المحور الثالث: فيزيولوجية الجهاز التنفسي Le système respiratoire

* يدل مصطلح التهوية La ventilation من الناحية الفيزيولوجية على معنيين: - التنفس الرئوي، - التنفس الخلوي.

- التنفس الرئوي أو التهوية: ويشمل حركات التنفس المعروفة(شهيق+ زفير) والمبادلات الغازية التي تحدث على مستوى الرئتين.

- التنفس الخلوي: ويمثل قدرة الأنسجة على استعمال الأوكسجين وانتاج ثاني أوكسيد الكربون.

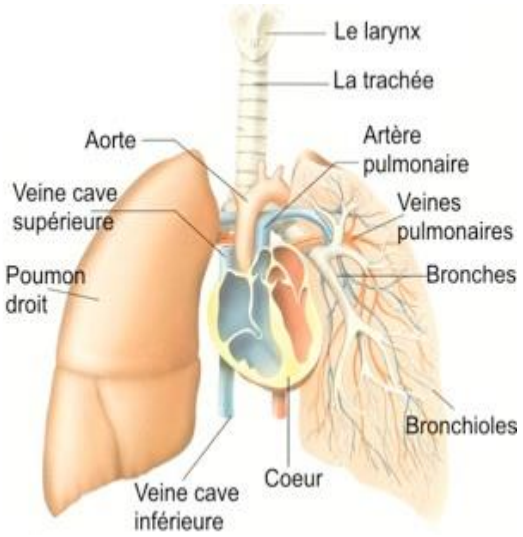
* تلعب التهوية الرئوية دورا في المحافظة على التوازن الحيوي(Homéostasie) أثناء الجهد البدني، وخاصة فيما يتعلق بالضغط الجزئي لغازي الأوكسجين و ثاني أوكسيد الكربون.

* كما يلعب الجهاز الدوري التنفسي دورا أساسيا في تزويد خلايا الجسم بالأوكسجين، وتخليصها من ثاني أوكسيد الكربون.

1- مكونات الجهاز التنفسي: يتكون من جزءين رئيسيين: - جزء موصل للهواء ويشمل: الأنف ، الفم، البلعوم Pharynx، الحنجرة Larynx، القصبة الهوائية Trachée، والشعب الهوائية Les bronches. - جزء التبادلات الغازية: ويمثل نسبة 90% من أنسجة الرئتين، ويشمل: الحويصلات الهوائية Les alvéoles

* يخضع الهواء الآتي من الوسط الخارجي إلى الترطيب، والتسخين، والتنقية، قبل وصوله إلى الحويصلات الهوائية، ويتم ذلك على مستوى الطبقة الداخلية والمتوسطة للقناة الأنفية.

أ- البلعوم Pharynx: يتكون من قسمين: القسم البطني يمر منه الهواء، والقسم الظهري يمر منه الغذاء.



ب- الحنجرة Larynx: تتكون أساسا من عناصر غضروفية ونسيج عضلي، وتتمثل وظيفتها في: الربط بين المجاري التنفسية العليا والسفلى، - حماية المجاري التنفسية السفلى من دخول العناصر لغذائية الكبيرة التي يتم بلعها، - انتاج الصوت.

ج- القصبة الهوائية Trachée: تبدأ من الحد السفلي للحنجرة، طولها: 12 سم وقطرها: 2سم، تتكون من 16-20 قوس غضروفي شفاف، والتي ترتبط بعضها ببعض في الجزء البطني عن طريق مادة ليفية مطاطية Fibro-Elastique Gaine ، أما في الجزء الظهري فتربطها عضلات ملساء.

د- الشعب الهوائية Les bronches: تنقسم القصبة الهوائية على مستوى الفقرة الرابعة Vertèbre cervicale إلى جزءين ينغرسان داخل كل رئة، في نهاية هذه التفرعات توجد الحويصلات الهوائية، مقر التبادلات الغازية.

هـ- الرئتان Les poumons: تتكون من عدة فصوص(Lobes)، بحيث تتكون الرئة اليسرى من فصين، والرئة اليمنى من ثلاث فصوص.

2- آلية عملية التنفس: تتم عملية التنفس عن طريق اتساع القفص الصدري في حال الشهيق Inspiration، وضيق القفص الصدري في حال الزفير Expiration ، ونميز نوعين من التنفس: التنفس الجوفي(البطني) Abdominale، والتنفس الصدري(الضلعي) Thoracique.

* التنفس البطني Abdominale: العنصر المتحرك في هذا النوع من التنفس هو: الحجاب الحاجز Diaphragme(عبارة عن عضلة مسطحة، تفصل بين القفص الصدري والقفص البطني)، ويتميز هذا التنفس بحدوث حركة واضحة للبطن.

* التنفس الصدري Thoracique: يحدث بمشاركة عضلات ما بين الأضلاع Les intercostaux، وحركة الحجاب الحاجز، وفيه يلاحظ ارتفاع واتساع للقفص الصدري La cage thoracique، وذلك بارتفاع الأضلاع Les côtes.

3- مؤشرات لياقة الجهاز التنفسي: من أهم المؤشرات التي تستعمل للكشف عن لياقة الجهاز التنفسي، والتي يمكن قياسها بجهاز السبيرومتر Spiromètre ما يلي:

* معدل التنفس: ويعبر عن عدد مرات التنفس في الدقيقة الواحدة، وتقدر عند الانسان العادي السليم: 12 مرة.

* حجم هواء التنفس العادي: ويعبر عن مقدار الهواء الذي يستنشقه الشخص خلال الشهيق، ويطرحه خلال الزفير، ويقدر عند الانسان العادي السليم: 500 مل.

* حجم التهوية الرئوية: ويعبر عن حجم الهواء الداخل والخارج من الرئتين في كل دقيقة، ويقدر عند الانسان العادي السليم: 6-7 ل/د، ويحسب وفقا للمعادلة التالية: معدل التنفس x حجم التنفس العادي= حجم التهوية الرئوية.

4- المبادلات الغازية Les échanges gazeux:

- يتكون الهواء الخارجي من: 74% غاز أزوت(Azote N_2)، 20.93% غاز الأوكسجين(Oxygène O_2)، 0.03 % غاز ثاني أوكسيد الكربون(Dioxyde de carbone CO_2).

- الضغط(التراكيز) الجزئي للغازات: يعد الهواء الذي نتنفسه مزيج من عدد من الغازات، كل غاز له ضغط يدل على تركيزه داخل الهواء يسمى: الضغط الجزئي، بحيث أن مجموع الضغط الجزئي لكل غاز يعطينا الضغط الكلي للهواء.

- يمكن لأي غاز أن يتحلل أو يذوب في سوائل الجسم(البلازما)، وإن انحلاله في هذه السوائل راجع إلى ضغطه الجزئي، درجة تحلله داخل السائل المعني، ودرجة حرارته.

- نقل الغازات داخل الجسم يتم عن طريق عدة إجراءات منها:

- التهوية الرئوية La ventilation pulmonaire: دخول وخروج الهواء من وإلى خارج الجسم.

- الانتشار(حويصلات هوائية- شعيرات دموية) La diffusion alveolo- capillaire: المبادلات الغازية التي تحدث بين الرئتين والدم، وتضمن هذه العملية:

- تجديد تركيز غاز O_2 في الدم الشرياني، - التخلص من غاز CO_2.

- المبادلات الغازية المحيطية: مرور الغازات من الشعيرات الدموية إلى الأنسجة الخلوية.

* العامل الأساسي الذي يساعد في عملية التبادلات الغازية بين الحويصلات هوائية والشعيرات الدموية هو: الفارق في التركيز الجزئي لهذه الغازات بين الوسطين.

4-1- المبادلات الغازية(حويصلات هوائية- شعيرات دموية):

* المبادلات الغازية لغاز الأكسجين O_2 :

- الضغط الجزئي لغاز O_2 في الضغط الجوي العادي للهواء هو: 159 ملم زئبقي(mm.hg)، ينخفض داخل الحويصلات الهوائية ليصل إلى: 100-105 ملم زئبقي(mm.hg).

- يكون الضغط الجزئي لـ O_2 في الشعيرات الدموية الرئوية في حدود: 40-45 ملم زئبقي(mm.hg).

الفارق في الضغط الجزئي لـ O_2 بين الوسطين: 55-65 ملم زئبقي(mm.hg)، وهو السبب في انتقال O_2 من الحويصلات الهوائية إلى الشعيرات الدموية.

وتستمر العملية إلى أن يتساوى (حالة توازن) تركيز O_2 في الوسطين.

- سرعة انتشار O_2 بين الوسطين تسمى(سعة الانتشار).

* المبادلات الغازية لغاز ثاني أوكسيد الكربون CO_2:

- الضغط الجزئي لغاز CO_2 في الدم هو: 45 ملم زئبقي(mm.hg)، وضغطه الجزئي في الحويصلات هو: 40 ملم زئبقي(mm.hg)، هذ الفارق الضعيف في التركيز بين الوسطين والذي يمثل 5 ملم زئبقي(mm.hg) كاف لمرور هذا الغاز من الشعيرات الدموية إلى الحويصلات الهوائية.

2-4- المبادلات الغازية(شعيرات دموية-أنسجة):

* الفارق في الأوكسجين O_2 بين الشرايين والأوردة Différence arterio-veneuse en O_2 : يكون تركيز O_2 في الدم الشرياني أثناء الراحة تقريبا 20 مل/100مل من الدم، وتنخفض هذه القيمة إلى حدود: 15-16 مل/100مل من الدم في الأوردة.

هذا الفارق يسمى: الفرق الشرياني – الوريدي في O_2 [Ca O_2 - Cv O_2]. ويمثل 4-5 مل من O_2 الذي تستعمله الأنسجة(وترتبط ارتباطا وثيقا بدرجة أكسدة المواد الطاقوية-التمثيل الغذائي-).

5- نقل الغازات: الأكسجين O_2 و ثاني أوكسيد الكربون CO_2:

5-1- نقل غاز الأكسجين O_2 : يتم نقل الأكسجين O_2 في الدم بطريقتين:

- بشكل مرتبط: بحيث يرتبط O_2 بهيموغلوبين الدم(Hb) 97%، أو – ينقل على شكله المذاب في بلازما الدم(<2%)، بحيث أن 1ل من البلازما يحتوي على 3 مل من O_2 .

- كل جزيئة هيموغلوبين ترتبط بأربع جزيئات O_2 ، ويسمى هذا المركب هيموغلوبين+ O_2 بـ: Oxyhémoglobine.

- عملية ارتباط هيموغلوبين+ O_2 يتعلق بعاملين أساسيين هما: الضغط الجزئي لـ: O_2 و قوة ارتباط هيموغلوبين بـ: O_2 .

- ارتفاع درجة حموضة الدم: يؤثر على الرابطة هيموغلوبين+ O_2 فيضعفها، وهو ما يعرف بتأثير L'effet de Bohr.

* يكون pH على مستوى الرئتين عال، وهذا يؤدي إلى زيادة قوة ارتباط Hb بـ: O_2 ، ويكون pH على مستوى الأنسجة منخفضا وهذا يؤدي إلى زيادة ضعف ارتباط Hb بـ: O_2 ، وهو ما يسهل عملية فك الارتباط O_2 + Hb أي تزويد الخلايا بـ: O_2 (وهذا ما يحدث أثناء أداء المجهودات البدنية، بحيث ترتفع درجة حرارة الجسم وينخفض pH الوسط الداخلي-زيادة حموضة الوسط- مما يساهم في تزويد الخلايا بـ: O_2 بصورة كبيرة جدا).

5-2- نقل غاز ثاني أوكسيد الكربون CO_2: يتم نقل ثاني أوكسيد الكربون CO_2 في الدم والذي يعد أحد نواتج التمثيل الغذائي بالطرق التالية:

- مذابا في البلازما.
- على شكل أيونات البيكربونات.
- مثبت على الهيموغلوبين.

* ثاني أوكسيد الكربون CO_2 المذاب: بنسبة ضعيفة جدا، 7-10% فقط من CO_2 الناتج.

* أيونات البيكربونات: نسبة كبيرة من CO_2 الناتج تتحول إلى بيكربونات(60-70%).

- يتفاعل كل من CO_2 و H_2O داخل الوسط الخلوي، ليتشكل حمض الكربونيك Acide carbonique (H_2CO_3)، هذا الحمض غير مستقر، يتحلل ويتحول بصورة سريعة إلى شاردة هيدروجين H^+ وبيكربونات HCO_3^- وفقا للمعادلة التالية:

$$HCO_3^- + H^+ _____ H_2CO_3 _____ H_2O + CO_2$$

- حينما يصل الدم إلى الرئتين(التركيز الجزئي لـ: CO_2 منخفض)، ترتبط شاردة هيدروجين H^+ بأيونات البيكربونات من جديد، لتشكل حمض الكربونيك، والذي يتفكك بدوره إلى CO_2 و H_2Oليطرحا بعد ذلك خارج الجسم.

$$HCO_3^- + H^+ _____ H_2CO_3 _____ H_2O + CO_2$$

* الكربومينوغلوبين Carbominoglobine :

- ينقل CO_2 مثبتا على الهيموغلوبين، ليشكلا ما يسمى بمركب الكربومينوغلوبين، أين يرتبط CO_2 بالأحماض الامينية المكونة لبروتين الغلوبين.

- تثبت CO_2 متعلق بدرجة توفر الأوكسجين(درجة تثبت Hb مع O_2)، بمعنى: أن CO_2 يتثبت بصورة سريعة على Hb إذا كانت درجة تثبت O_2 بـ Hb ضعيفة(حالة La déoxyhémoglobine)، وبالتركيز الجزئي لـ CO2 : إذا كان منخفضا فإن الرابطة Hb - CO_2 سهلة التفكك وبذلك يتم تحرير CO_2.

- الضغط الجزئي لـ CO_2 على مستوى الرئتين ضعيف وهذا يؤدي إلى تحرير CO_2 ليطرح خارج الجسم.