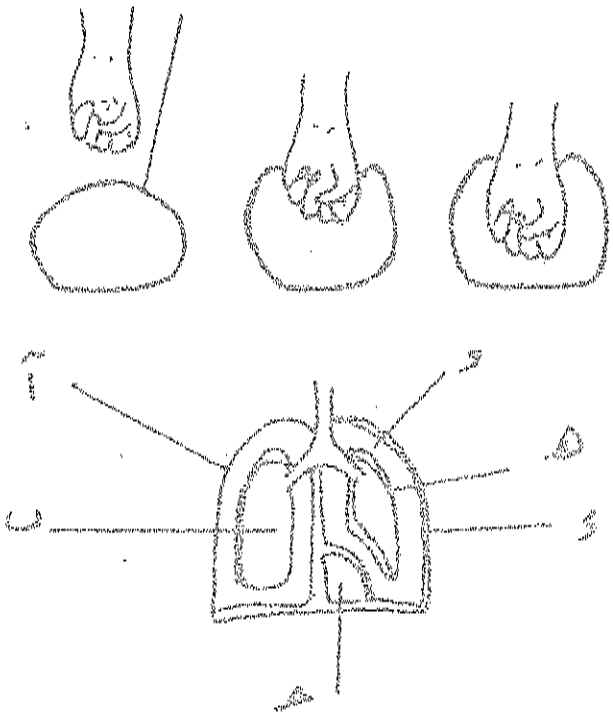
٢ – الرئتين :

تتوضع الرئتان في القفص الصدري (Thoacic Cage) وتكونان عادة محاطتين بالطبقة الحشوية من غشاء الجنب . أما الطبقة الجدارية لغشاء الجنب فتلتصق بالجدار الداخلي للقفص الصدري وبالسطح العلوي للحجاب الحاجز (شكل رقم ١٠) .

يظهر الشكل أن العلاقة بين الرئتين وغشاء الجنب والقفص الصدري تشبه ضغط قبضة اليد في بالون معلوء بالسوائل نلاحظ أن الوريقة الخارجية لغشاء الجنب مفصولة عن الوريقة الداخلية بفضاء يسمى فضاء الجنب يملؤه سائل يسمى السائل الجنبوي .

ويفصل الوريقة الجدارية لغشاء الجنب عن الوريقة الحشوية فراغ يدعى فضاء الجنب (Plural Space) الذي يكون عادة ممتلئاً بسائل محملي يدعى

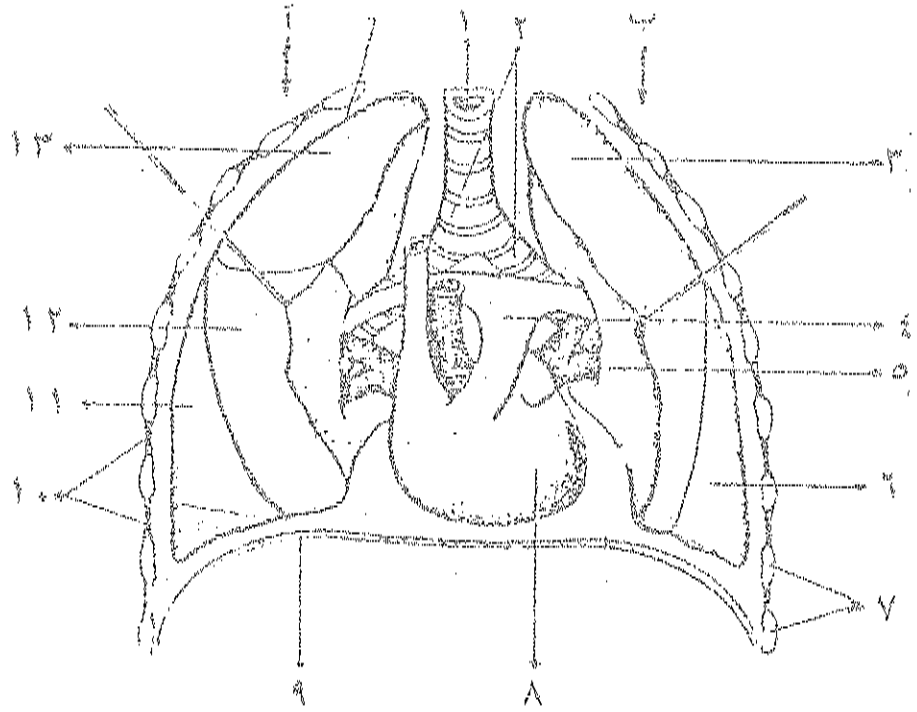
السائل الجنبوي وهذا السائل يسبب إلتصاق وريقتي غشاء الجنب مع بعضهما عن طريق قسوة التوتر السطحي وبهذا فهو يحول دون انطواء الرئتين . ولذلك فإن الحالات التي يتم فيها دخول الهواء أو الصف أو دم أو أية مادة أخرى إلى فضاء الجنب تسبب انعدام القوى المسؤولة عن التصاق وريقتي غشاء الجنب وبالتالي تسبب إنطواء جدران الأنساخ الرئوية وإنكماش الرئتين .



