

## تبادلات گازی

### فصل ۳

☰ نفس کشیدن، یکی از ویژگی‌های آشکار در **بسیاری** از جانوران است.  
☰ در ذهن **بسیاری** از ما، نفس کشیدن به معنای زنده بودن است. برای تشخیص اینکه آیا فردی زنده است یا نه، **غالباً** نگاه می‌کنیم که آیا نفس می‌کشد یا خیر.

### گفتار ۱ ساز و کار دستگاه تنفس در انسان

#### چرا نفس می‌کشیم؟

☰ ارسطو معتقد بود نفس کشیدن باعث **خنک شدن** قلب می‌شود. او **نمی‌دانست** که هوا **مخلوطی از چند نوع** گاز است؛ بنابراین هوای دمی و بازدمی را از نظر ترکیب شیمیایی **یکسان** می‌دانست.  
☰ **درک اهمیت** فرایند تنفس زمانی **ممکن شد** که آدمی توانست **ارتباط** دستگاه تنفس و دستگاه گردش خون را بیابد.  
☞ میزان نیتروژن موجود در هوای دمی و بازدمی تقریباً **تفاوتی** ندارد.  
☞ تقسیم‌بندی خون به تیره و روشن **بر اساس** میزان  $O_2$  و  $CO_2$  موجود در آن انجام می‌شود؛ بنابراین تیره یا روشن بودن خون **نمی‌تواند** مبنای سنجش **میزان مواد مغذی** (گلوکز، آمینواسید و...) موجود در آن باشد.  
☰ انرژی مواد مغذی، **مانند** گلوکز **(نه فقط گلوکز)** باید ابتدا به انرژی ذخیره‌شده در ATP تبدیل شود.  
☞ واکنش صفحه بعد که تنفس یاخته‌ای نام دارد توجیه‌کننده این موضوع است که اگر **میزان** اکسیژن ( $O_2$ ) موجود در یاخته‌ها **کاهش**



یابد، تولید ATP در آن‌ها با **کاهش چشمگیری** مواجه می‌شود.

ATP + آب + کربن دی‌اکسید  $\rightarrow$  ADP و فسفات + اکسیژن + گلوکز

≡ **یکی از علل** زیان‌بار بودن کربن دی‌اکسید این است که می‌تواند با آب واکنش داده، کربنیک اسید تولید کند و pH را **کاهش** دهد.

≡ تغییر pH باعث تغییر ساختار پروتئین‌ها می‌شود که **می‌تواند** عملکرد پروتئین‌ها را مختل کند.

⊗ این‌گونه نیست که کاهش pH در عملکرد **همه** آنزیم‌های بدن اختلال ایجاد کند؛ برای مثال در فصل قبل گفته شد که **آنزیم‌های ترشح‌شده از یاخته‌های اصلی** غده‌های معده در **محیط اسیدی** (pH پایین) فعالیت می‌کنند.

≡ **بسیاری از (نه همه)** فرایندهای یاخته‌ای را پروتئین‌ها انجام می‌دهند؛ بنابراین از بین رفتن عملکرد آن‌ها، **اختلال گسترده‌ای** را در کار یاخته‌ها و بافت‌ها ایجاد می‌کند.

⊕ **افزایش** کربن دی‌اکسید **خطرناک‌تر** از **کاهش** اکسیژن است، اما نبود  $O_2$  **خطرناک‌تر** از افزایش  $CO_2$  است. (دوستان خب معلومه، نبود  $O_2$  خطرناک‌تره، چون به‌سرعت منجر به مرگ میشه. به تفاوت واژه‌های «نبود» و «کاهش» دقت کنین.)

### شکل فعالیت (صفحه ۳۵)



- ۱ **هنگام** دم از انتهای لوله موجود در محلول ظرف سمت چپ و هنگام بازدم از انتهای لوله موجود در ظرف سمت راست، حباب خارج می‌شود.
- ۲ تغییر رنگ معرف  $CO_2$  در **هر دو** ظرف صورت می‌گیرد، ولی ظرف سمت راست **زودتر** از ظرف سمت چپ تغییر رنگ می‌دهد؛ زیرا **بیشتر** هوا به محلول ظرف سمت راست وارد می‌شود.

### 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

⊕ نایژک‌های مبادله‌ای جزء بخش هادی به حساب نمی‌آیند.  
 ≡ با **پایان** یافتن پوست، مخاط مژک‌دار **آغاز** می‌شود که در **سراسر** مجاری هادی نیز ادامه پیدا می‌کند.  
 ⊕ مخاط دستگاه تنفسی **برخلاف** مخاط لوله گوارش یاخته‌های مژک‌دار دارد.

#### 🖼️ شکل ۲ (صفحه ۳۶)

- ۱ برخی از یاخته‌های لایه مخاط نای، مژک ندارند.
- ۲ حرکت ضربانی مژک‌های یاخته‌های مژک‌دار مخاط نای به سمت بالا (یعنی به سمت حلق) است.
- ۳ ضخامت ماده مخاطی پوشاننده سطح مجاری تنفسی در سراسر آن یکسان نیست.
- ۴ همه انواع یاخته‌های مخاط نای بر روی غشای پایه مستقرند.
- ۵ در بخش‌های هادی دستگاه تنفسی، گروهی از یاخته‌ها غیرپیوندی (یاخته‌های استوانه‌ای مژک‌دار دیواره نای) زوائدی (مژک‌هایی) به داخل ترشحات محتوی مواد ضد میکروبی (ماده مخاطی) می‌فرستند. (سراسری ۹۹)

≡ حلق، گذرگاهی ماهیچه‌ای است که **هم هوا** و **هم غذا** از آن عبور می‌کنند.



≡ **انتهای حلق** به **یک** دوراهی ختم می‌شود. در این دوراهی، حنجره در **جلو** و مری در **پشت** قرار دارد.

④ **هنگام بلع و استفراغ**، اپی‌گلوت به **سمت پایین**، ولی در فرایندهای **عطسه و سرفه**، اپی‌گلوت به **سمت بالا** حرکت می‌کند.

≡ در دیواره‌ی نای، دهانه‌ی غضروف (دهانه‌ی حرف C) به سمت مری قرار دارد در نتیجه، حرکت لقمه‌های بزرگ غذا در **مری** با مانعی روبه‌رو نمی‌شود.

≡ نای در **انتهای** خود به **دو** شاخه تقسیم می‌شود و نایژه‌های **اصلی** را پدید می‌آورد.

④ محل **دو** شاخه شدن نای در **پشت** استخوان **جناغ** واقع است. ≡ **هر** نایژه اصلی به **یک** شش وارد شده، در **آنجا** به نایژه‌های باریک‌تر تقسیم می‌شود.

④ در نای گوسفند **برخلاف** انسان **قبل** از **دو** نایژه اصلی **یک** **انشعاب سوم** هم مشاهده می‌شود که جداگانه به شش **راست** می‌رود.

④ انشعابی از نایژه‌ها که **بافت غضروفی** ندارد، نایژک نامیده می‌شود.

≡ **آخرین** انشعاب نایژک در **بخش هادی** (نه در کل دستگاه تنفس)، نایژک انتهایی نام دارد.

### شکل ۵ (صفحه ۳۶)



۱ دیواره‌ی نای **همانند** دیواره‌ی لوله گوارش از **چهار** لایه تشکیل شده است.

۲ **ضخیم‌ترین** لایه دیواره‌ی نای، لایه **غضروفی ماهیچه‌ای** است.

۳ غدد ترشحاتی نای در زیر مخاط قرار دارند.

۴ **فراوان‌ترین** یاخته‌ها در مخاط نای از نوع استوانه‌ای مژک‌دار هستند.

#### ◀ بخش مبادله‌ای

- ≡ نایژکی را که **روی** آن حبابک وجود دارد، نایژک مبادله‌ای می‌نامیم.
- ≡ نایژک مبادله‌ای در **انتهای** خود به ساختاری **شبییه** به خوشه‌انگور ختم می‌شود که از **اجتماع** حبابک‌ها پدید آمده است. **هر یک** از این خوشه‌ها را یک کیسه‌ حبابکی می‌نامند.
- ≡ مخاط مژک‌دار در طول نایژک مبادله‌ای به پایان می‌رسد (پس در نایژک مبادله‌ای هم مخاط مژک‌دار وجود دارد).
- ⊕ در انسان حبابک‌ها و نایژک‌ها فاقد حلقه‌های غضروفی هستند.

#### شکل ۷ (صفحه ۳۷)

- ