



فصل ۳

تبادلات گازی

نکاتی در مورد قورباغه

- ۱) از گروه **دوزیستان** محسوب می‌شود. پس همه ویژگی‌های دوزیستان که در آینده می‌خوانیم در مورد آنها صادق است.
 - ۲) در دوران نوزادی فقط با تنفس **آبششی** (اما در دوران بلوغ با تنفس **ششی** و به ویژه تنفس **پوستی**، اکسیژن را به مویرگ‌های خود می‌رساند.
 - ۳) پوست جانور همواره مرطوب بوده و در سطح آن شبکه وسیعی از سرفرک‌ها (**تیره**)، مویرگ‌ها و سیاهرگ‌ها (**روشن**) وجود دارد که در تنفس پوستی نقش دارند.
 - ۴) صفره دهانی قورباغه بسیار بزرگ بوده و گنجایش آن به اندازه هر **دو** شش جانور است. این جانور با پمپ **فشار مثبت** هوا را از دهان وارد شش‌ها می‌کند.
 - ۵) در هنگام انتقال هوا به صفره دهانی بینی جانور **باز** و هنگام فرستادن هوا از صفره دهانی به شش‌ها بینی جانور **بسته** است.
 - ۶) گوش بیرونی در این جانور دیده **نمی‌شود**. بشش قابل مشاهده پرده **صماغ** است که بعد از آن گوش میانی و درونی واقع شده‌اند.
- نفس کشیدن**، یکی از ویژگی‌های آشکار در **بسیاری** از **جانوران مهره‌دار** است. اما آیا در همه جانوران به یک شکل انجام می‌شود؟ خیر، بسیاری از جانوران نفس نمی‌کشند! هدف از آن چیست؟ رساندن اکسیژن به دستگاه تنفس و دور کردن کربن دی‌اکسید از آن!
- در **ذهن** بسیاری از ما، نفس کشیدن به معنای **زنده بودن** است. برای تشخیص این که آیا **فردی** زنده است یا نه، غالباً نگاه می‌کنیم که آیا نفس می‌کشد یا خیر. به نظر می‌رسد این فرایند، کاری حیاتی را برای ما انجام می‌دهد. اما این **کار حیاتی** چیست؟ رساندن O_2 به دستگاه تنفس و دور کردن CO_2 از آن!
- هوای **آلوده** به کدام بخش دستگاه تنفسی آسیب می‌رساند؟ به همه بخش‌های آن، به ویژه به بخش‌های مبادله‌ای. افرادی که به **دخانیات** روی می‌آورند، چگونه به بدن خود آسیب می‌رسانند؟ مواد سمی موجود در دود سیگار، بیشتر باعث از کار افتادن سلول‌های مژک‌دار موجود در بخش‌های مبادله‌ای می‌شود.
- اینها فقط بخشی از پرسش‌هایی است که پاسخ آنها را با مطالعه این فصل به دست خواهیم آورد.

+ تنفس سلولی: فرایندی است که در یوکاریوت‌ها با همکاری میتوکندری انجام می‌شود. در این فرایند **گلوکز** یا **سوکت رایج سلولی** در شرایط هوازی می‌تواند با O_2 ترکیب شده و ضمن تولید CO_2 و آب، حدود ۳۹ مولکول **ATP** یا **انرژی رایج سلولی** هم ساخته می‌شود. این فرایند کمابیش در همه سلول‌های **پروکاریوتی** و سلول‌های **یوکاریوتی** رخ می‌دهد. واکنش تنفس سلولی به صورت خلاصه در زیر آمده است:



+ تنفس: این فرایند، همان شیوه‌ها یا راه‌های رساندن گاز اکسیژن به سلول‌ها و دور کردن گاز کربن دی‌اکسید از آنها است. این فرایند را فقط در مورد **جانوران** به کار می‌برند.

روش‌های تنفس در جانوران عبارتند از: تنفس **پوستی**، تنفس **آبششی**، تنفس **ششی** و تنفس **نایدیسی**

+ **نفس کشیدن**: این فرایند، همان عمل دم و بازدم است که در انسان و بسیاری از جانوران انجام می‌شود. به عبارت دیگر معادل **تنفس ششی** است. این فرایند را فقط در مورد **مهره‌داران غشکی‌زی** و **شش‌دار** یعنی دوزیستان بالغ، خزندگان، پرندگان و پستانداران به کار می‌برند. در این جانداران دو نوع سازوکار تهویه‌ای به صورت **پمپ فشار منفی** و **فشار مثبت** وجود دارد. در پمپ فشار مثبت، هوا با حالتی شبیه به بلعیده شدن وارد شش‌ها می‌شود، در حالی‌که در پمپ فشار منفی، به خاطر حالت مکشی مایع جنب، هوا به داخل شش‌ها کشیده می‌شود!

جانداران - همگی با **تنفس سلولی** از سوخت رایج سلول‌ها یا گلوکز، انرژی کسب می‌کنند.



ساز و کار دستگاه تنفس در انسان

گفتار ۱

چرا نفس می کشیم؟

ارسطو، معتقد بود که نفس کشیدن باعث **خنک شدن قلب** می شود (⊙⊙⊙). او **نمی دانست** که هوا خود **مخلوطی** از چند نوع گاز است. بنابراین هوای دمی و بازدمی را از نظر ترکیب شیمیایی **یکسان** می دانست. اما آیا واقعاً چنین است؟ **خیر**، در هوای دمی نسبت به هوای بازدمی اکسیژن بیشتری وجود دارد در حالی که مقدار کربن دی اکسید کمتر است.

مقایسه هوای دمی و بازدمی نشان می دهد که این دو هوا با هم **متفاوت** اند. هوای **دمی**، **اکسیژن** بیشتری دارد اما در هوای **بازدمی**، **کربن دی اکسید** نسبت به هوای دمی بیشتر است. بنابراین، اهمیت فرایند تنفس از آنچه که ارسطو می پنداشت فراتر است. درک این اهمیت، زمانی ممکن شد که آدمی توانست **ارتباط دستگاه تنفس و دستگاه گردش خون** را بیابد. در واقع این دو دستگاه با همکاری همدیگر اکسیژن را به سلول های بدن انسان رسانده و کربن دی اکسید را از آنها دور می کنند.

نکاتی در مورد مقایسه هوای دمی و بازدمی

(۱) هم در هوای دمی و هم در هوای بازدمی گازهای مختلفی از جمله گاز **نیتروژن**، گاز **اکسیژن**، گاز **کربن دی اکسید**، بخار آب، گازهای **نبیب** و ... وجود دارند.

(۲) مقایسه مقدار اکسیژن و کربن دی اکسید در هوای دمی و بازدمی:

+ در هوای دمی مقدار اکسیژن حدود **۱۶ درصد** و مقدار کربن دی اکسید حدود **۰.۰۴ درصد** است.

+ در هوای بازدمی مقدار اکسیژن به **۱۸ درصد** و مقدار کربن دی اکسید به **۱۳ درصد** تغییر می کند.

(۳) بنابراین هم در هوای دمی و هم در هوای بازدمی مقدار اکسیژن از کربن دی اکسید **بیشتر** است!

+ اگرچه مقدار اکسیژن هوای دمی از هوای بازدمی بیشتر و مقدار کربن دی اکسید در هوای بازدمی بسیار بیشتر از هوای دمی است.

دستگاه گردش خون، خون را به وسیله سیاهرگ هایی از اندام های مختلف بدن **جمع آوری** می کند و به سوی نیمه راست قلب و سپس شش ها می آورد. این خون که به **خون تیره** معروف است اکسیژن **کم**، اما کربن دی اکسید **زیادی** دارد. در **جایک های** موجود در شش ها خون، کربن دی اکسید را از دست می دهد و از هوا اکسیژن می گیرد و به **خون روشن** تبدیل می شود. این خون اکسیژن **زیاد**، اما کربن دی اکسید **کمی** دارد. خون روشن پس از بازگشت به نیمه چپ قلب توسط دستگاه گردش خون (**سرنگ آئورت**) به اندام ها و یاخته ها **فرستاده** می شود (شکل ۱). به این ترتیب، همواره به یاخته های بدن، **اکسیژن** می رسد و **کربن دی اکسید** از آنها دور می شود. اما این کار چه ضرورتی دارد؟ سلول برای انجام فعالیت های خود به انرژی نیاز دارد. **معمول ترین** راه برای تولید انرژی، اکسایش مولکول های **گلوکز** در سلول هاست که این فرایند با مصرف اکسیژن انجام می شود.

در فصل قبل دیدیم که یاخته ها چگونه مواد مغذی را به دست می آورند. انرژی مواد مغذی، مثل **گلوکز**، باید ابتدا به انرژی ذخیره شده در **ATP** تبدیل شود. واکنش خلاصه شده این تبدیل، به این صورت است:



این واکنش که **تنفس یاخته ای** نام دارد، علت **نیاز** به اکسیژن را توجیه می کند. اما کربن دی اکسید چرا باید دور شود؟ **یکی (نه همه!)** از علل زیان بار بودن کربن دی اکسید این است که می تواند با **آب** واکنش داده، **کربنیک اسید** تولید کند و pH محیط درونی بدن را **کاهش** دهد. این تغییر pH باعث **تغییر** ساختار فضایی یا **سه بعدی پروتئین ها** می شود که می تواند **عملکرد** پروتئین ها را **مختل** کند. از آنجا که **بسیاری** از فرایندهای یاخته ای را پروتئین ها انجام می دهند؛ از بین رفتن عملکرد آنها **اختلال گسترده ای** را در کار یاخته ها و بافت ها ایجاد می کند. در واقع، **افزایش کربن دی اکسید**، **خطرناک تر** از کاهش اکسیژن است.

نکته مهم: بدیهی است نبود اکسیژن از هر دو خطرناک تر است.

کاهش اکسیژن > افزایش کربن دی اکسید > نبود اکسیژن

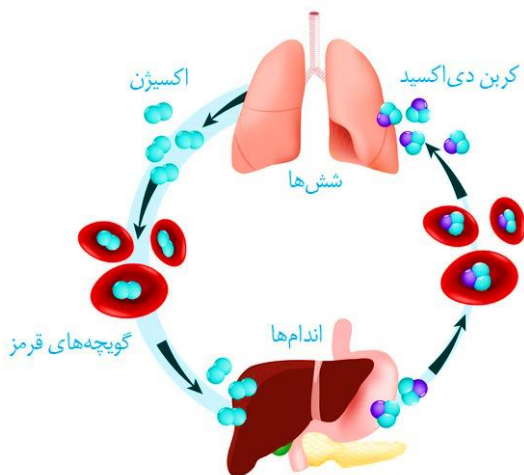
شکل ۱- یاخته های بدن، گازهای تنفسی را با خون و خون این گازها را در شش ها با هوا مبادله می کند.

(۱) در این شکل هر دو گاز تنفسی از طریق کپول های قرمز **بابه** جا شده اند.

(۲) شش چپ از شش راست **کوچک تر** است.

(۳) شش راست سه لوب و شش چپ دو لوب دارد.

(۴) **بزرگ ترین** لوب در شش چپ و **کوچک ترین** لوب در شش راست قرار دارد!



پژوهش‌های دانشمندان در ابتدا، وجود سه گاز نیتروژن، اکسیژن و کربن دی‌اکسید را در هوا نشان داد. در این آزمایش، هوای دمی و بازدمی را از نظر مقدار نسبی کربن دی‌اکسید بررسی می‌کنیم. اما چگونه می‌توان مقدار کربن دی‌اکسید را در هوا تشخیص داد؟ با استفاده از معرف‌های این گاز یعنی مطلق آب آهک یا برم تیمول بلو که در حالت عادی به ترتیب بی‌رنگ و آبی‌رنگ هستند ولی در حضور کربن دی‌اکسید این مطلق‌ها به ترتیب به صورت **شیری‌رنگ** و **زردرنگ** تغییر رنگ می‌دهند.

برای انجام این آزمایش می‌توان از محلول **آب آهک** (بی‌رنگ) یا **برم تیمول بلو** رقیق (آبی‌رنگ) که معرف کربن دی‌اکسید هستند استفاده کرد. با دمیدن کربن دی‌اکسید به درون این محلول‌ها، آب آهک **شیری‌رنگ** و برم تیمول بلو، **زردرنگ** می‌شود.

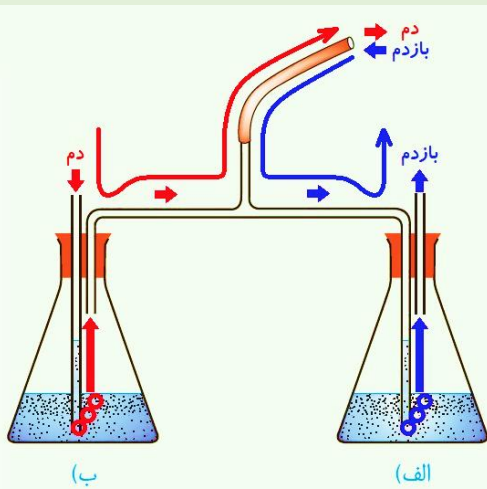
۱- دستگاه را مطابق شکل سوار کنید. انتهای لوله بلند را **درون محلول** و انتهای لوله کوتاه را در **بالای محلول** قرار دهید.
۲- به آرامی از طریق لوله مرکزی، عمل دم و بازدم را انجام دهید. در هنگام دم، در کدام ظرف، حباب هوا مشاهده می‌شود؟ در ظرف ب. هنگام بازدم چطور؟ در ظرف الف.

۳- دم و بازدم را ادامه دهید تا رنگ معرف در یکی از ظرف‌ها تغییر کند. آن را یادداشت کنید. ابتدا در ظرف الف تغییر رنگ مشاهده می‌شود.

۴- چند دقیقه دیگر نیز به دم و بازدم ادامه دهید و تغییرات بعدی رنگ را در هر دو ظرف مشاهده، و یادداشت کنید. در نهایت در ظرف ب نیز تغییر رنگ مشاهده می‌شود.

۵- اکنون به پرسش‌های زیر پاسخ دهید:

الف) چرا هوای دمی، به یک ظرف و هوای بازدمی، به ظرف دیگر وارد می‌شود؟ هوای دمی و بازدمی به سمت هر دو ظرف می‌روند، ولی با توجه به مسدود بودن مسیر در یک سمت، هوای دمی از طریق لوله ب وارد و هوای بازدمی از طریق لوله الف خارج می‌شود. به هنگام دم، معرف از لوله بلند ظرف الف بالا می‌رود. در حالی‌که به هنگام بازدم، از لوله بلند ظرف ب بالا می‌رود.
ب) نخست در کدام ظرف تغییر رنگ مشاهده کردید؟ در ظرف الف تغییر رنگ مشاهده می‌شود.
پ) آیا معرف در هر دو ظرف **سرانجام** تغییر رنگ داد؟ بله. این موضوع چه چیزی را برای ما روشن می‌کند؟ در هوای دمی هم مقدار کمی گاز کربن دی‌اکسید وجود دارد.



بخش‌های عملکردی دستگاه تنفس

از نظر عملکرد، می‌توان دستگاه تنفس را به **دو بخش اصلی** به نام‌های **بخش هادی** و **بخش مبادله‌ای** تقسیم کرد.

بخش هادی

بخش هادی، از **مجاری تنفسی** ای تشکیل شده است (بنابراین **بینی** هم به صورت مجرا حساب می‌کنیم!) که هوا را به **درون** و **بیرون** دستگاه تنفسی هدایت می‌کنند و آن را از **ناخالصی‌ها**، مثل میکروب‌های بیماری‌زا و ذرات گرد و غبار، **پاک‌سازی** و نیز، **گرم و مرطوب** می‌کنند تا برای مبادله گازها با خون آماده شود. از **بینی** تا نایزک انتهایی به بخش هادی تعلق دارد.

نکاتی در مورد بخش هادی

۱) **ویژگی مشترک**: همه قسمت‌های آن به صورت **مجرا** یا **لوله** هستند (حتی **بینی**!).

۲) **محل قرارگیری**: از ابتدای سوراخ‌های بینی شروع شده تا نایزک‌های انتهایی (ادامه می‌یابند).

۳) **نوع بافت موجود در مجاری**: در ابتدای بینی بافت پوششی **سنگ‌فرشی** پندلایه، در بقیه بخش‌ها بافت پوششی **استوانه‌ای** یک لایه!

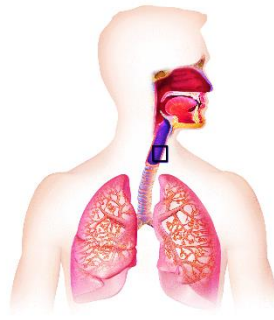
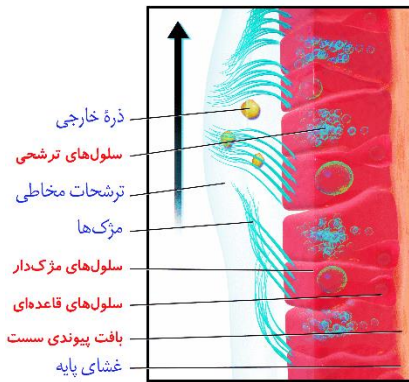
۴) **وظایف**: الف) هدایت هوا به درون و بیرون دستگاه ب) پاک‌سازی هوا از ناخالصی‌ها، میکروب‌های بیماری‌زا و ذرات گرد و غبار ج) گرم و مرطوب نمودن هوا
ابتدای مسیر ورود هوا در بینی، از **پوست نازکی** پوشیده شده است که **موهای آن**، مانعی در برابر ورود **ناخالصی‌های هوا** ایجاد می‌کند. بنابراین بخش ابتدایی مجاری تنفسی، همه **ویژگی‌های پوست** را دارد. برخی از ویژگی‌های پوست را قبلاً خوانده‌اید و بقیه ویژگی‌های آن را به عنوان یک اندام که در اولین خط دفاع غیر اختصاصی نقش دارد نیز در آینده خواهید خواند. با **پایان** یافتن این پوست، **مخاط مژکدار** در **بینی** آغاز می‌شود که در **سراسر** مجاری هادی یعنی از بینی تا نایزک انتهایی ادامه پیدا می‌کند. این مخاط، یاخسته‌های مژکدار **فراوان** و **ترشحات مخاطی** دارد. در این ترشحات **موسین** و مواد **ضد میکروبی** مانند **لیزوزیم** نیز وجود دارد.

نکته پالشی: همه سلول‌ها در بخش هادی دستگاه تنفس مژکدار نیستند!

با توجه به این‌که بخش اعظم مجاری تنفسی، از بینی تا نایزک انتهایی از مناط تشکیل شده است، بنابراین این بخش هم همه ویژگی‌های مناط را داراست.

ترشحات مخاطی، ناخالصی‌های هوا را ضمن عبور از مبادی تنفسی به دام می‌اندازند. مژک‌ها با حرکت ضربانی خود، ترشحات مخاطی و ناخالصی‌های به دام افتاده در آن را هم از سمت بالا و هم از سمت پائین مبادی تنفسی! به سوی حلق می‌رانند. این مواد در حلق دو سرنوشت نواهند داشت: (۱) یا پس از بلعیده شدن به دستگاه گوارش وارد شده، شیره معده یعنی آنزیم‌ها و اسید آنها را نابود می‌کنند (۲) یا از طریق سرفه کردن! به خارج از بدن هدایت می‌شوند.

شکل ۲- در مخاط نای سلول‌های پوششی استوانه‌ای مژک‌دار قرار دارند. به علاوه دو نوع سلول دیگر هم وجود دارد. سلول‌های ترششی و قاعده‌ای!



ترشحات مخاطی، که لایه‌ای با ضخامت غیر یکنواخت تشکیل می‌دهند نقش مهم دیگری نیز دارند. این ترشحات هوا را مرطوب می‌کنند. مرطوب کردن هوا برای تبادل گازها ضرورت دارد. گازهای تنفسی تنها در صورتی که محلول در آب باشند، می‌توانند بین شش‌ها و خون مبادله شوند.

نکته مهم این که در همه روش‌های تنفسی در جانوران خشکی‌زی، گازهای تنفسی می‌بایست از لایه نازکی از آب عبور کنند.

در بینی، شبکه‌ای وسیع از رگ‌هایی با دیواره نازک وجود دارد که هوا را گرم می‌کند. این شبکه به سطح درونی بینی بسیار نزدیک است، بنابراین آسیب‌پذیری بیشتری دارد و آسان‌تر از دیگر نقاط، دچار خون‌ریزی می‌شود.

هوا با عبور از بینی، دهان، یا هر دو، به حلق وارد می‌شود (شکل ۳). حلق، گذرگاهی با دیواره‌ای ماهیچه‌ای (دارای ماهیچه اسکلتی و غیر ارادی) است که هم هوا و هم غذا از آن عبور می‌کند. انتهای حلق به یک دوراهی ختم می‌شود. در این دوراهی، حنجره در جلو و مری در پشت قرار دارد.

نکته مهم: با توجه به این‌که بر اساس کتاب، مبادی تنفسی دارای مخاط مژک‌دار هستند و حلق فاقد مژک است، بنابراین حلق را جز مبادی تنفسی به حساب نمی‌آورند!

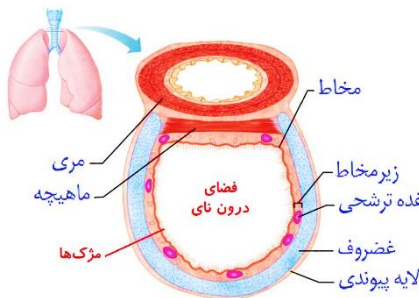
حنجره در ابتدای نای واقع است و در تنفس، دو کار مهم انجام می‌دهد. یکی آنکه دیواره غضروفی آن، مجرای عبور هوا را باز نگه می‌دارد و دیگر آنکه درپوشی به نام برچاکنای (اپی‌گلوٹ) دارد که مانع ورود غذا به مجرای تنفسی می‌شود. در حنجره پرده‌های صوتی نیز برای ایجاد صدا هم وجود دارند.

نکته پالشی: با توجه به شکل و متن کتاب، می‌توان گفت اپی‌گلوٹ بخشی از حنجره است و حنجره نیز جز نای به شمار می‌رود!



شکل ۳- حلق و حنجره. اپی‌گلوٹ بخشی از حنجره است و حنجره نیز جزء نای است.

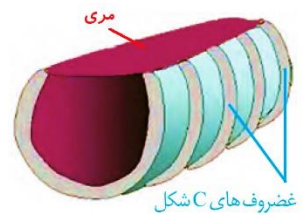
دیواره نای، حلقه‌های غضروفی ناکامل شبیه به نعل اسب یا حرف C دارد که مجرای نای را همیشه باز نگه می‌دارند (شکل ۴). دهانه غضروف (دهانه حرف C) به سمت مری قرار دارد. در نتیجه حرکت لقمه‌های بزرگ غذا در مری با مانعی روبه‌رو نمی‌شود. ساختار دیواره نای در شکل ۵ نشان داده شده است.



شکل ۵- ساختار بافتی دیواره نای.

دیواره نای از بیرون به درون شامل چهار لایه است:

- ۱- پیوندی = بیرونی
- ۲- غضروفی - ماهیچه‌ای (بیشتر ماهیچه! وجود دارد)
- ۳- زیرمخاط
- ۴- مخاط



شکل ۴- حلقه‌های غضروفی نای

نای، در انتهای خود، به دو شاخه تقسیم می‌شود و نایژه‌های اصلی را پدید می‌آورد. هر نایژه اصلی به یک شش وارد شده، در آنجا به نایژه‌های باریک‌تر تقسیم می‌شود (شکل ۶). همچنان که از نایژه اصلی به سمت نایژه‌های باریک‌تر پیش می‌رویم، از مقدار غضروف کاسته می‌شود. انشعابی از نایژه که دیگر غضروفی ندارد، نایژک نامیده می‌شود.

به علت نداشتن غضروف، نایژک‌ها می‌توانند تنگ و گشاد شوند. در بیماری آسم نایژک‌ها تنگ می‌شوند! این ویژگی نایژک‌ها به دستگاه تنفس امکان می‌دهد تا در شرایط مختلف و تحت تأثیر اعصاب سمپاتیک و پاراسمپاتیک و برنی از هورمون‌ها بتواند مقدار هوای ورودی یا خروجی را تنظیم (به ترتیب زیاد و کم) کند. آخرین انشعاب نایژک در بخش هادی، نایژک انتهایی نام دارد. هر نایژک انتهایی به چند نایژک مبادله‌ای متصل می‌شود. هر کدام از این نایژک‌ها در طول خود دارای تعدادی مبادی و در انتها به یک کیسه مبادی منتهی می‌شوند. به عبارت دیگر تعداد کیسه‌های مبادی با تعداد نایژک‌های مبادله‌ای برابر است! همان‌طور که می‌دانیم بینی، نای، نایژه‌ها، نایژک‌های انتهایی جز بخش هادی و نایژک‌های مبادله‌ای، کیسه‌های مبادی و مبادی‌ها به بخش مبادله‌ای تعلق دارند.

جبابک‌ها < کیسه‌های جبابکی = نایژک‌های مبادله‌ای < نایژک‌های انتهایی < نایژک‌ها < نایژه‌های فرعی < دو عدد = نایژه‌های اصلی < یک عدد = نای

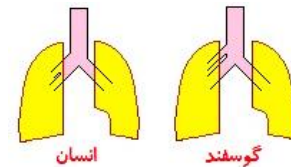
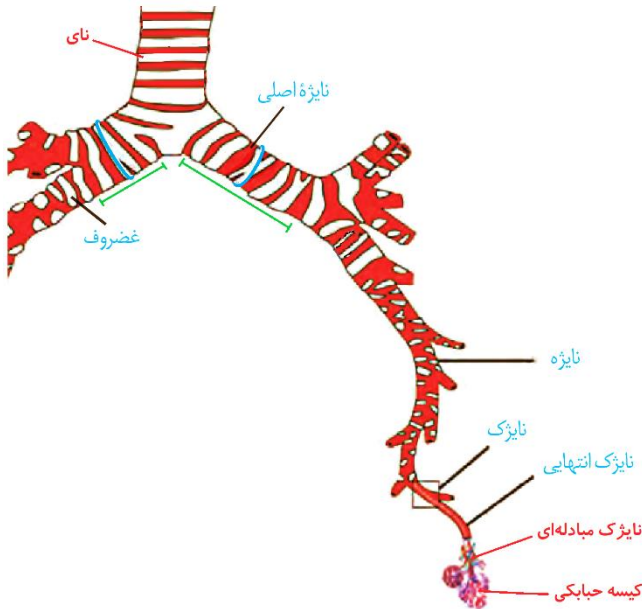
موقعیت قرار گرفتن بخش‌های مختلف دستگاه تنفسی

- (۱) نای: به طور کامل در **فارنج** از شش‌ها و **مابین** آنها قرار دارد. بخش انتهایی نای در پشت بخش بالایی **بناف** واقع شده است!
- (۲) نایژه‌های اصلی: بخش **ابتدایی** نایژه‌های اصلی در **فارنج** از شش‌ها و **بقیه** آن در درون بافت‌های شش واقع شده است.
- (۳) **بقیه** بخش‌ها: همه نایژه‌های فرعی، نایژک‌ها، جبابک‌ها و کیسه‌های جبابکی به طور **کامل** در درون شش قرار گرفته‌اند.

بنابراین می‌توان گفت بخش‌های مبادله‌ای به طور **کامل** در درون شش‌ها واقع شده‌اند، اما قسمت‌هایی از بخش‌های هادی در بیرون از شش‌ها قرار دارند!

مقایسه نایژه‌های اصلی چپ و راست

- + نایژه اصلی چپ: طویل‌تر و نازک‌تر، در انتها **منشعب**
- + نایژه اصلی راست: کوتاه‌تر و قطورتر، در انتها **دو شاخه**
- جالب است بدانیم در شش گوسفند **انشعاب سوم** در بالای نایژه اصلی سمت راست و قبل از دو نایژه اصلی به شش راست وارد می‌شود! **انشعاب سوم نایژه اصلی** **محسوب نمی‌شود!**



شکل ۶۰ انشعابات نای شامل دو نایژه اصلی، نایژه‌های فرعی، نایژک‌ها هستند.

نکاتی در مورد لایه‌های مباری تنفسی: مربوط به شکل ۵

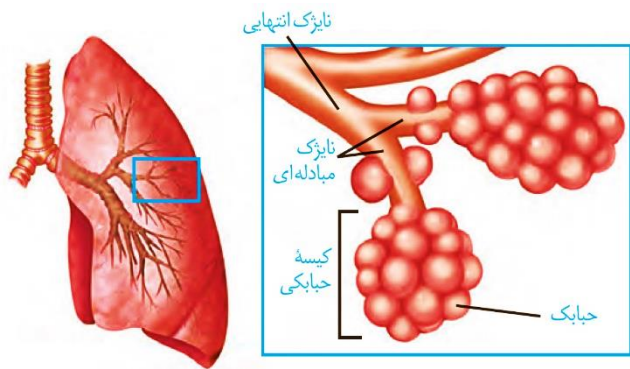
در مباری تنفسی از بینی تا نایژک انتهایی نیز همانند لوله گوارش از بیرون به سمت درون **چهار لایه** مشاهده می‌شود:

- (۱) **لایه بیرونی**، که از جنس بافت **پیوندی** است.
- (۲) **لایه غضروفی - ماهیچه‌ای**، این لایه در بخش‌های مختلف مباری تنفسی به صورت **مفاوت** دیده می‌شود.
 - + در **تنبره** که در ابتدای نای قرار دارد، این لایه فقط از **غضروف یک‌پارچه** تشکیل شده است.
 - + در **نای**، این لایه به صورت غضروفی - ماهیچه‌ای است که غضروف‌های آن به صورت **نعلی شکل** مشاهده می‌شوند.
 - + در دو **نایژه اصلی**، این لایه به صورت غضروفی - ماهیچه‌ای است که غضروف‌های آن به صورت **طلقه کامل** هستند.
 - + در **نایژه‌های فرعی** این لایه به صورت غضروفی - ماهیچه‌ای است که غضروف‌های آن به صورت **قطعه‌قطعه** دیده می‌شوند.
 - + در همه انواع **نایژک‌های انتهایی و مبادله‌ای**، این لایه فقط به صورت ماهیچه‌ای و **فاقد غضروف** دیده می‌شود.
- (۳) **لایه زیرمغاطی**، که نوعی بافت پیوندی سست است. در این لایه **جسم** غده‌های مغاطی وجود دارد.
- (۴) **لایه مغاطی**، که نوعی بافت پوششی است.
 - + در نای این لایه به صورت **استوانه‌ای** یک لایه است!
 - + برقی از سلول‌های این لایه، **ترشی** و برقی نیز **مژک‌دار** هستند.
 - + غده‌های ترشح کننده ماده مغاطی نیز از لایه مغاطی **منشاء** گرفته! و به درون لایه زیرمغاط **نفوذ** کرده‌اند.
 - + **مباری** غدد مغاطی نیز به فضای درون مباری تنفسی باز می‌شود.

بخش مبادله‌ای

بخش مبادله‌ای، با حضور **اجزای کوچکی** به نام **جبابک** مشخص می‌شود (شکل ۷). در هر شش حدود ۱۳۵ میلیون جبابک وجود دارد. نایژکی را که **روی** آن (در طول آن) جبابک وجود دارد، **نایژک مبادله‌ای** می‌نامیم. نایژک مبادله‌ای در انتهای خود به ساختاری شبیه به **خوشه انگور** ختم می‌شود که از اجتماع جبابک‌ها پدید آمده است. هر یک از این خوشه‌ها را یک **کیسه جبابکی** می‌نامند.

بنابراین می‌توان گفت تعداد کیسه‌های جبابکی با تعداد نایژک‌های مبادله‌ای **برابر** است!



مخاط مژکدار در **طول** نایزک مبادله‌ای به **پایان** می‌رسد، بنابراین نایزک‌های مبادله‌ای همانند سایر مجاری تنفسی مژکدار هستند ولی در محل حبابک‌ها، این مخاط مژکدار وجود **ندارد**. به عبارت دیگر در حبابک‌ها بر خلاف مجاری تنفسی، مخاط مژکدار، موسین، لیزوزیم و ... وجود **ندارد**.

شکل ۷- بخش مبادله‌ای دستگاه تنفس

برفلاف نایزک‌های انتهایی، در طول نایزک‌های مبادله‌ای حبابک تشکیل می‌شود. در انتها آنها نیز کیسه حبابکی وجود دارد.



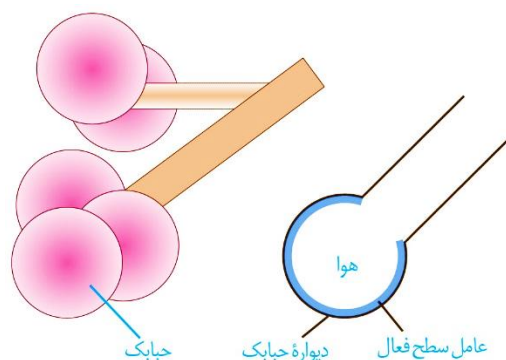
در درون حبابک‌ها، روشن **دیگری** برای مبارزه با ذرات وارد شده وجود دارد. در این سافتارها، **گروهی** از یاخته‌های دستگاه ایمنی بدن به نام **درشت‌خوار (ماکروفاژ)** مستقر شده‌اند (شکل ۸). این یاخته‌ها، **باکتری‌ها** و **ذرات گرد و غباری** را که از مخاط مژکدار **گریخته‌اند** نابود می‌کنند. درشت‌خوارها یاخته‌هایی با ویژگی **بیگانه‌خواری** و **توانایی حرکت** اند. این یاخته‌ها، نه فقط در کیسه‌های حبابکی شش‌ها، بلکه در **دیگر نقاط بدن** حتی در مجاری تنفسی! نیز حضور دارند. بیگانه‌خواری یا فاکوسیتوز **نوعی** آندوسیتوز است که بوسیله بسیاری از کلبول‌های سفید، ماکروفاژها و ... انجام می‌شود.

شکل ۸- یاخته‌های درشت‌خوار در حبابک‌ها

راه‌های دفاعی موجود در دستگاه تنفس

- ۱) **پوست مودار:** فقط در ابتدای بینی دیده می‌شود. این بخش مانند بقیه نقاط پوست دارای مو، غدد عرقی، غدد چربی، آنزیم **لیزوزیم**، **pH اسیدی** و ... است.
 - ۲) **مخاط مژکدار:** از بینی شروع تا نایزک مبادله‌ای ادامه می‌یابد. ماده مخاطی آن دارای آنزیم **لیزوزیم** و **موسین** است. مژک‌های آن نیز در حرکت مؤثر هستند.
 - ۳) **ماکروفاژها:** در درون حبابک‌ها عمل می‌کنند. ماکروفاژها علاوه بر حبابک‌ها، در بقیه بخش‌های بدن **از جمله مجاری تنفسی!** هم وجود دارند و با ذره‌خواری یا فاکوسیتوز ذرات خارجی را از بین می‌برند. می‌توان گفت موقعیت قرار گرفتن ماکروفاژها در بافت‌ها به صورت زیر است.
- + ماکروفاژهایی که در مجاری تنفسی وجود دارند مانند ماکروفاژهای موجود در بقیه لایه‌های مخاطی در **درون** بافت پوششی یا پیوندی واقع شده‌اند.
- + ماکروفاژهایی که در حبابک‌ها وجود دارند در **بیرون** از بافت پوششی حبابک قرار دارند!

هنگام نفس کشیدن، حجم کیسه‌های حبابکی **تغییر** می‌کند. هنگام دم حجم آنها افزایش و هنگام بازدم کاهش می‌یابد. لایه نازکی از **آب**، سطح درونی حبابک



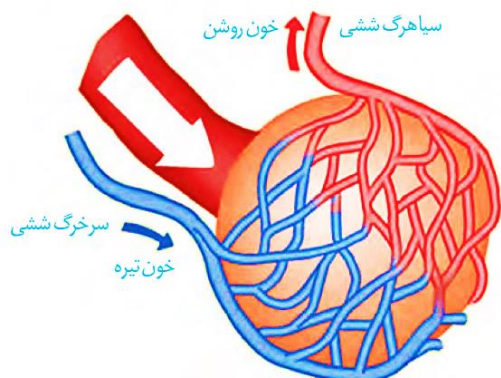
یعنی سطحی از حبابک را که در **تماس** با هواست **پوشانده** است؛ بنابراین هنگام دم، حبابک به علت وجود **نیروی کشش سطحی** آب، در برابر باز شدن **مقاومت** می‌کند. ماده‌ای **لیپوپروتئینی** به نام **عامل سطح فعال (سورفاکتانت)** که از **بعضی** یاخته‌های حبابک‌ها یا سلول‌های نوع دوم ترشح می‌شود، با **کاهش** نیروی کشش سطحی، باز شدن حبابک‌ها را هنگام دم **آسان** می‌کند (شکل ۹). از آنجا که این ماده در اواخر دوره جنینی تا پایان عمر در شش‌ها ساقته می‌شود، بنابراین در **بعضی** از نوزادانی که **زود هنگام** به دنیا آمده‌اند، عامل سطح فعال وجود داشته! ولی به مقدار **کافی** ساخته نشده است و بنابراین به **زحمت** نفس می‌کشند (سندروم زجر تنفسی).

شکل ۹- عامل سطح فعال در سطحی که مجاور هواست ترشح می‌شود.

اطراف حبابک‌ها را **مویرگ‌های خونی فراوان**، احاطه کرده‌اند و به این ترتیب، امکان تبادل گازها بین هوا و خون فراهم شده است (شکل ۱۰).

این مویرگ‌ها خون تیره موجود در انشعابات سرخرگ ششی که از **بطن راست** آمده است را دریافت می‌کنند. خون درون این مویرگ‌ها پس از تبادل گازها، روشن شده و سیاهرگ‌هایی را تشکیل می‌دهد که در نهایت به سیاهرگ‌های ششی می‌پیوندند. این سیاهرگ‌ها نیز چهار عدد بوده که همگی به **دهلیز چپ** قلب متصل می‌شوند.

شکل ۱۰- مویرگ‌های خونی فراوان، اطراف حبابک‌ها را احاطه کرده‌اند.

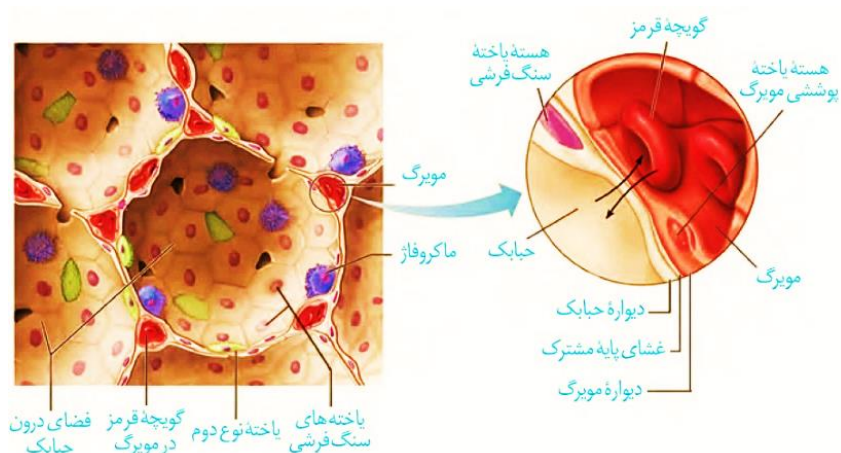


دیواره حبابک از دو نوع یاخته ساخته شده است:

۱) سلول‌های نوع اول، که سنگ‌فرشی و فراوان‌تر هستند. این سلول‌ها در تبادل گازهای تنفسی نقش دارند.

۲) سلول‌های نوع دوم، با ظاهری کاملاً متفاوت، یعنی غیر سنگ‌فرشی! به تعداد خیلی کمتر دیده می‌شود و ترشح عامل سطح فعال (سورفاکتانت) را بر عهده دارد (شکل ۱۱). نکته مهم این‌که درشت‌خوارها را جزء یاخته‌های دیواره حبابک، طبقه‌بندی نمی‌کنند. اما در درون حبابک قرار دارند!

برای این‌که اکسیژن و کربن دی‌اکسید بین هوا و خون مبادله شوند، این مولکول‌ها باید از ضخامت دیواره حبابک‌ها و دیواره مویرگ‌ها عبور کنند. هر



دو دیواره، از بافت پوششی سنگ‌فرشی یک لایه ساخته شده‌اند که بسیار نازک است. در جاهای متعدد، (نه همه جا!) بافت پوششی حبابک و مویرگ هر دو فقط یک غشای پایه مشترک دارند؛ در نتیجه مسافت انتشار گازها به حداقل ممکن رسیده است (شکل ۱۱).

نکته مهم: اگرچه لایه‌های سنگ‌فرشی نازک هستند ولی داشتن غشای پایه مشترک، مسافت انتشار گازها را به حداقل ممکن رسانده است نه ضخامت کم سلول‌های سنگ‌فرشی!

شکل ۱۱- ساختار حبابک‌ها

نکاتی در مورد ساختار حبابک‌ها

۱) تبادل گازها در محل حبابک‌ها بر اساس شیب غلظت است و از قوانین انتشار تبعیت می‌کند.

۲) گازها از دو لایه سلول سنگ‌فرشی یعنی چهار لایه غشای سلولی یا هشت لایه فسفولیپید به علاوه یک یا دو لایه غشای پایه عبور می‌کنند.

۳) برای ورود و خروج گازهای تنفسی از حبابک‌ها به گلبول‌های قرمز و برعکس، این گازها می‌بایست از پنج غشای سلولی یا ده لایه فسفولیپید عبور کنند!

۴) در دیواره حبابک فقط در بعضی از نقاط که مویرگ وجود دارد، غشای پایه مشترک مشاهده می‌شود. در بقیه نقاط هر لایه سلول سنگ‌فرشی یک غشای پایه دارد.

۵) مویرگ‌ها همواره در اطراف حبابک‌ها دیده می‌شوند و هیچ‌گاه به درون حبابک نفوذ نمی‌کنند! اما تعدادی از آنها به درون کیسه حبابکی نفوذ می‌کنند!

۶) هر مویرگ می‌تواند با یک، دو یا سه حبابک در تماس باشد. مویرگ‌هایی که فقط با یک حبابک در تماس هستند قطعاً در اطراف کیسه‌های حبابکی قرار دارند.

۷) مویرگ‌های موجود در شش‌ها دو نوع هستند:

+ مویرگ‌های بیرونی: فقط با یک حبابک در تماس هستند و هم در اطراف حبابک‌های منفرد دیده می‌شوند و هم در اطراف کیسه‌ای حبابکی!

+ مویرگ‌های درونی: با دو یا سه حبابک در تماس هستند و فقط در درون کیسه‌های حبابکی دیده می‌شوند.

۸) در یک کیسه حبابکی، اغلب حبابک‌ها به وسیله منافذی به هم راه دارند. به عبارت دیگر همه حبابک‌ها با نایژک‌های مبادله‌ای در تماس مستقیم نیستند!

حمل گازها در خون

کار دستگاه تنفس با همکاری دستگاه گردش خون، کامل می‌شود. خون، اکسیژن را به یاخته‌ها می‌رساند و کربن دی‌اکسید را از آنها می‌گیرد و به سمت شش‌ها می‌آورد تا از بدن خارج شود.

با توجه به این‌که بخش اندکی از این گازها به صورت محلول در خوناب جابه‌جا می‌شوند (حدود ۱۳٪ برای گاز اکسیژن و حدود ۷٪ برای گاز کربن دی‌اکسید)، بنابراین به سازوکارهای دیگری مانند استفاده از پروتئین هموگلوبین و آنزیم کربنیک‌انیدراز! برای حمل این مولکول‌ها در خون نیاز است.

سیتوپلاسم گویچه قرمز سرشار از هموگلوبین است. شیب غلظت گازهای تنفسی تعیین می‌کند که چه مولکولی به هموگلوبین متصل یا از آن جدا شود. غلظت اکسیژن خونی که از قلب به شش‌ها می‌رود، کمتر از غلظت اکسیژن در هوای حبابک‌ها است؛ در نتیجه در شش‌ها اکسیژن به هموگلوبین می‌پیوندد و در مجاورت بافت‌ها، که غلظت اکسیژن به علت مصرف شدن توسط یاخته‌ها کاهش یافته است، اکسیژن از هموگلوبین جدا و به یاخته‌ها داده می‌شود. پیوستن کربن دی‌اکسید به هموگلوبین و یا گسستن از آن نیز تابع غلظت کربن دی‌اکسید است. در بافت‌ها، کربن دی‌اکسید به هموگلوبین متصل و در شش‌ها از آن جدا می‌شود.

کربن مونوکسید، مولکول دیگری است که به هنگام سوختن ناقص زغال، نفت، گاز و ... در وسایل گرمایشی! می‌تواند تولید شده و به هموگلوبین متصل شود. با این تفاوت که وقتی متصل شد، به آسانی جدا نمی‌شود. محل اتصال این مولکول به هموگلوبین، همان محل اتصال اکسیژن است. بنابراین کربن مونواکسید با اتصال به هموگلوبین، مانع پیوستن اکسیژن می‌شود و چون به آسانی جدا نمی‌شود ظرفیت حمل اکسیژن را در خون کاهش می‌دهد. این وضعیت ممکن است چنان شدید باشد که به مرگ منجر شود. از این رو کربن مونواکسید گازی سمی به شمار می‌رود. تنفس این گاز باعث مسمومیت می‌شود و به گاز گرفتگی شهرت دارد.

بیشترین مقدار حمل اکسیژن در خون به وسیله **هموگلوبین** انجام می‌شود (حدود ۹۷٪)؛ اما هموگلوبین در ارتباط با حمل کربن دی‌اکسید نقش **کمتری** دارد (حدود ۳۱٪).

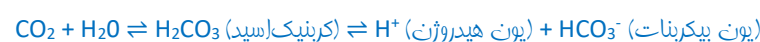
بیشترین مقدار کربن دی‌اکسید به صورت **یون بیکربنات** در خون حمل می‌شود (حدود ۷۰٪). در سیتوپلاسم گویچه قرمز، آنزیمی به نام **کربنیک‌انیدراز** وجود دارد که کربن دی‌اکسید را با آب **ترکیب** می‌کند و **کربنیک‌اسید** پدید می‌آورد. کربنیک‌اسید به سرعت به یون **بیکربنات** و **هیدروژن** تجزیه می‌شود. یون بیکربنات از گویچه قرمز **خارج** و به خوناب وارد می‌شود. یون هیدروژن به هموگلوبین می‌پیوندد تا pH خون کاهش پیدا نکند و یون اسیدی نشود؛ بنابراین مولکول هموگلوبین در تنظیم pH خون هم نقش دارد. با رسیدن به شش‌ها، یون بیکربنات دوباره به درون گلبول قرمز **رفته** و با یون هیدروژن ترکیب شده و کربن دی‌اکسید از ترکیب یون بیکربنات **آزاد** می‌شود و از آنجا به هوا **انتشار** می‌یابد.

نکاتی در مورد مولکول هموگلوبین

- (۱) این پروتئین زمانی که گلبول قرمز در **مغز** **استخوان** ساقته می‌شود در سیتوپلاسم آن انباشته شده (است)!
- (۲) هر گلبول قرمز درون سیتوپلاسم خود حدود ۵۰ میلیون نسخه از مولکول هموگلوبین را ذخیره می‌کند.
- (۳) هر مولکول هموگلوبین ظرفیت اتصال و جابه‌جایی **چهار** مولکول گاز اکسیژن را داراست.
- (۴) هر گلبول قرمز در هر لحظه می‌تواند در جابه‌جایی حدود یک میلیارد مولکول اکسیژن نقش داشته باشد!
- (۵) هر مولکول هموگلوبین از چهار زنجیره پلی‌پپتیدی از دو نوع آلفا و بتا ساخته شده است. هر زنجیره با یک بخش غیر پروتئینی به نام «**گروه هم**» در ارتباط است.
- (۶) در مرکز هر «گروه هم» یک **یون آهن** وجود دارد که یک مولکول اکسیژن (یا یک مولکول کربن مونواکسید) می‌تواند به آن متصل شود.
- (۷) در صورت تبخیر کامل پروتئین هموگلوبین فقط آمینواسید به وجود نمی‌آید؛ چون این پروتئین دارای گروه آلی دیگری به نام «گروه هم» است که در مرکز آن نیز آهن وجود دارد.
- (۸) **عمر** هر گلبول قرمز حدود ۱۲۰ روز است، بنابراین تعداد زیادی از گلبول‌های قرمز هر روز از بین می‌روند. از بین رفتن این گلبول‌ها به وسیله ماکروفاژهای موجود در **کبد** و **طحال** انجام می‌شود.
- (۹) زنجیره‌های پلی‌پپتیدی آلفا و بتای آنها پس از تجزیه به آمینواسید تبدیل می‌شوند. آهن آنها نیز در **کبد** ذخیره یا برای ساختن مجدد گلبول‌های قرمز به مغز **استخوان** منتقل می‌شود.
- (۱۰) «گروه‌های هم» موجود در آنها نیز به **بیلی‌روبین** و **بیلی‌وردین** تبدیل شده و همراه با صفرا از بدن دفع می‌شوند.

نکاتی در مورد راه‌های انتقال گازها در خون

- (۱) **گاز اکسیژن**: این گاز به **دو روش** در خون منتقل می‌شود:
 - + **روش اول**: از طریق هموگلوبین: اتصال اکسیژن به مولکول هموگلوبین موجود در سیتوپلاسم گلبول قرمز، ۹۷٪ از اکسیژن با این روش منتقل می‌شود.
 - x مولکول اکسیژن به یون آهن «گروه هم» مولکول هموگلوبین متصل می‌شود. نکته جالب این‌که گاز کربن مونواکسید هم به **همان مکان** متصل شده و به **سستی** جدا می‌شود و بنابراین ظرفیت حمل اکسیژن در خون **کم** می‌شود. به همین دلیل این گاز سمی است و باعث «**کازرگفتگی**» می‌شود.
 - + **روش دوم**: به صورت محلول در پلاسما: فقط ۳٪ از اکسیژن با این روش منتقل می‌شود.
- (۲) **گاز کربن دی‌اکسید**: این گاز به **سه روش** در خون منتقل می‌شود:
 - + **روش اول**: از طریق هموگلوبین: اتصال کربن دی‌اکسید به مولکول هموگلوبین موجود در گلبول قرمز، ۲۳٪ از کربن دی‌اکسید با این روش منتقل می‌شود.
 - x مولکول کربن دی‌اکسید به یون آهن «گروه هم» هموگلوبین متصل نمی‌شود، بلکه به بخش آمینواسیدی یا گلوبین این مولکول متصل می‌شود.
 - + **روش دوم**: به صورت محلول در پلاسما: فقط ۷٪ از کربن دی‌اکسید با این روش منتقل می‌شود.
 - + **روش سوم**: به صورت یون بیکربنات: حدود ۷۰٪ از کربن دی‌اکسید با این روش منتقل می‌شود.
- x در این روش آنزیمی به نام **کربنیک‌انیدراز** که در سیتوپلاسم گلبول قرمز وجود دارد، وارد عمل می‌شود. این آنزیم با ترکیب نمودن گاز کربن دی‌اکسید و آب اسید ضعیفی به نام کربنیک‌اسید می‌سازد. این اسید تجزیه شده و به یون‌های **بیکربنات** و **هیدروژن** تبدیل می‌شود.



x یون هیدروژن به هموگلوبین **متصل** شده تا pH خون تغییر نکند. یون بیکربنات از گلبول قرمز **خارج** و در پلاسما به صورت محلول جابه‌جا می‌شود. با رسیدن به شش‌ها، واکنش **عکس** انجام و گاز کربن دی‌اکسید آزاد می‌شود.

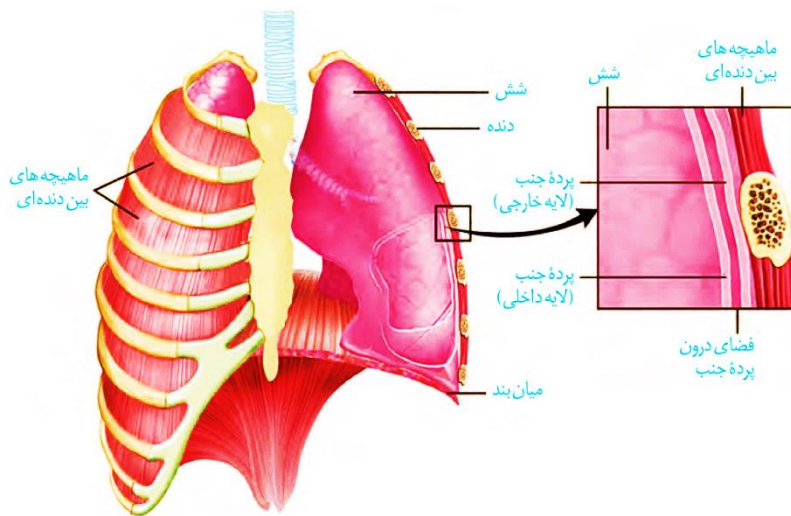
x نکته **جالب**: گلبول‌های قرمز برای جابه‌جایی گاز کربن دی‌اکسید همانند اکسیژن **بیشترین** نقش را دارند!

- زیرا هموگلوبین موجود در گلبول‌های قرمز در انتقال حدود ۲۳٪ و کربنیک‌انیدراز موجود در این سلول‌ها هم در انتقال حدود ۷۰٪ دیگر نقش دارند! به عبارت دیگر گلبول‌های قرمز در جابه‌جا شدن مستقیم یا غیر مستقیم حدود ۹۳٪ از کربن دی‌اکسید موجود در خون نقش دارند.

تهویه ششی شامل دو فرایند دم و بازدم است. برای درک چگونگی دم و بازدم، لازم است ابتدا با ساختار و عمل شش ها آشنا شویم.

شش ها

شش ها درون قفسه سینه و روی پرده ماهیچه ای میان بند یا دیافراگم (ماهیچه منط یا اسکلتی، ارادی - غیر ارادی!) قرار دارند. شش چپ به علت مجاورت با قلب، از شش راست قدری کوچک تر است. بیشتر حجم شش ها را کیسه های حبابی به خود اختصاص داده اند و ساختاری اسفنج گونه را به شش می دهند. مویرگ های خونی فراوان، که اطراف و درون کیسه های حبابی ولی فقط اطراف حبابک ها را همچون تار عنکبوت احاطه کرده، دیگر بخش فراوان در شش ها است. بنابراین شش را می توان عمده تاً مجموعه ای از نایژه ها، نایزک ها، کیسه های حبابی و رگ ها شامل رگ های لنفی، سرخرگ هایی با تون تیره، سیاهرگ هایی با تون روشن! و مویرگ ها دانست که از بیرون نوعی بافت پیوندی به صورت پرده ای دولایه آن را احاطه می کند.



هر یک از شش ها را پرده ای دولایه از جنس بافت پیوندی متراکم به نام پرده جنب فرا گرفته است (شکل ۱۲). به عبارت دیگر شش راست و چپ هر کدام به وسیله پرده های مستقل جنب احاطه شده اند! یکی از لایه های این پرده، به سطح بیرونی شش چسبیده و لایه دیگر به سطح درونی قفسه سینه متصل است. درون پرده جنب، فضای اندکی وجود دارد که از مایعی به نام مایع جنب، پر شده است. فشار این مایع از فشار جو کمتر است و باعث می شود شش ها در حالت بازدم، کاملاً جمع نشوند، در صورتی که قسمتی از قفسه سینه سوراخ شود، هر یک از شش ها به طور مستقل جمع می شوند.

شکل ۱۲ - شش ها و قفسه سینه

نکاتی در مورد شش ها و قفسه سینه

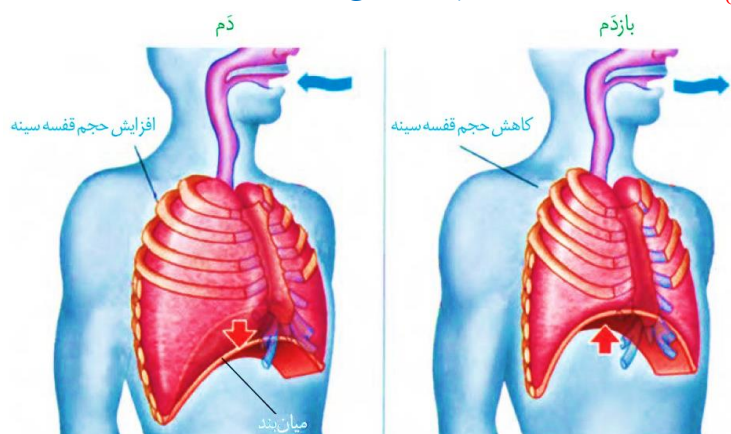
- (۱) نکته چالشی: فقط بخش پایینی نای در پشت بخش فوقانی جناغ قرار می گیرد!
- (۲) ماهیچه دیافراگم به صورت گنبدی شکل و منط دیده می شود که بخش سمت راست آن کمی بالاتر از بخش سمت چپ آن قرار گرفته است.
- (۳) جناغ سینه یک استخوان سه تکه و قنبر مانند است که در بخش فوقانی کرد و در بخش پایین خود دارای یک بخش نوک تیز است.
- (۴) دنده ها ۱۲ جفت بوده و کمابیش به بخش فوقانی، میانی و پایینی استخوان جناغ متصل هستند.
- + هفت جفت دنده کامل که هر کدام دارای غضروف مستقل هستند.
- + سه جفت دنده کاذب که همه با یک غضروف به غضروف دنده هفتم و در نهایت استخوان جناغ وصل می شوند.
- + دو جفت دنده آزاد که در این شکل نشان داده نشده اند و فاقد غضروف اتصال دهنده به جناغ هستند. این دنده ها از اندام های بخش عقبی منوطه شکم مانند طحال، کلیه ها و کبد محافظت می کنند.
- (۵) هر دنده دارای بافت استخوانی متراکم در اطراف و بافت استخوانی اسفنجی حاوی مغز قرمز در وسط خود است.
- شش ها دو ویژگی مهم دارند: یکی پیروی از حرکات قفسه سینه و دیگری ویژگی کشسانی آنها. به هنگام دم، هنگامی که حجم قفسه سینه بر اثر انقباض ماهیچه دیافراگم و بین دنده ای خارجی افزایش می یابد، شش ها باز می شوند. در نتیجه، فشار هوای درون شش ها کم شده، هوای بیرون به درون شش ها کشیده می شود. اما باید توجه داشت که به علت ویژگی کشسانی، شش ها در برابر کشیده شدن، مقاومت نیز نشان می دهند و تمایل دارند به وضعیت اولیه خود بازگردند. ویژگی کشسانی شش ها در بازدم نقش مهمی دارد.

نکاتی در مورد پرده جنب و ویژگی کشسانی شش ها

- پرده جنب: در اطراف هر یک از شش ها پرده ای دولایه از جنس بافت پیوندی متراکم به نام پرده جنب وجود دارد.
- (۱) لایه بیرونی پرده جنب به سطح درونی قفسه سینه و لایه درونی آن به سطح بیرونی شش چسبیده است.
- (۲) در فضای مابین دو لایه پرده جنب، مایع جنب با فشار کمتر از فشار جو وجود دارد.

- ۱۳) منشأ این مایع از **پلاسمای خون** است. بنابراین می‌توان گفت این مایع نوعی مایع بین سلولی است!
- ۱۴) این مایع به وسیله مویرک‌های واقع در این پرده **تراوش** و جمع‌آوری می‌شود. میزان خروجی از ورودی **بیشتر** است.
- ۱۵) به دلیل تفاوت در میزان خروجی و ورودی مایع جنب نوعی مکش یا فشار **منفی** در این فضا ایجاد می‌شود.
- ۱۶) این مکش باعث می‌شود که لایه درونی پرده جنب به همراه شش متصل به آن به سمت قفسه سینه حرکت کند.
- ۱۷) این امر در نهایت باعث می‌شود، حتی در هنگام بازدم عمیق هم شش جمع نشده و همواره **باز** یا **نیمه‌باز** باقی بماند.
- ویژگی کشسانی شش‌ها:** این ویژگی به خاطر وجود بافت پیوندی دارای رشته‌های **کشسان** فراوان در اطراف حبابک‌ها شکل گرفته است.

- ۱) این ویژگی سبب می‌شود شش‌ها و پرده جنب درونی تمایل داشته باشند از قفسه سینه پرده جنب بیرونی **دورتر** شوند.
- ۲) این رشته‌های کشسان باعث می‌شوند تا حبابک‌ها همانند یک بادکنک پر از باد تمایل به **فالی شدن** داشته باشند.
- ۳) در هنگام بازدم معمولی، این ویژگی کشسانی شش‌ها باعث **فروچ** هوای بازدمی یا همان هوای جاری از شش‌ها می‌شود.

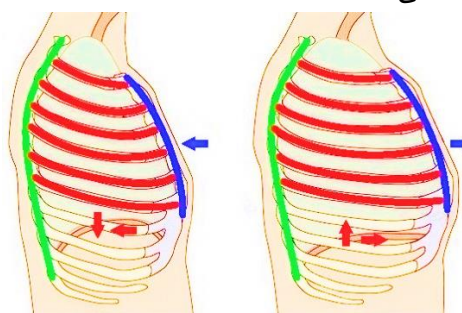


+ عمل دم: فرایندی است که در نتیجه **افزایش** حجم قفسه سینه و کاهش فشار هوای درون آن رخ می‌دهد. در این رویداد، **دو عامل** دخالت دارد. **اول**، ماهیچه اسکلتی **میان‌بند** (دیافراگم) که در حالت استراحت، **گنبدی شکل** است، اما وقتی منقبض می‌شود، به حالت **مسطح** در می‌آید. **دوم**، انقباض ماهیچه‌های اسکلتی **بین دنده‌ای خارجی** که **دنده‌ها** را به سمت **بالا** و **جلو** جابه‌جا می‌کند و **جناغ** را به **جلو** می‌راند (شکل ۱۳).

شکل ۱۳- افزایش و کاهش حجم قفسه سینه در دم و بازدم عادی

در تنفس آرام و طبیعی، میان‌بند **نقش اصلی** را بر عهده دارد. در **دم عمیق**، انقباض ماهیچه‌های اسکلتی ناحیه **گردن** نیز، به **افزایش** حجم قفسه سینه و کاهش فشار درون آن کمک می‌کند.

+ عمل بازدم: با به **استراحت** در آمدن ماهیچه **میان‌بند** و ماهیچه‌های **بین دنده‌ای خارجی**، و بر اثر ویژگی **کشسانی شش‌ها**، حجم قفسه سینه و در نتیجه، حجم شش‌ها **کاهش** و فشار هوای درون آنها **افزایش** می‌یابد و هوای درون آنها به بیرون **رانده** می‌شود. در **بازدم عمیق**، انقباض ماهیچه‌های اسکلتی **بین دنده‌ای داخلی** و نیز ماهیچه‌های اسکلتی **شکمی**، به **کاهش** حجم قفسه سینه کمک می‌کند.



با توجه به شکل روبه‌رو اگر فرض کنیم ستون مهره‌ها و جناغ سینه دو ضلع بزرگ یک **متوازی‌الاضلاع** و دنده‌های شماره یک و شماره شش هم اضلاع کوچک این متوازی‌الاضلاع باشند، در هنگام دم این متوازی‌الاضلاع به سمت **مستطیل** تغییر شکل می‌یابد. در حالی‌که به هنگام بازدم این متوازی‌الاضلاع **باریک‌تر** شده و به **حجم قفسه سینه کمتر** می‌شود.

نکاتی در مورد تهویه ششی یا عمل دم و بازدم

عمل دم: در این عمل قفسه سینه **بزرگ** می‌شود و اتفاقات زیر به ترتیب رخ می‌دهند:

- ۱) ابتدا ماهیچه **دیافراگم** از حالت گنبدی به حالت مسطح در می‌آید.
- + این ماهیچه در تنفس آرام و طبیعی بیشترین نقش را دارد!
- ۲) **همزمان** با انقباض دیافراگم، ماهیچه‌های **بین دنده‌ای خارجی** نیز به حالت انقباض در می‌آیند.

+ در ضمن انقباض ماهیچه‌های **بین دنده‌ای خارجی دو** اتفاق زیر می‌افتد:

x دنده‌ها به سمت **بالا** و **جلو** جابه‌جا می‌شوند.

x جناغ سینه به سمت **جلو** رانده می‌شود.

۳) در عمل دم این اتفاقات به **ترتیب** رخ می‌دهند:

+ ارسال پیام عصبی انقباض از بصل‌النوع به ماهیچه‌های دمی < انقباض ماهیچه‌های **بین دنده‌ای خارجی** < افزایش حجم قفسه سینه < دور شدن لایه بیرونی جنب از لایه درونی آن < افزایش فاصله دو لایه پرده جنب < کاهش شدید فشار مایع جنب < حرکت لایه درونی جنب و شش‌ها به سمت لایه بیرونی جنب < باز شدن بیشتر حبابک‌ها < کاهش فشار هوای درون حبابک‌ها < کشیده شدن هوا به درون شش‌ها

۴) در **دم عمیق** نیز مورد زیر به کمک عوامل فوق آمده تا حجم قفسه سینه **بیشتر** شود:

+ انقباض ماهیچه‌های اسکلتی ناحیه **گردن**. این عمل باعث بالا کشیدن بیشتر دنده‌ها و در نتیجه افزایش بیشتر حجم قفسه سینه می‌شود.

عمل بازدم: در این عمل قفسه سینه کوچک می‌شود و اتفاقات زیر به ترتیب رخ می‌دهند:

(۱) به **استراحت** در آمدن ماهیچه‌های دیافراگم و بین دنده‌ای خارجی

(۲) خاصیت کشسانی شش‌ها باعث جمع شدن آنها می‌شود.

(۳) در عمل بازدم این اتفاقات به ترتیب رخ می‌دهند:

+ استراحت ماهیچه‌های دمی = کاهش حجم قفسه سینه به دلیل **وزن قفسه سینه** = جمع شدن شش‌ها به خاطر خاصیت کشسانی آنها = دور شدن لایه

درونی جنب از لایه بیرونی آن = افزایش فاصله دو لایه پرده جنب = حرکت لایه بیرونی جنب و قفسه سینه به سمت لایه درونی جنب = افزایش فشار

مايع جنب = کوچک‌تر شدن بیشتر جابک‌ها = افزایش فشار هوای درون جابک‌ها = خارج شدن هوا از شش‌ها

(۴) در بازدم **عمیق** نیز موارد زیر به کمک عوامل فوق آمده تا حجم قفسه سینه کمتر شود:

+ انقباض ماهیچه‌های بین دنده‌ای **داخلی**

x دنده‌ها به سمت **پایین** و **عقب** جابه‌جا می‌شوند.

x جناغ سینه به سمت **عقب** رانده می‌شود.

+ انقباض ماهیچه‌های **شکمی**. این عمل باعث پایین کشیدن بیشتر دنده‌ها و در نتیجه کاهش بیشتر حجم قفسه سینه می‌شود.

فعالیت

تشریح شش گوسفند

۱- ویژگی ظاهری: شش به علت دارا بودن **کیسه‌های جابکی** فراوان، حالتی **اسفنج گونه** دارد. شش راست از شش چپ **بزرگ‌تر** است. شش **راست** از سه **قسمت** یا **لپ** (لوب) و شش چپ از **دو قسمت** تشکیل شده است. **بزرگ‌ترین لوب در شش چپ و کوچک‌ترین لوب در شش راست** قرار دارند.

۲- تشخیص شش راست و چپ: اگر در نمونه‌ای که تهیه کرده‌اید **مری** نیز وجود دارد، به محل قرارگیری آن توجه کنید. **نای در جلو و مری در پشت** قرار گرفته است و به این ترتیب می‌توانید سطح **جلویی** و **پشتی** نای و شش‌ها (و در نتیجه **راست و چپ** آنها) را نیز مشخص کنید.

مری را جدا کنید. برای تشخیص سطح **جلویی** و **پشتی** نای در حالتی که مری از آن جدا شده است، کافی است به یاد داشته باشید که غضروف‌های **نای C** **شکل** اند. این وضعیت باعث می‌شود که در نای، قسمت دهانه حرف C از سایر قسمت‌ها **نرم‌تر** باشد. با لمس کردن، این قسمت را پیدا کنید. این قسمت، محل اتصال نای به مری و بنابراین سطح **پشتی** نای است.

۳- بررسی ویژگی کشسانی شش‌ها: با یک تلمبه از نای به درون شش‌ها بدمید و قابلیت **کشسانی** شش‌ها را مشاهده کنید. در طول، برش دهید تا به نزدیکی شش‌ها برسید. با توجه به این که شش‌ها در **بیرون** از بدن هم خاصیت **کشسانی** دارند، بنابراین می‌توان گفت این ویژگی به پرده جنب ربطی ندارد!

۴- بررسی ساختارهای درونی: نای را از قسمت نرم آن (دهانه حرف C) در طول، برش دهید تا به نزدیکی شش‌ها برسید. در نای **گوسفند**، بر خلاف انسان، **قبل از دو نایژه اصلی**، یک **انشعاب سوم** هم مشاهده می‌شود که به شش **راست** می‌رود. مدخل این انشعاب و سپس نایژه‌های اصلی را مشاهده کنید. **مدخل آن در نای و قبل از مدخل نایژه‌های اصلی قرار گرفته است (شکل مقابل).** بنابراین **نای انسان** به **دو انشعاب ولی نای گوسفند** به **سه انشعاب** تقسیم می‌شود!

برش طولی نای را از مدخل نایژه اصلی ادامه دهید. دقت کنید که بریدن نایژه اصلی به سادگی نای نیست و این به علت ساختار غضروف‌های نایژه است که در **ابتدا** به صورت **حلقه کامل** و بعد به صورت **قطعه قطعه** است. در طول نایژه، مدخل‌های نایژه‌های بعدی قابل مشاهده است.

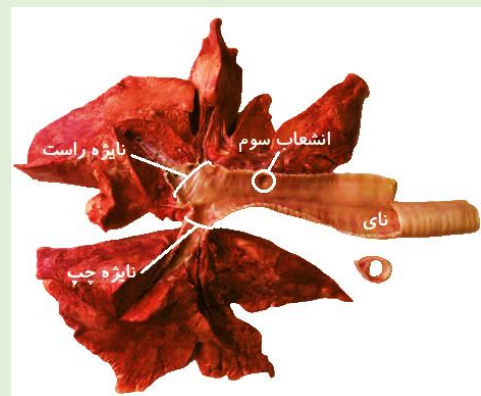
اگر تکه‌ای از شش را ببرید، در مقطع آن **سوراخ‌هایی** را مشاهده می‌کنید که به **سه گروه** قابل تقسیم‌اند. **نایژه‌ها، سرخرگ‌ها و سیاهرگ‌ها.**

(۱) **نایژه‌ها:** **لبه نایژه‌ها** به علت دارا بودن غضروف، **زبر** است و به این ترتیب از رگ‌ها قابل تشخیص است.

(۲) **سرخرگ‌ها:** **سرخرگ‌ها** دیواره **محکم‌تری** نسبت به سیاهرگ‌ها دارند و به همین علت، **برخلاف** سیاهرگ‌ها دهانه آنها حتی در نبود خون هم **باز** است.

(۳) **سیاهرگ‌ها:** دهانه **سیاهرگ‌ها** در نبود خون **بسته** است. بنابراین می‌توان گفت دهانه **سیاهرگ‌ها** **هواره بسته نیست!**

اگر تکه‌ای از شش را ببرید و در ظرفی پر از **آب** بیندازید خواهید دید که روی سطح آب **شناور** می‌ماند. چرا؟ به دلیل وجود **جایک‌های فراوان**



حجم‌های تنفسی

مقدار هوایی که به شش‌ها **وارد** یا از آن **خارج** می‌شود به چگونگی **دم و بازدم** ما بستگی دارد. بنابراین، **حجم‌های مختلفی** از هوا را می‌توان به شش وارد و یا از آن خارج کرد. حجم‌های تنفسی را با دستگاه **دم‌سنج (اسپیرومتر)** اندازه می‌گیرند. **نموداری** که دستگاه دم‌سنج از دم و بازدم‌های فرد رسم می‌کند، **دم‌نگاره (اسپیروگرام)** نامیده می‌شود (شکل ۱۴). **تحلیل** دم‌نگاره در تشخیص **درست بیماری‌های ششی** کاربرد دارد.

بهم‌های تنفسی: این بهم‌ها عبارتند از: بهم هوای جاری، بهم ذخیره دم، بهم ذخیره بازدمی، بهم هوای باقی‌مانده و بهم هوای مرده

بهم هوای جاری: به مقدار هوایی که در یک **دم عادی** وارد یا در یک **بازدم عادی** خارج می‌شود **حجم جاری** می‌گویند. حجم جاری حدود **۵۰۰ میلی‌لیتر** است و به طور **مستقیم** با دستگاه اسپرومتر اندازه‌گیری می‌شود. از حاصل ضرب حجم جاری در تعداد تنفس در دقیقه، **حجم تنفسی در دقیقه** به دست می‌آید.

مثال: اگر شخصی در دقیقه ۲۰ بار عمل دم و بازدم انجام دهد، حجم تنفسی او را محاسبه کنید. $1000 \times 20 = 20000$ میلی‌لیتر یا ۲۰ لیتر

اما می‌دانیم که با دم یا بازدم **عمیق** می‌توانیم مقدار **بیشتری** هوا را به شش‌ها **وارد** یا از آنها **خارج** کنیم.

بهم ذخیره دم: **حجم ذخیره دم**، به مقدار هوایی گفته می‌شود که می‌توان **پس از یک دم معمولی**، با یک **دم عمیق** به شش‌ها وارد کرد. مقدار این بهم حدود ۱۲۰۰ میلی‌لیتر است و به طور **غیر مستقیم** با دستگاه اسپرومتر اندازه‌گیری می‌شود. پس از یک دم عمیق ۶۰۰۰ میلی‌لیتر هوا در درون شش‌ها وجود دارد (یعنی برابر با کل ظرفیت تام یعنی هوای باقیمانده + هوای ذخیره بازدمی + هوای جاری + هوای ذخیره دم)!

بهم ذخیره بازدمی: **حجم ذخیره بازدمی**، به مقدار هوایی گفته می‌شود که می‌توان **پس از یک بازدم معمولی** با یک **بازدم عمیق** از شش‌ها خارج کرد. مقدار این بهم حدود ۱۲۰۰ میلی‌لیتر است و به طور **غیر مستقیم** با دستگاه اسپرومتر اندازه‌گیری می‌شود.

بهم باقی‌مانده: حتی بعد از یک بازدم عمیق، مقداری هوا در شش‌ها **باقی می‌ماند** و به دلیل **فشار منفی** یا مکش موجود در مایع جنب نمی‌توان آن را خارج کرد. این مقدار را **حجم باقی‌مانده** می‌نامند. مقدار این بهم حدود ۱۲۰۰ میلی‌لیتر است و به طور **غیر مستقیم** با دستگاه اسپرومتر اندازه‌گیری می‌شود. اگر پرده جنب دچار **جراثیم** شود شش‌ها به دلیل خاصیت کشسانی خود جمع شده و این هوا هم از شش‌ها **فارغ** می‌شود! حجم باقی‌مانده، به دو دلیل **اهمیت زیادی** دارد؛ دلیل اول (چون باعث می‌شود حبابک‌ها همیشه باز بمانند؛ دلیل دوم) همچنین **تبادل گازها** را در فاصله بین دو تنفس یعنی در پایان بازدم! ممکن می‌کند.

بهم هوای مرده: باید توجه کرد که بخشی از هوای **دمی** در **بخش هادی** دستگاه تنفس می‌ماند و به بخش مبادله‌ای نمی‌رسد. به این هوا که در حدود **۱۵۰ میلی‌لیتر** است، **هوای مرده** می‌گویند.

نکاتی در مورد بهم هوای مرده

۱) این بهم جزء هوای **جاری** است و به وسیله دستگاه اسپرومتر اندازه‌گیری نمی‌شود، بنابراین در اسپروگرام هم مشاهده نمی‌شود!

۲) این هوا بخشی از هوای جاری است که در مجاری تنفسی **مانده** و به بخش مبادله‌ای نمی‌رسد، بنابراین مقدار آن با بهم مجاری هادی رابطه **مستقیم** دارد.

۳) این بهم **آفرین** هوایی است که در یک دم معمولی یا عمیق وارد دستگاه تنفس شده و به هنگام بازدم نیز **اولین** هوایی است که خارج می‌شود.

۴) این بهم در یک دامنه زمانی برای یک فرد همواره **مقدار ثابتی** است و تغییر نمی‌کند.

مقدار حجم‌ها در فرد سالم، به **سن** و **جنسیت** او بستگی دارد.

ظرفیت‌های تنفسی

ظرفیت تنفسی، **مجموع دو یا چند حجم تنفسی** است. ظرفیت‌های تنفسی عبارتند از: ظرفیت **حیاتی** و ظرفیت **تام**

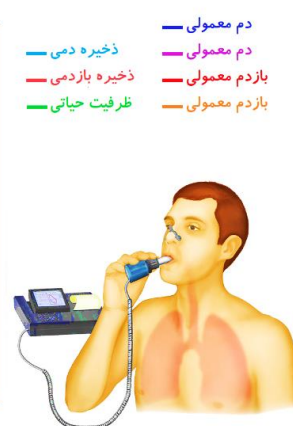
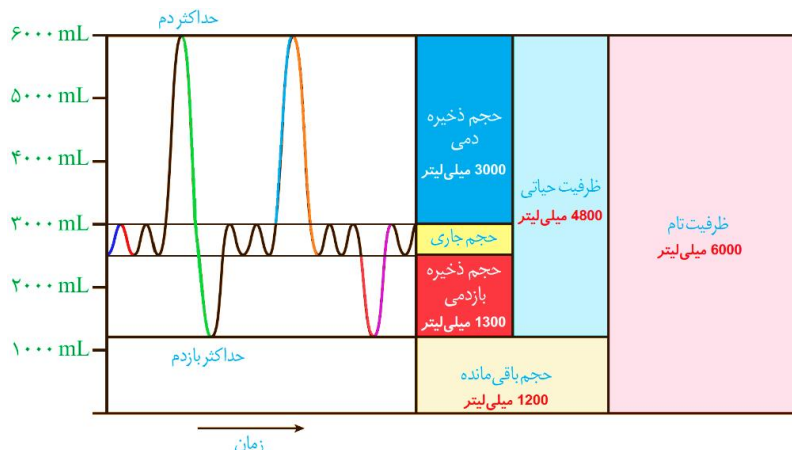
ظرفیت‌های تنفسی را به طور غیر مستقیم با دستگاه اسپرومتر اندازه‌گیری می‌کنند.

ظرفیت حیاتی: **ظرفیت حیاتی** مقدار هوایی است که پس از یک **دم عمیق** و با یک **بازدم عمیق** می‌توان از شش‌ها **خارج** کرد و برابر با مجموع حجم‌های جاری، ذخیره دم و ذخیره بازدمی است. مقدار این بهم حدود ۱۴۸۰ میلی‌لیتر است.

ظرفیت تام: **ظرفیت تام**، حداکثر مقدار هوایی است که شش‌ها می‌توانند در **خود جای دهند** و برابر است با مجموع ظرفیت **حیاتی** و **حجم باقی‌مانده**. مقدار این بهم حدود ۶۰۰۰ میلی‌لیتر است. همان‌طور که قبلاً گفته شد، پس از یک دم عمیق ۶۰۰۰ میلی‌لیتر هوا در درون شش‌ها وجود دارد!

شکل ۱۴. دم‌سج و دم‌نگاره

به هنگام کار کردن با این دستگاه تماماً می‌بایست بینی **بسته** باشد و دم و بازدم فقط از طریق دهان انجام می‌شود.



در منحنی اسپروگرام بالا **ده** بار عمل دم و **نه** بار عمل بازدم انجام شده است. **دو** بار دم عمیق و **دو** بار هم بازدم عمیق انجام شده است.

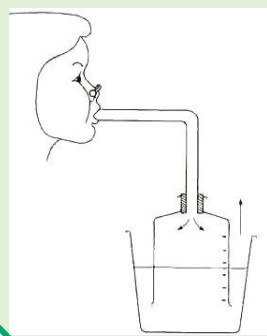
در این منحنی، بخش‌های **نارنجی** و **ارغوانی** به ترتیب دم و بازدم معمولی هستند نه دم و بازدم عمیق!

نکته جالب: همواره بهم دم و بازدم معمولی، ۵۰۰ میلی‌لیتر نیست.

۱۸۰۰ سی‌سی < دم معمولی < ۵۰۰ سی‌سی

۱۲۵۰ سی‌سی < بازدم معمولی < ۵۰۰ سی‌سی

ظرفیت شش‌های افراد مختلف مساوی نیست. با ساختن دستگاهی مانند شکل زیر، می‌توانید گنجایش شش‌های خود و هم کلاسی‌هایتان



را اندازه بگیرید. گنجایش ظرف وارونه، حداقل باید پنج لیتر باشد. در ابتدا، ظرف را از آب پر و سپس در تشت وارونه کنید.

ابتدا نفس بسیار عمیقی بکشید و بعد تا جایی که می‌توانید در لوله فوت کنید. هنگام فوت کردن بینی خود را بگیرید.

۱- آیا عددی که در اینجا نشان داده می‌شود، ظرفیت واقعی شش‌های شماست؟ نه، دلیل بیاورید. زیرا همیشه مقداری هوا در شش‌ها باقی می‌ماند.

۲- چگونه می‌توانید به کمک این دستگاه، مقدار هوای دم و بازدم خود را نیز اندازه بگیرید؟ درون لوله فوت می‌کنیم، مقدار هوای خارج شده معادل بازدم است. از آنجا که مقدار دم و بازدم در هوای جاری مساوی است، بنابراین عدد به دست آمده همان هوای دمی را هم نشان می‌دهد.

سایر اعمال دستگاه تنفس

تکلم: حنجره محل قرارگیری پرده‌های صوتی است. این پرده‌ها حاصل چین‌خوردگی مخاط به سمت داخل اند. به عبارت دیگر در ساقتمان آنها فقط بافت پوششی یا مخاط به کار رفته است! پرده‌های صوتی با استفاده از هوای بازدمی! صدا را تولید می‌کنند. شکل دهی به صدا و واژه‌سازی! به وسیله بخشی‌هایی مانند لب‌ها و دهان و تنی دندان‌ها! صورت می‌گیرد.

سرفه و عطسه: چنانچه ذرات خارجی یا گازهایی که ممکن است مضر یا نامطلوب باشند به مجاری تنفسی (فقط!) وارد شوند، باعث واکنش سرفه یا عطسه به وسیله بصل‌النفاس می‌شود؛ در این حالت هوای بازدمی با فشار از راه دهان (سرفه) یا بینی و دهان (عطسه) همراه با مواد خارجی به بیرون رانده می‌شود (شکل ۱۵). در افرادی که دخانیات مصرف می‌کنند، به علت از بین رفتن یاخته‌های مژک‌دار مخاط تنفسی، سرفه راه مؤثرتری برای بیرون راندن مواد خارجی است و به همین علت این گونه افراد به سرفه‌های مکرر مبتلا هستند.

+ در سرفه فقط می‌تواند مواد خارجی را از نایزک‌های مبادله‌ای، نایزک‌های انتهایی، نایزک‌ها، نایژه‌ها، نایژه‌های اصلی، نای و تنی طلق! خارج نماید.

+ در فرایند عطسه می‌تواند ذرات خارجی را علاوه بر مجاری فوق از فتره بینی هم به بیرون هدایت کند!

وضعیت زبان، زبان کوچک و اپی‌گلوت به هنگام سرفه، عطسه، بلع و استقراغ

وضعیت	زبان	زبان کوچک	اپی‌گلوت
سرفه	پایین - پسیبده به کف دهان	بالا	بالا
عطسه	پایین - پسیبده به کف دهان	پایین	بالا
بلع	بالا - پسیبده به سقف دهان	بالا	پایین
استقراغ	پایین - پسیبده به کف دهان	بالا	پایین



شکل ۱۵- عطسه یکی از سازوکارهای بیرون راندن مواد خارجی است.

تنظیم تنفس

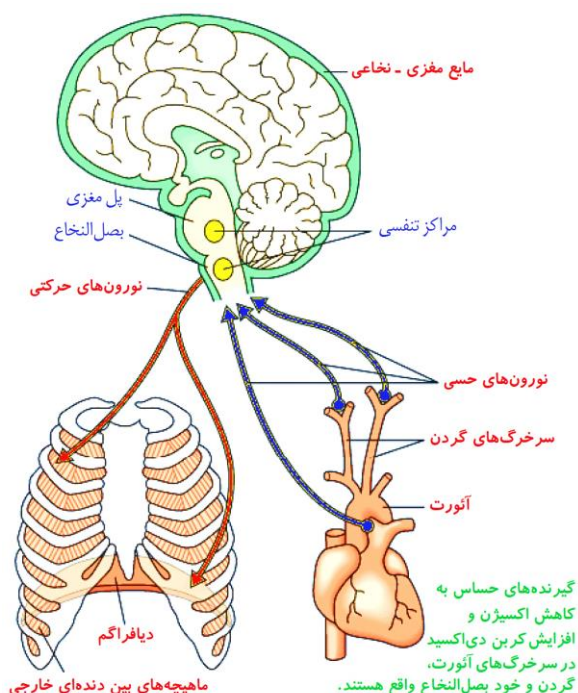
دم، با انقباض میان‌بند و ماهیچه‌های بین دنده‌ای خارجی آغاز می‌شود.

انقباض این ماهیچه‌ها با دستوری به صورت پیام حرکتی به وسیله اعصاب پیکری انجام می‌شود که از طرف مرکز تنفس در بصل‌النفاس صادر شده است (شکل ۱۶). با پایان یافتن دم، بازدم بدون نیاز به پیام عصبی، با بازگشت ماهیچه‌ها به حالت استراحت و نیز ویژگی کشسانی شش‌ها انجام می‌شود.

تنفس، مرکز دیگری هم دارد که در پل مغز، واقع است و به وسیله نورون‌های رابط با اثر بر مرکز اصلی تنفس در بصل‌النفاس، دم را خاتمه می‌دهد. در واقع مرکز تنفس در پل مغز با دریافت پیام حسی از شش‌ها می‌تواند مدت زمان دم را تنظیم کند.

افزایش کربن دی‌اکسید و کاهش اکسیژن خون به طور مستقیم یا غیر مستقیم نیز از عوامل مؤثر در تنظیم تنفس اند.

+ این دو فرایند نیز بر بصل‌النفاس اثر گذاشته و باعث تنظیم تنفس می‌شوند.



شکل ۱۶- مراکز عصبی تنفس: مرکز اصلی تنفس در بصل‌النفاس واقع شده است.

همان‌طور که در فصل قبل هم ذکر شد، انجام فعالیت‌های کوارشی و تنفسی با هم **هماهنگ** هستند. مثلاً هنگام بلع و عبور غذا از حلق، مرکز بلع در بصل‌النفاع، فعالیت مرکز اصلی تنفس واقع در بصل‌النفاع را که در نزدیک آن قرار دارد، **مهار** می‌کند، در نتیجه، نای به وسیله اپی‌گلوت بسته و تنفس برای زمانی کوتاه، **متوقف** می‌شود. بنابراین می‌توان گفت تنفس دارای **دو** مرکز است:

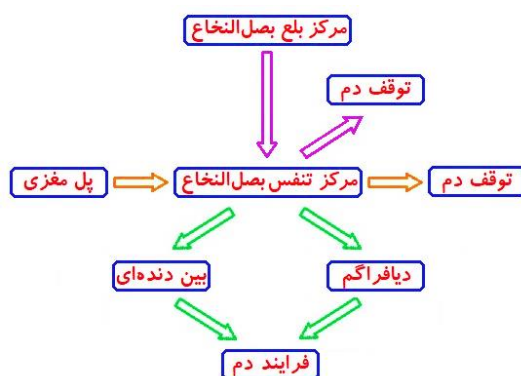
(۱) مرکز تنفس در بصل‌النفاع: یکی از این مراکز که در بصل‌النفاع واقع شده و مرکز **اصلی** تنفس است، **دو** کار انجام می‌دهد:

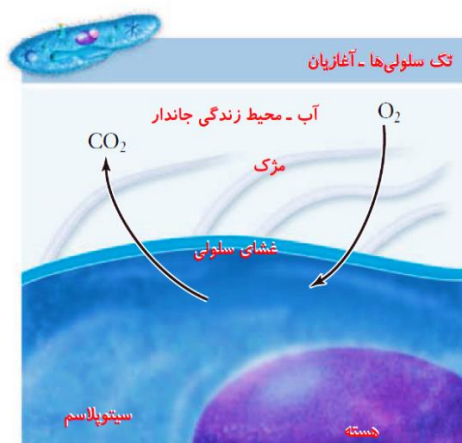
- + این مرکز با ارسال پیام‌های **مرکزی** به ماهیچه دیافراگم و بین دنده‌ای خارجی سبب انجام فرایند دم می‌شود (**مسیر سبز**).
- + همچنین این مرکز با دستور گرفتن از **مرکز بلع** واقع در بصل‌النفاع باعث **توقف** تنفس در زمان بلع می‌شود (**مسیر ارغوانی**).

(۲) مرکز تنفس در پل مغزی: مرکز **دیگر** تنفس در پل مغزی واقع شده است. این مرکز هم **دو** کار انجام می‌دهد:

- + ابتدا تحت تأثیر پیام‌های **حسی** آمده از ماهیچه‌های صاف دیواره نایژه‌ها و نایژک‌ها قرار گرفته و متوجه پر شدن شش‌ها می‌شود.
- + سپس به وسیله نورون‌های **رابط** با تأثیر بر روی بصل‌النفاع دم را **متوقف** و بنابراین مدت زمان دم را مشخص می‌کند (**مسیر قهوه‌ای**).

(۳) عمل دم **هم** در شروع و **هم** در پایان نیاز به پیام عصبی دارد اما عمل بازدم **بدون** نیاز به پیام عصبی و بر اثر **استراحت** ماهیچه‌های دمی و فاصیبت کشسانی شش‌ها اتفاق می‌افتد.





در تک‌یاخته‌ای‌ها (شکل ۱۷) و جانورانی مانند هیدر که همهٔ یاخته‌های بدن می‌توانند از طریق انتشار با محیط تبادلات گازی داشته باشند، ساختار ویژه‌ای برای تنفس وجود ندارد؛ اما در سایر جانوران، ساختارهای تنفسی ویژه‌ای مشاهده می‌شود که این ساختارها ارتباط یاخته‌های بدن را با محیط فراهم می‌کنند. در این جانوران، چهار روش اصلی برای تنفس مشاهده می‌شود که عبارتند از تنفس ناپیدیسی، تنفس پوستی، تنفس آبششی و تنفس ششی.

شکل ۱۷. تنفس از طریق انتشار در تک‌یاخته‌ای‌ها (پارامسی)

روش‌های تبادلات گازی در جانداران: جانداران دو نوع روش برای تبادلات گازی دارند: جاندارانی بدون ساختار ویژه تنفسی و جاندارانی دارای ساختار ویژه تنفسی

(۱) جاندارانی بدون ساختار ویژه تنفسی: در آغازیان جانور مانند از قبیل پارامسی که همگی تک سلولی هستند و جانوران ابتدایی نظیر اسفنج‌ها، مرجان‌ها (مانند هیدر)، کرم‌های پهن (مانند کرم کدو، پلاناریا و ...) هیچ گونه ساختار تنفسی ویژه به وجود نیامده است. در این جانداران سلول یا سلول‌های بدن به طور مستقیم یا غیر مستقیم با محیط بیرون در تماس بوده و تبادلات گازی از طریق انتشار ساده انجام می‌شود. بدیهی است این جانداران هم مانند بقیه جانداران برای تبادلات گازی به مایعی برای انتقال گازهای تنفسی نیاز دارند.

+ نکته مهم: در برخی از کرم‌های پهن مانند کرم کدو تنفس جلدی مشاهده می‌شود که با تنفس پوستی متفاوت است؛ در این جانوران پوست وجود ندارد! و سلول‌های لایه بیرونی، گازهای تنفسی را با انتشار مبادله می‌کنند. بدن پهن این امکان را در اختیار آنها گذاشته است تا سلول‌های درونی‌تر هم بتوانند تبادلات گازی را انجام دهند.

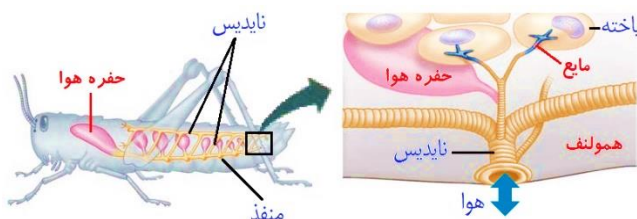
+ همان‌طور که می‌دانیم در مرجان‌ها مانند عروس دریایی و هیدر و کرم پهن پلاناریا، فتره گوارشی در تبادل گازها نیز نقش دارد. در فصل بعد می‌توانیم که در این جانوران فتره گوارشی در انتقال مواد هم نقش دارد به عبارت دیگر فتره گوارشی کار سه دستگاه گوارش، تنفس و گردش مواد را انجام می‌دهد!

(۲) جانورانی دارای ساختار ویژه تنفسی: در بقیه جانوران ساختار ویژه تنفسی به وجود آمده است. این ساختارها عبارتند از (۱) تنفس ناپیدیسی، (۲) تنفس پوستی، (۳) تنفس آبششی و (۴) تنفس ششی

تنفس ناپیدیسی

ناپیدیس‌ها، لوله‌های منشعب و مرتبط به هم هستند که از طریق منافذ تنفسی به خارج راه دارند (شکل ۱۸). منافذ تنفسی در ابتدای ناپیدیس قرار دارند. ناپیدیس به انشعابات کوچک‌تری تقسیم می‌شود.

انشعابات پایانی، که در کنار همهٔ یاخته‌های بدن قرار می‌گیرند، بن‌بست بوده و دارای مایعی است که تبادلات گازی را ممکن می‌کند؛ حشرات چنین تنفسی دارند. در این جانوران دستگاه گردش مواد، نقشی در انتقال گازهای تنفسی ندارد.



شکل ۱۸. تنفس ناپیدیسی

نکاتی در مورد تنفس ناپیدیسی

(۱) این روش در گروهی از بی‌مهرگان یعنی حشرات (پروانه، ملغ و ...) یافت می‌شود.

(۲) در این روش لوله‌های منشعب و متصل به هم به نام ناپیدیس وجود دارد.

(۳) فقط ناپیدیس‌های بزرگ‌تر به وسیله منافذی با بیرون بدن مشوره در تماس هستند.

(۴) از راه این منافذ گازهای تنفسی به درون بدن وارد یا از آن خارج می‌شوند.

(۵) منافذ تنفسی در منطقه شکم جانور به فراوانی یافت می‌شوند.

(۶) انتهای انشعابات انتهایی بن‌بست بوده و دارای مایعی برای تبادل گازهای تنفسی هستند.

۷) این انشعابات در کنار همه سلول‌های بدن مشته قرار می‌گیرند.

۸) بر اساس شکل هر سلول بدن مشته با سه انشعاب انتهایی در تماس است!

۹) این جانوران، برای انتقال گازهای تنفسی نیازی به دستگاه گردش مواد ندارند.

۱۰) می‌توان گفت در مایعات بدن مشرات یعنی در همولنف آنها گازهای تنفسی وجود ندارند!

۱۱) در مشرات، غشیه‌های پر از هوا و مرتبط با انشعابات کوچک‌تر ناپدید می‌شوند.

تنفس پوستی

پوست ساده‌ترین اندامی است، که در برخی از جانوران می‌تواند در امر تنفس نقش داشته باشد!

در تنفس پوستی شبکه مویرگی زیرپوستی با مویرگ‌های فراوان وجود دارد و گازها با محیط اطراف از طریق پوست مبادله می‌شوند. سطح پوست در جانورانی که تنفس پوستی دارند، مرطوب نگه داشته می‌شود. کرم خاک که از بی‌مهرگان است، فقط تنفس پوستی دارد. تنفس پوستی در دوزیستان که مهره‌دار هستند، نیز وجود دارد (شکل ۱۹) اما تنها روشن تنفسی نیست، چون تنفس ششی هم دارند. دوزیستان در نوزادی تنفس آبششی هم دارند.

شکل ۱۹- تنفس پوستی در قورباغه

نکاتی در مورد تنفس پوستی

- ۱) این روشن در بی‌مهرگان یعنی کرم خاک و مهره‌داران یعنی دوزیستان بالغ یافت می‌شود.
- ۲) در دوزیستان بالغ علاوه بر تنفس پوستی، تنفس ششی هم دیده می‌شود.
- ۳) نکته مهم این که در دوزیستان نوزاد فقط تنفس آبششی یافت می‌شود.
- ۴) در زیر پوست این جانوران مویرگ‌های ثونی فراوان وجود دارد.
- ۵) شبکه مویرگی زیر پوستی از یک طرف با سرخرگ‌های دارای ثون تیره و از یک طرف با سیاهرگ‌های دارای ثون روشن در ارتباط است.
- ۶) در قورباغه، سرخرگ‌های دارای ثون تیره از بطن آمده‌اند و سیاهرگ‌های دارای ثون نیز به دهلیز چپ بر می‌گردند.
- ۷) برای تبادل گازهای تنفسی، پوست در این جانوران همواره مرطوب است.

تنفس آبششی

ساده‌ترین آبشش‌ها، برجستگی‌های کوچک و پراکنده پوستی هستند، مانند آبشش‌های ستاره دریایی (شکل ۲۰). در سایر بی‌مهرگان، آبشش‌ها به نواحی خاص محدود می‌شوند. ماهیان نوزاد و بالغ و نوزاد دوزیستان نیز آبشش دارند (شکل ۲۱). تبادل گاز از طریق آبشش، بسیار کارآمد است. جهت حرکت خون در مویرگ‌ها، و جهت عبور آب در طرفین تیغه‌های آبششی، برخلاف یکدیگر است.

شکل ۲۰- ساده‌ترین آبشش در ستاره دریایی

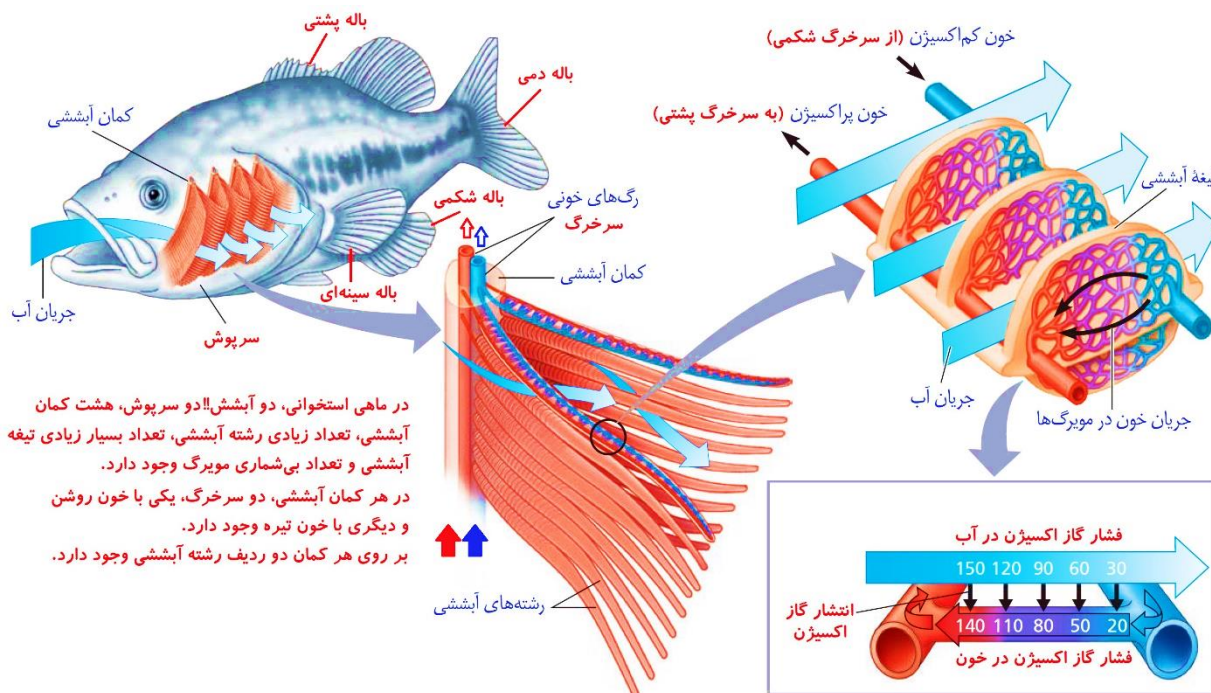
نکاتی در مورد تنفس آبششی

- ۱) این روشن در بی‌مهرگانی مانند ستاره دریایی و مهره‌دارانی مانند ماهیان نوزاد و بالغ و دوزیستان نوزاد یافت می‌شود.
- ۲) در بی‌مهرگان، آبشش‌ها یا در همه سطح پوست قرار دارند مانند ستاره دریایی یا محدود به نقاط خاصی از پوست می‌شوند مانند سفت پوستان.
- ۳) در مهره‌داران، آبشش‌ها همواره محدود به بخش‌هایی از بدن می‌شوند.
- ۴) در دوزیستان بالغ علاوه بر تنفس پوستی، تنفس ششی هم دیده می‌شود.
- ۵) در دوزیستان نوزاد فقط تنفس آبششی یافت می‌شود.
- ۶) در ستاره دریایی موارد زیر حائز اهمیت هستند:

+ به تعداد بی‌شمار آبشش وجود دارد! تبادل گازها فقط از طریق آبشش‌ها انجام شده و از بقیه بخش‌های پوست انجام نمی‌شود!

+ هر آبشش از دو لایه سلول پوششی مکعبی شکل! تشکیل شده است که بین آنها مایع بین سلولی و درون آن مایعات بدن وجود دارند.
+ در زیر پوست آن، برجستگی‌هایی وجود دارد که درون آنها مایعات بدن قرار دارند نه خون! این مایعات همان دستگاه گردش مواد هستند.
(۷) در ماهی‌های استخوانی موارد زیر حائز اهمیت هستند:

- + در دو طرف سر ماهی، دو سرپوش وجود دارد که در زیر هر کدام چهار کمان آبششی یافت می‌شود. بنابراین آبشش‌ها درونی هستند!
- + در کمان‌های آبششی فقط سرفرگ‌های منشعب از سرفرگ شکمی (آئورت) و سرفرگ‌های متصل به سرفرگ پشتی وجود دارند.
- + بر روی هر کمان آبششی دو ردیف رشته آبششی قرار می‌گیرند. به عبارت دیگر هر ماهی استخوانی دارای ۱۶ ردیف رشته آبششی دارد!
- + دو ردیف رشته واقع بر روی هر کمان آبششی به صورت غیر هم‌جهت قرار گرفته‌اند! جهت جریان آب ورودی به لایه‌ای رشته‌ها نیز مخالف است!
- + هر رشته آبششی از به دنبال هم قرار گرفتن تعداد زیادی تیغه آبششی غیر هم اندازه! تشکیل شده است.
- + علاوه بر تیغه‌ها در طول رشته‌های آبششی، انشعابات از سرفرگ‌های دارای خون تیره و روشن نیز مشاهده می‌شود.
- + در هر کمان سرفرگ‌های دارای خون تیره به رشته‌ها نزدیک‌تر هستند، در حالی‌که سرفرگ‌های دارای خون روشن به ناهای آبششی نزدیک‌ترند!
- + در طول هر رشته آبششی دو سرفرگ مشاهده می‌شود که همواره سرفرگ دارای خون تیره کوتاه‌تر از سرفرگ دارای خون روشن است.
- + تیغه‌های آبششی دور از کمان آبششی واقع در نوک رشته‌ها کوچک‌ترین تیغه‌ها هستند، بقیه تیغه‌ها کمابیش هم‌اندازه هستند.
- + در تیغه‌های آبششی فقط و فقط مویرگ‌ها وجود دارند. این مویرگ‌ها از هر دو طرف خود با سرفرگ در تماس هستند!
- + جهت جریان خون در سرفرگ‌های تیره و روشن موجود در هر کمان آبششی یکسان و به از پایین به بالا است.
- + جهت جریان آب و جریان خون موجود در مویرگ‌های موجود در تیغه‌های آبششی همواره موازی و در خلاف جهت همدیگر است.
- + جهت جریان آب و جریان خون موجود در سرفرگ‌های موجود در رشته‌های آبششی عمود بر همدیگر است.



شکل ۲۱. تنفس آبششی در ماهی. به تفاوت جهت حرکت آب و خون دقت کنید. آبشش در برقی از ماهیان آب شور در دفع یونها نیز نقش دارد.

تنفس ششی

حلزون از بی‌مهرگان خشکی‌زی است که برای تنفس، از شش استفاده می‌کند. شش در این جانور ساده بوده و قابل مقایسه با شش مهره‌داران نیست! در مهره‌داران شش‌دار سازوکارهایی برای تهویه ششی (تنفس کشیدن!) یعنی عمل دم و بازدم وجود دارد که باعث می‌شود جریان پیوسته‌ای از هوای تازه در مجاورت بخش مبادله‌ای برقرار شود. این سازوکارها به سازوکارهای تهویه‌ای شهرت دارند.
مهره‌داران دو نوع سازوکار متفاوت در تهویه دارند:
(۱) سازوکار پمپ فشار مثبت: مثلاً قورباغه به کمک ماهیچه‌های اسکلتی دهان و حلق، هوا را با حرکتی شبیه «قورت دادن» با فشار به شش‌ها می‌راند؛ به این سازوکار پمپ فشار مثبت می‌گویند (شکل ۲۲).
(۲) سازوکار پمپ فشار منفی: در انسان سازوکار فشار منفی وجود دارد که در آن، هوا به وسیله مکش حاصل از مایع جنب، فشار منفی قفسه سینه، به شش‌ها وارد می‌شود.

پرنندگان به علت **پروراز**، نسبت به سایر مهره‌داران **انرژی بیشتری مصرف می‌کنند** و بنابراین به اکسیژن بیشتری نیاز دارند. پرنندگان علاوه بر شش، دارای ساختارهایی به نام **کیسه‌های هوادار** هستند که **کارایی** تنفس آنها را نسبت به پستانداران افزایش می‌دهد (شکل ۲۳).

+ نکته مهم: در این کیسه‌ها تبادل گازها انجام نمی‌شود! در واقع کیسه‌های هوادار عقبی و جلویی به ترتیب با **ذخیره کردن** هوای دمی و بازدمی در غیر از زمان نفوذ باعث می‌شوند تا همواره جریان یک طرفه‌ای از هوای تازه در شش‌های لوله‌ای پرنده برقرار باشد.

نکاتی در مورد تنفس ششی

(۱) در این روش، دستگاه تنفس با حداقل **یک** یا حداکثر **دو** منفذ به بیرون راه دارد.

(۲) این روش در بی‌مهرگانی مانند **ملزون** و مهره‌دارانی مانند **دوزیستان**، **فردگان**، **پرنندگان** و **پستانداران** یافت می‌شود.

(۳) در مهره‌داران شش‌دار، **دو نوع** سازوکار تنفسی وجود دارد تا همواره جریان پیوسته‌ای از هوای تازه در مجاورت بخش مبادله‌ای برقرار شود.

+ **سازوکار پمپ فشار مثبت**: این روش در قورباغه (شکل رویه‌رو - ۱۲) دیده می‌شود. هوای دمی با حرکتی مانند بلعیده شدن از دهان وارد شش‌ها می‌شود. در این روش هوا به درون شش‌ها **رانده** می‌شود.

+ **سازوکار پمپ فشار منفی**: این روش در انسان و سایر پستانداران دیده می‌شود. در این نوع سازوکار، مکش حاصل از فشار منفی قفسه سینه که به خاطر پرده جنب و مایع درون آن به وجود آمده است، در این روش، هوا به درون شش‌ها **مکیده** می‌شود.

(۱۲) نکاتی در مورد دستگاه تنفس قورباغه

+ دم دارای دو مرحله است:

x ابتدا با باز نمودن بینی هوا وارد **غرفه دهانی** می‌شود.

x سپس با بسته نمودن بینی و انقباض ماهیچه‌های اسکلتی دهان و تعلق هوا از **غرفه دهانی** وارد **شش‌ها** می‌شود.

+ بدیهی است تعلق قورباغه به صورت یک **دو راهی** است و انقباض ماهیچه‌های آن مانع از ورود هوا به مری می‌شود.

+ گنجايش غرفه دهانی با گنجایش هر دو شش قورباغه تقریباً **برابر** است.

+ سه اندام به **غرفه دهانی** متصل هستند. یکی از آنها **مری** و دو اندام دیگر **شش‌ها** هستند.

+ در دستگاه تنفس قورباغه، نای و نایژه‌های اصلی دیده نمی‌شوند و شش‌ها به طور **مستقیم** با **غرفه دهانی** در ارتباط هستند!

(۱۵) نکاتی در مورد دستگاه تنفس پرنندگان

+ علاوه بر شش‌ها تعدادی **کیسه هوادار** با مجاری تنفسی و شش‌ها در ارتباط هستند.

+ کیسه‌های هوادار **نه عدد** هستند:

x کیسه‌های هوادار به جزء یکی از آنها که بین دو نیمه بدن **مشترک** هستند به صورت **زوج** دیده می‌شوند.

x کیسه‌های هوادار **عقبی** چهار عدد هستند و **بزرگ‌ترین** کیسه‌های هوادار را به خود اختصاص می‌دهند.

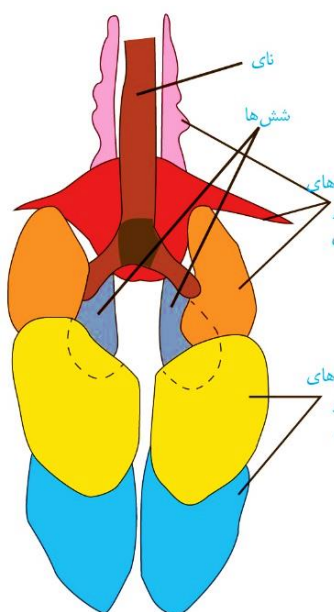
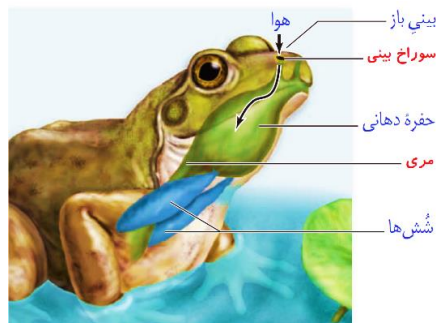
x کیسه‌های هوادار **جلویی** که پنج عدد بوده و کیسه‌های هوادار گردنی از بقیه گنجایش **کم‌تری** دارند.

x یکی از کیسه‌های هوادار جلویی بین دو نیمه بدن **مشترک** است (کیسه هوادار قرمز رنگ)!

+ تبادلات گازی فقط در درون شش‌ها انجام شده و کیسه‌های هوادار فاقد این توانایی هستند.

+ به طور معمول، گنجایش شش‌ها از گنجایش کیسه‌های هوادار **کم‌تر** است.

+ شش‌ها و تعدادی از کیسه‌های هوادار با نای و نایژه‌های اصلی در **ارتباط مستقیم** هستند.



شکل ۲۳. دستگاه تنفسی در پرنندگان