الشكل رقم (١٠) : يبين العلاقة بين الرئتين وغشاء الجنب

أ- جدار الصدر ب-الرئة ج-القلب ء-الوريقة الخارجية لغشاء الجنب هـ-الوريقة الداخلية لغشاء الجنب و-الفراغ الجنبوي .

وتزن كل رئة عن الشخص البالغ حوالي ٦٠٠ غ ولها لون رمادي مزهر والنسيج الرئتين هو نسيج أسفنجي مثقب ، يطفو على سطح الماء بسبب وجود الهواء فيه . ولكل رئة وجه ظاهر مواجه لجدار الصدر ، ووجه سفلي متوضع فوق الحجاب الحاجز (الذي يفصل بين جوف الصدر وجوف البطن) .



شكل رقم (١١) : يبين منظر أمامي للرئتين ضمن الصدر

أ-الرئة اليمنى ب-الرئة اليسرى

١ – الرغامى . ٢ – القصبات . ٣ – الفص العلوي الأيسر . ٤ – الشريان الرئوي . ٥ – الأوردة الرئوية .

٦ – الفص السفلي الأيسر . ٧ – الأضلاع . ٨ – القلب . ٩ – الحجاب الحاجز . ١٠ – العضلات الوربية .

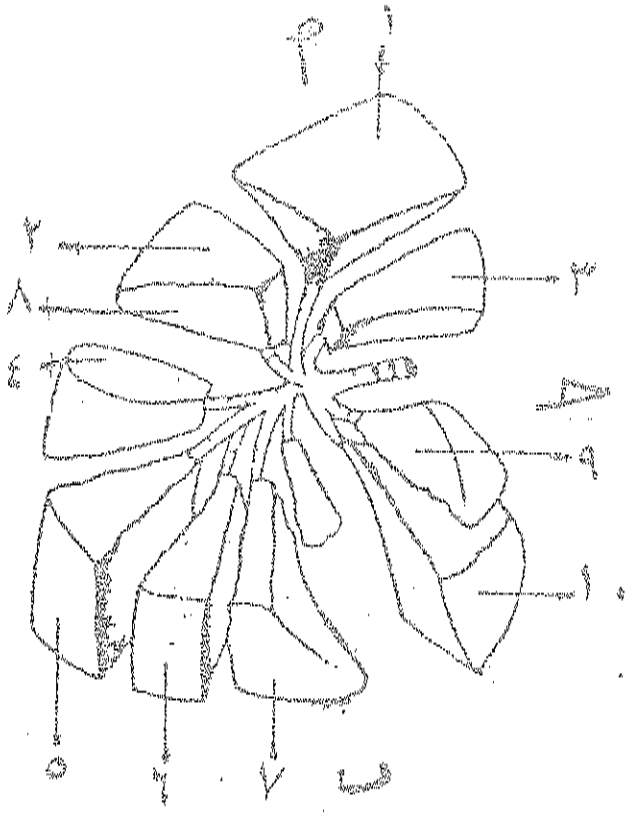
١١ – الفص السفلي الأيمن . ١٢ – الفص المتوسط . ١٣ – الفص العلوي الأيمن .

يتكون الهيكل العام لنسيج الرئتين عند الإنسان البالغ من فصوص وفصيصات موضحة على الشكل رقم ١٢ . وتنقسم القصيبات بدورها إلى وحدات أصغر تحتوي على القصيبات والأسناخ الرئوية .

والأسناخ الرئوية تركيبات كروية الشكل تقريباً قطر الواحد منها حوالي ٠,١ ميكرون ، وتحتوي رئتا الإنسان على ملايين من هذه الأسناخ التي تشكل سطحاً عاماً شديد الاتساع مجهزاً بشكل دقيق لعملية التبادل الغازي .

ويتركب السنخ الرئوية من غشاء ظهاري شديد الرقة قوامه نوعان من الخلايا الظهارية (خلايا I وخلايا II) .

الاتحاد الوطني لطلبة سوريا
فرع حلب
المكتبة الرقمية في وحدة خدمة الطلبة



شكل رقم (١٢) : يوضح تقسيمات الرئة اليمنى .

أ- قمن علوي : ١- قسم قمي . ٢- قسم ظهري (خلفي) . ٣- قسم بطني (أمامي) .

ب- قمن سفلي : ٤- القسم القمي . ٥- قسم انتهائي قاعدي . ٦- قسم قاعدي وحشي . ٧- قسم بطني قاعدي . ٨- قسم قرب قلبي (قاعدي أنسي) . ج-قمن متوسط : ٩-قسم أنسي . ١٠- قسم أنسي .

تقسيمات الرئة اليسرى .

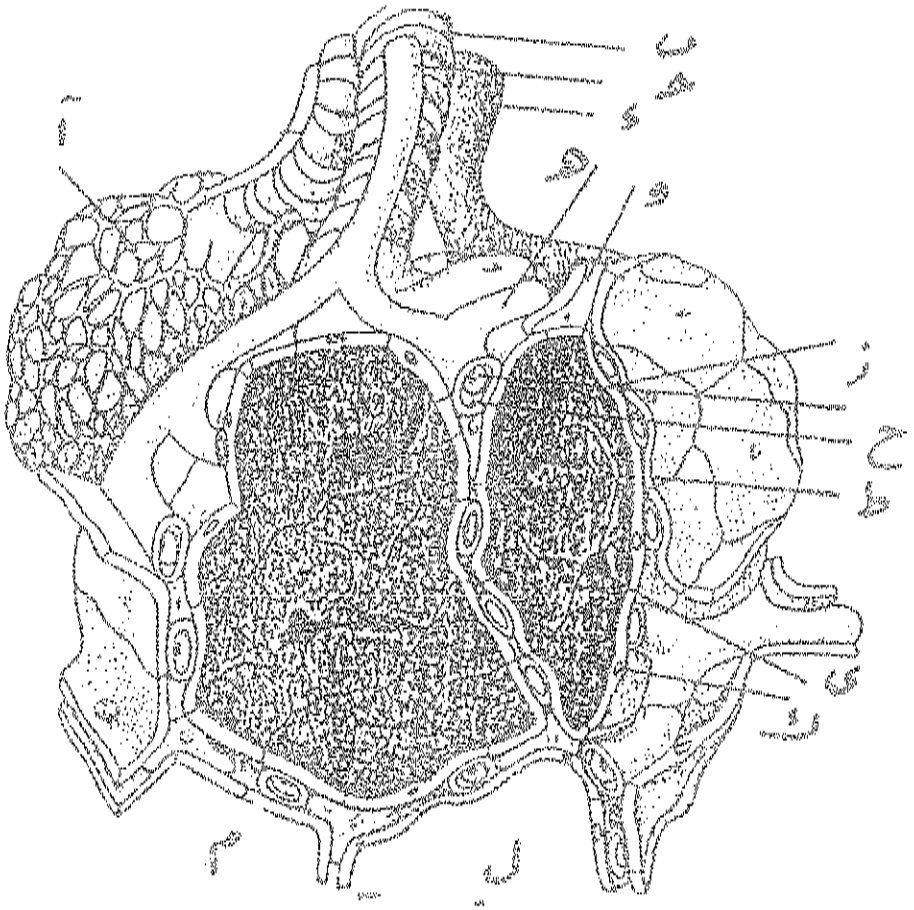
النوع الأول من الخلايا (I) يضم الخلايا الظهارية الصدفية Squamous epithelium أما خلايا النوع الثاني II فهي خلايا حبيبية GRanular Cells أكبر حجماً من خلايا النوع الأول وهي تقوم بإفراز مادة هلامية تدعى مادة السرفاكتنت Surfactam هذه المادة تنتشر على السطح الداخلي للأسناخ الرئوية ولها أهميتها الفيزيولوجية حيث أنها تساعد في توسيع السطح الذي يتم عبره التبادل الغازي في الرئتين كما أنها تساعد على توحيد الضغوط داخل الأسناخ الرئوية المتغاوتة الحجم (عن طريق قوة التوتر السطحية) وبالتالي تساعد في بقاء هذه الأسناخ مفتوح .

تستند الخلايا المكونة لجدار السنخ الرئوي على غشاء قاعدي Basement membrane سميك يتكون أليافه مرنة تسمح باتساع الأسناخ وتضيقها أثناء عمليتي الشهيق والزفير .

ويحيط بالأسناخ الرئوية ضمن كل فصيص رئوي شبكة كثيفة ورقيقة من الأوعية الدموية الشعرية تشكل بتشابكها مع بعضها البعض ما يشبه بحيرة دموية صغيرة تحيط بالأسناخ الرئوية .

وتشكل الخلايا المبطنة لجدران الأسناخ والغشاء القاعدي والخلايا المبطنة للأوعية الدموية الشعرية المحيطية بالأسناخ ما يعرف بالحاجز الغازي الدموي للتنفس . وهو حاجز رقيق تبلغ سماكته اقل من نصف ميكرون ، وعبره تتم جميع المبادلات الغازية بين هواء الأسناخ الرئوية ودم الشعيرات الدموية التي تحيط بالأسناخ .

ويوجد عادة على السطح الداخلي للأسناخ الرئوية عدد من البلعميات الكبيرة Macrophages ووظيفتها الأساسية بلعمة الجزيئات الغريبة التي قد تصل إلى الأسناخ الرئوية والرحيل بها خارج الرئتين وتتصل الأسناخ الرئوية بعضها مع بعض بواسطة ثقوب صغيرة تسمى مسامات كون (الشكل رقم ١٣) ويزداد عدد الثقوب بتقدم العمر أو أثناء حالات الإصابات الرئوية المزمنة .



الشكل رقم (١٣) : يبين تركيب النسيج الرئوي .

أ- الأسناخ الرئوية . ب- التفصيبات النهائية . ج- فرع من الشريان الرئوي . ء- فرع وريدي .
هـ- شعيرات دموية . و- خلية بلعمية كبيرة . ز- خلية بطانية . ح- لمعة وعاء شعري يظهر فيها كرية
حمراء . ط- خلية ظهارية . ي- ثقوب كون . ك- خلية ظهارية . (ل)و(م) -يمثلان جوف الأسناخ الرئوية

مكتبة الإسكندرية

الفصل الثاني
آلية التنفس

المفهوم العام للتنفس General Concept Of Respiration :

يعتقد البعض على أن عملية التنفس تقتصر على آليتي الشهيق والزفير اللتين تتمان في الجهاز التنفسي يتم بموجبهما إدخال الأوكسجين إلى الأسناخ الرئوية وإخراج ثاني أوكسيد الكربون منهما . ولكن هذه العملية في الواقع ليست إلا المرحلة الأولى من عملية التنفس والتي يطلق عليها اسم التهوية الرئوية Pulmonary – Ventilation .

وتشمل المرحلة الثانية من عملية التنفس ، عملية التبادل الغازي عبر الحاجز الهوائي – الدموي في الأسناخ الرئوية ويتم في هذه المرحلة دخول الأوكسجين الطازج إلى الدم وخروج ثاني أوكسيد الكربون وبخار الماء إلى جوف الأسناخ الرئوية ليصار إلى طرحهما خارجاً وهذه المرحلة من التنفس تدعى بالتنفس الخارجي External Respiration .

ويحمل الدم الراجع من الرئتين الأوكسجين النقي إلى القلب الأيسر الذي يوزعه بدوره إلى أنحاء الجسم كافة . وعبر جدران الأغشية الخلوية تتم المرحلة الثالثة من التنفس حيث تقوم خلايا الجسم بأخذ الأوكسجين الطازج وطرح ثاني أوكسيد الكربون إلى الوسط المحيط وتسمى هذه المرحلة من التنفس بالتنفس الداخلي Internal Respiration أما المرحلة الرابعة والأخيرة من التنفس فهي مرحلة التنفس الخلوي Cellular Respiration وفي هذه المرحلة يتم استعمال الأوكسجين الواصل إلى داخل الخلية لأكسدة المواد الغذائية التي وصلت بنثروها إلى داخل الخلية ومن خلال عملية الأكسدة هذه يتم إنتاج الطاقة اللازمة لمختلف الأنشطة الحيوية التي تقوم بها خلايا الجسم .

ومن الواضح أن الجهاز التنفسي يقوم فقط بتنفيذ المرحلتين الأولى والثانية من مراحل التنفس أي التهوية الرئوية والتنفسي الخارجي .

المبحث الأول

التهوية الرئوية

- هي المرحلة الأولى من عملية التنفس والتي من خلالها يتم دخول الهواء النقي إلى الرئتين (الشهيق) ومن ثم خروج الهواء المحمل بفضلات الاستقلاب الغازية إلى الوسط الخارجي (الزفير) .

١- عملية الشهيق Inspiration :

تعد الغازات مثل السوائل حيث تنتقل من المناطق ذات الضغط المرتفع إلى المناطق ذات الضغط المنخفض . وهكذا فلكي تتم عملية دخول الهواء إلى الأسناخ الرئوية لا بد من هبوط الضغط الغازي داخل الرئتين بحيث يصبح أقل من الضغط الجوي الخارجي . ويتحقق ذلك إذا توسع حجم الرئتين . إذ أنه من المعروف أن ضغط الغاز الموجود ضمن وعاء ما يقل كلما زاد حجم الوعاء الذي يحتوي هذا الغاز . وتعرف هذه الظاهرة بقانون بويل (Boyle law) وهو ينص على أن الضغط لغاز ما يتناسب عكساً مع الحجم الموجود فيه هذا الغاز بشرط ثبات درجة حرارة الوسط المحيط .

وهكذا فإن الآليات التي تساهم في توسيع حجم القفص الصدري والرئتين كلها تساعد على إتمام عملية التنفس . وتتم عملية توسع القفص الصدري وازدياد حجم الرئتين بتأثير العوامل التالية :

١- إنقباض العضلات الحاجز : ويتم تحريض الحجاب الحاجز على الإنقباض بواسطة الدفقات العصبية المحمولة عبر العصب الحجابي وإنقباض الحجاب الحاجز عند الإنسان يسبب تقوس قبته نحو الأسفل (تجويف البطن) وينتج عن ذلك توسع حجم القفص الصدري وبالتالي انخفاض الضغط فيه .

جامعة دمشق

٢- إنقباض العضلات الوربية الخارجية والتي بسبب انقباضها دفع الأضلاع إلى الأمام والجانبين ويعظم القفص نحو الأعلى والأمام وهذا كله يؤدي إلى زيادة واضحة في حجم القفص الصدري وبالتالي إلى انخفاض الضغط فيه .

٣- إن توسع القفص الصدري يؤدي إلى جر الوريقة الخارجية لغشاء الجنب التي تبطن القفص الصدري إلى الخارج وهذا يسبب بدوره انشداد الوريقة الداخلية لغشاء الجنب في الاتجاه نفسه وهذا يسبب تمدد الرئتين وزيادة الحجم داخلهما . كل هذه العوامل تساعد على انخفاض الضغط داخل الأسناخ الرئوية عن الضغط الجوي سامحة بذلك لهواء الشهيق بالإندفاع إلى تجاويف الأسناخ الرئوية وهكذا تتم عملية الشهيق .

٢- عملية الزفير Expiration :

تتمتع الرئتان وجدران الصدر ببنيان مرن مطواع فالأنسجة التي تكون كل منهما تحتوي على ألياف ضامة مرنة وألياف عضلية وأثناء عملية الشهيق تتمدد هذه التركيبات وتتوسع . وأما عندما ينبسط الحجاب الحاجز والعضلات الوربية لحظة انتهاء الشهيق ، فتعود قبة الحجاب الحاجز نحو الأعلى والأضلاع إلى الداخل . كما أن أعضاء التجويف البطني التي تراجعت إلى الخلف تحت تأثير ضغط الحجاب الحاجز واندفاعه نحو الأسفل تندفع إلى الأعلى مضاغطة على الحجاب الحاجز ومسببة انخفاض حجم القفص الصدري والرئتين . وكل هذا يسبب زيادة الضغط الغازي في الأسناخ الرئوية عن الضغط الجوي للوسط الخارجي وينتج عن هذا طرد الهواء الموجود داخل الرئتين إلى الوسط الخارجي أي تمام عملية الزفير .

تواتر التنفس Repiratory Frequency :

يعرف تواتر التنفس بعدد مرات التنفس أو عدد مرات الدورة التنفسية (شهيق - زفير) في الدقيقة . ويبلغ معدل تواتر التنفس عند الإنسان البالغ من ١٦-٢٠مرة /الدقيقة وعند الأطفال من ٢٠-٢٥ مرة / الدقيقة .

العوامل التي تؤثر في معدل تواتر التنفس عند الإنسان :

يعد معدل تواتر التنفس مؤشراً هاماً ومفيداً في معرفة الحالة الصحية للإنسان ولكي يحسب معرفة الظروف التي يقاس معها معدل التنفس . وهناك مجموعة من العوامل تؤثر في معدل تواتر التنفس عند الإنسان نذكر منها .

١ – العمر : يتناقص معدل تواتر التنفس مع تقدم عمر الإنسان .

٢ – يزداد معدل تواتر التنفس أثناء الحمل عند الإناث .

٣ – يزداد معدل تواتر التنفس عند ارتفاع درجة حرارة الجو .

٤ – يزداد معدل تواتر التنفس عند الإنسان بعد تناول الوجبات الغذائية وامتلاء المعدة .

٥ – تزيد الرياضة والأعمال المجهدة في معدل تواتر التنفس عند الإنسان .

أحجام التنفس الطبيعية والسعات الرئوية عند الإنسان :

يستعمل لقياس الحجوم التنفسية والسعات الرئوية جهاز خاص يدعى مقياس التنفس . وتفيد معرفة الحجوم التنفسية والسعات الرئوية في فهم فيزيولوجيا التنفس عند الإنسان كما أنها تعطينا فكرة عن حالة الرئتين الصحية . ويمكن تمييز الأنواع التالية لحجوم التنفس عند الإنسان :

١ – حجم هواء المد أو حجم الهواء الجاري (Tidal volume) :

هو حجم الهواء الذي يدخل الرئتين أثناء الشهيق الطبيعي أو الذي يخرج منهما أثناء الزفير الطبيعي . وهو يساوي عند الإنسان البالغ في المتوسط ٥٠٠ مل .

٢ – حجم الشهيق الإضافي :

هو أكبر كمية من الهواء يمكن أن تدخل الرئتين زيادة على هواء المد أثناء الشهيق القسري . ويقدر هذا الحجم عند الإنسان بما يقرب من ٢٥٠٠ مل .

٣ – حجم الزفير الإضافي :

هي كمية الهواء التي يمكن أن تطرحها الرئتين بزفير قسري بعد زفير عادي . وتقدر هذه الكمية عند الإنسان بـ ١/٢ ليتر هواء .

٤ – حجم الهواء الراكد أو المتخلف :

هو حجم أو كمية الهواء التي تبقى في الرئتين بعد أقصى زفير قسري . ويقدر حجم الهواء الراكد عند الإنسان بـ ١ ليتر هواء .

٥ – السعة الحيوية للرئتين :

هي كمية الهواء القصوى التي يمكن طرحها بقوة من الرئتين عقب إدخال أقصى ما يمكن إدخاله في الرئتين بالشهيق .

وهي تمثل مجموع كل من حجم الشهيق الإضافي وحجم هواء المد وحجم الزفير الإضافي ويقدر حجم السعة الحيوية للرئتين عند الإنسان البالغ لـ ٣٠٠٠ مل من الهواء .

المبحث الثاني

التنفس الخارجي

External Respiration

هو عملية التبادل الغازي عبر الحاجز الهوائي – الدموي للرئتين . ويعتمد فهم فيزيولوجيا التنفس الخارجي على المعرفة الجيدة بطبيعة الغازات التي تشترك في عملية التنفس وكذلك معرفة القوانين التي تحكم سلوك هذه الغازات .

قانون بويل Boyles law :

ويشير هذا القانون إلى أن ضغط غاز ما يتناسب عكساً مع الحجم الذي يشغله هذا الغاز عندما تكون درجة الحرارة ثابتة .

قانون دالتون Dalton'e law :

وينص على أنه إذا كان لدينا خليط من الغازات فضغط كل غاز يكون مستقلاً عن ضغوط الغازات الأخرى في الخليط وضغط خليط الغازات ككل يساوي مجموع الضغوط المنفردة للغازات المكونة للخليط .

وعند دراسة الهواء الجوي المحيط نجد أنه يتألف من حوالي ٨٠% أزوت و ٢٠% أوكسجين مع كميات جد قليلة من غازات أخرى .

وبتطبيق قانون دالتون على الهواء الجوي الجاف الذي يكون ضغطه عادة حوالي ٧٦٠ مم زئبقي نجد أن الضغط الجزئي للآزوت فيه (PN٢) يكون حوالي ٦٠٨ مم زئبقي بينما يكون الضغط الجزئي للأوكسجين (O٢) مم زئبقي .

وبعد مرور هذا الهواء في المجاري التنفسية العليا يتشبع هواء الشهيق بخار الماء الذي يكون ضغطه الجزئي في هواء الشهيق ٤٧ مم زئبقي . وهذا يسبب انخفاض الضغط الجزئي لكل من الآزوت والأوكسجين فتصبح الضغوط الجزئية لمكونات الهواء المستنشق قبل دخوله الأسناخ الرئوية على الشكل التالي :

– الضغط الجزئي لبخار الماء ٤٧ مم زئبقي .

– الضغط الجزئي للأوكسجين ١٤٣ مم زئبقي .

- الضغط الجزئي للأزوت ٥٧٠ مم زئبقي .

وبعد أن يصل هواء الشهيق إلى الأسناخ الرئوية يختلط مع هواء الأسناخ الرئوية . ومن المعروف أن هواء الأسناخ الرئوية يحتوي على غاز ثاني أوكسيد الكربون تحت ضغط جزئي قدره ٤٠ مم زئبقي . وهكذا فإن هواء الشهيق بعد اختلاطه بهواء الأسناخ الرئوية يحتوي على الغازات التالية :

- بخار الماء وضغطه الجزئي هنا ٤٧ مم زئبقي .
- الأوكسجين وضغطه الجزئي هنا ١٠٤ مم زئبقي .
- ثاني أوكسيد الكربون وضغطه الجزئي هنا ٤٠ مم زئبقي .
- الأزوت وضغطه الجزئي هنا ٥٦٩ مم زئبقي .

والسبب الأساسي لانخفاض الضغط الجزئي للأوكسجين بالمقارنة مع الضغط الجزئي للأزوت في هواء الأسناخ الرئوية هو الانتقال المستمر للأوكسجين من هواء الأسناخ إلى دم الشعيرات الرئوية المحيطة بالأسناخ . وهذا يؤدي إلى الارتفاع النسبي للضغط الجزئي للأزوت في هواء الأسناخ كما هو واضح من الأرقام السابقة .

أما الدم الوريدي الذي يصل إلى الرئتين من كافة أنحاء الجسم عبر الشرايين الرئوية فيحتوي على الغازات السابقة نفسها ولكن تحت ضغوط جزئية مختلفة وذلك كالتالي :

- الأوكسجين وضغطه الجزئي ٤٠ مم زئبقي .
- ثاني أوكسيد الكربون وضغطه الجزئي ٤٥ مم زئبقي .
- بخار الماء وضغطه الجزئي ٤٧ مم زئبقي .
- الأزوت وضغطه الجزئي ٥٧٣ مم زئبقي .

وبسبب قلة الضغط الجزئي للأوكسجين في الدم الوريدي هو ببساطة استهلاك كمية من الأوكسجين من قبل الأنسجة المختلفة للجسم .

وعند مقارنة الضغوط الجزئية لكل من الأوكسجين وثاني أوكسيد الكربون في كل من هواء الأسناخ والدم الوريدي المحمول إلى الرئتين نشاهد أن

الضغط الجزئي للأوكسجين في هواء الأسناخ أعلى من الضغط الجزئي للأوكسجين في الدم القادم إلى هذه الأسناخ وبالتالي اتجاه جريان الأوكسجين سيكون من هواء الأسناخ إلى الدم . أما اتجاه انتشار ثاني أوكسيد الكربون فسيكون من الدم المحيط بالأسناخ إلى جوف هذه الأسناخ أي بعكس انتشار الأوكسجين والسبب في ذلك هو اختلاف التركيز أيضاً .

وهكذا تتم عملية التبادل الغازي عبر جدار الحاجز الهوائي الدموي في الرئتين . أما الدم الذي يغادر الرئتين ليصب في الأذينة اليسرى فيحتوي على مكونات الخليط الغازي نفسه الموجود داخل جوف الأسناخ الرئوية النشطة تنفسياً .

أما الهواء المزفور فتركيبه يشبه تركيب الهواء المستنشق بعد تشبعه ببخار الماء . هذا ينطبق على الجزء من الهواء المزفور الذي يجري طرحه في بداية الزفير . أما الجزء الذي يطرح في نهاية الزفير فيكون تركيبه شبيهاً بتركيب هواء الأسناخ الرئوية . وإذا ما تم جمع كامل الهواء الجاري المزفور في دورة تنفسية واحدة وجرى تحليل مكونات هذا الخليط حصلنا على مزيج من الغازات التي تكون ضغوطها الجزيئة كالتالي :

- الأوكسجين ضغطه الجزئي ١٢٨ مم زئبقي .
- ثاني أوكسيد الكربون ضغطه الجزئي ٣٢ مم زئبقي .
- بخار الماء ضغطه الجزئي ٤٧ مم زئبقي .
- الآزوت ضغطه الجزئي ٥٥٣ مم زئبقي .

العوامل التي تؤثر في حجم التبادل الغازي عبر الحاجز الهوائي الدموي :

هنالك مجموعة من العوامل تؤثر انتشار الغازات عبر الحاجز الهوائي - الدموي في الرئتين نذكر منها ما يلي :

١- مساحة السطح الذي يتم عبره انتشار الغازات أي مساحة سطوح الأسناخ الرئوية النشيطة تنفسياً .

٢- اختلاف الضغط الغازي على طرفي حاجز الانتشار وهو من أكثر العوامل أهمية وتأثيراً .

٣- سماكة الحاجز الهوائي - الدموي : وتتراوح السماكة الطبيعية لهذا الحاجز بين ٠,٢ - ٠,٦ ميكرون . وقد يزداد سمك هذا الحاجز لأسباب مرضية عديدة .

٤- قدرة الغازات على الانتشار : تختلف قدرة الغازات على الانتشار عبر الحاجز الهوائي - الدموي فمثلاً غاز CO_2 أكثر قدرة على الانتشار عبر الحاجز الهوائي - الدموي من غاز O_2 بحوالي ٢٠ مرة على الأقل .

٥- سرعة جريان الدم في الأوعية الدموية الشعرية أي طول الوقت الذي يكون فيه هواء الأسناخ على احتكاك مع دم الأوعية الدموية .

٦- معدل التنفس في الدقيقة .

٧- الضغط الجوي في (الجبال والارتفاعات الشاهقة) يكون الضغط الجزئي للأوكسجين قليلاً ولذا فإن كمية الأوكسجين التي تدخل الأسناخ الرئوية تكون قليلة وبالتالي فإن الكمية التي تعبر الحاجز الهوائي - الدموي تكون أقل .

نقل الدم للأوكسجين Oxygen transport in bloods :

تتم المرحلة الثالثة من التنفس أي مرحلة التنفس الداخلي (Internal respiration) عن طريق انتشار الأوكسجين من السوائل المحيطة بشلايا الجسم إلى داخل الخلايا عبر الأغشية الخلوية . والأوكسجين غاز قابل للنفوذ بسهولة عبر الأغشية الخلوية . ويأتي الأوكسجين إلى السوائل الخلالية من خلال انتشار الأوكسجين الذائب في المصورة الدموية عبر جدران الأوعية الدموية الشعرية إلى هذه السوائل . وتقوم الكريات الحمراء بإمداد المصورة بالأوكسجين كلما نقص تركيز هذا الأخير في سائل المصورة الدموية .

والأوكسجين الموجود داخل الكريات الحمراء يكون ذائباً في سوائل الكرية الداخلية أو متحداً مع الخضاب الموجود داخل الكرية . وتقوم الكريات التي فقدت أوكسجينها بالاتحاد مع أوكسجين جديد عند مرورها مرة ثانية في الأوعية الدموية الشعرية التي تحيط بالأسناخ الرئوية . إذاً يشكل الدم العربة التي تحمل الأوكسجين وتوزعه على كافة أنحاء الجسم .

ويستطيع الدم حمل الأوكسجين إما ذائباً في سوائل المصورة أو متحداً مع خضاب الدم . ولكن سوائل المصورة الدموية لاتستطيع إلاحمل كمية قليلة جداً من الأوكسجين الذائب . ولذلك فإن معظم الأوكسجين الذي يعبر الحاجز الهوائي – الدموي في الرئتين يتحد مع خضاب دم الكريات الحمراء اتحاداً كيميائياً رجعياً . هذا الاتحاد يضاعف قدرة الدم على حمل الأوكسجين حوالي ٧٠ مرة . ولذلك فإن لون الدم الذي يغادر الرئتين يكون أحمر قانياً والسبب في هذا اللون بالطبع هو أكسجة خضاب الدم .

ولقد وجد أن أكثر من ٩٨% من الأوكسجين المحمول في دم الحيوان يكون عادة متحداً مع خضاب الدم أما الباقي فيكون منحلاً في المصورة الدموية – وهناك تسلسل معروف في حركة الأوكسجين من الأسناخ الرئوية إلى الدم ومن الدم إلى السائل الخلالي الذي يحيط بالجسم . وبشكل عام فإن الأوكسجين الذي ينتشر داخل الأوعية الدموية الرئوية يدخل أولاً إلى سوائل المصورة ثم يغادرها إلى سوائل الكرية الحمراء ثم يتحد بخضاب الدم حتى يتم إشباع هذا الأخير بالأوكسجين . وبعد إشباع الخضاب بالأوكسجين يبقى قسم من الأوكسجين الذي وصل دم الرئتين منحلاً في المصورة الدموية وينتقل في الدم بشكل ذائب . وآخر كمية من الأوكسجين تدخل الدم الرئوي هي أول كمية يتخلى عنها الدم لتعبر إلى السوائل الخلالية المحيطة بخلايا الجسم . وبعد انخفاض تركيز الأوكسجين الذائب في المصورة الدموية ينفصل الأوكسجين المتحد بالخضاب عن الخضاب ويغادر سوائل الكرية الحمراء إلى سائل المصورة الدموية ليعوض ما فقد من الأوكسجين وهكذا .

بعض الميكانيكيات التي لها علاقة مع الجهاز التنفسي

السعال Coughing :

هـ منعكس وقائي يحدث لتنظيف المجاري التنفسية من المواد التي قد تسد هذه الممرات أو تخرشها . ومن المعروف أن خلايا النسيج الظهاري التي تبطن الممرات التنفسية تكون شديدة الحساسية للجزيئات الغريبة المحمولة في الهواء ولكل المخرشات (روائح لاذعة ، أبخرة ملوثة بفضلات الحيوانات وغيرها) وتنبيه أو تخريش الخلايا الظهارية هذه يؤدي إلى تنبيه النهايات العصبية الموجودة في المنطقة ويؤدي ذلك إلى نقل سيالة عصبية إلى مركز خاص في المخ السعال بدوره يحرض على نشره سلسلة من الحوادث تقود إلى إتمام عملية السعال .

وقبيل حدوث السعال يتم أخذ شهيق طويل يستنشق فيه كمية كبيرة من الهواء بعد ذلك يتم غلق المزمار Glottis ويعقب ذلك مباشرة زفير قوي يرفع من الضغط داخل الرئتين والصدر وبسبب انقباضاً مفاجئاً للمزمار وخروج كمية من الهواء المحتجز داخل الرئتين بسرعة هائلة تجرف معها معظم الجزيئات التي تسد المجاري التنفسية (مخاط – جزيئات غريبة وغير ذلك) .

العطس Sneezing :

وهو يشبه السعال من حيث هدفه . وسبب حدوثه أيضاً هو تخريش الخلايا الظهارية التي تبطن المجاري التنفسية العليا وخاصة ممرات التجويف الأنفي . وأثناء العطس يكون المزمار مفتوحاً ولكن الفم والأنف يغلقان لحظياً ولهذا فإن العطس ينظف كل من المجاري الأنفية والفموية أما آلية حدوثه فهي تشبه آلية حدوث السعال .

التثاؤب Sighing :

التثاؤب هو عبارة عن شهيق عميق وطويل يعقبه زفير قصير لكنه قوي وقد يصحبه صوت مميز .

التثاؤب Yawning :

التثاؤب هو شهيق عميق مأخوذ عبر فم الإنسان المفتوح على آخره وهو بسبب تهوية كاملة للرئتين أي تهوية أكثر كمالاً من التنفس العادي . فأثناء التنفس العادي لا تتم تهوية جميع الأسناخ الرئوية ولكن التثاؤب يفسح المجال لتهوية أكبر عدد ممكن من الأسناخ ويساعد أيضاً على فتح الأسناخ المنطوية وغير النشطة . وهو بهذا يساعد على زيادة محتوى الدم الوارد إلى هذه الأسناخ من الأوكسجين . ويبدو أن السبب الرئيسي الذي يحرض على نشوء هذا المنعكس هو هبوط تركيز الأوكسجين في الدم الشرياني . ولكن الحقيقة التي تعرفها أن التثاؤب يرافق النعاس والملل والتعب وهذه الحقيقة تشير إلى أن هناك مراكز دماغية عليا تسيطر على المنعكس وتسبب حدوثه .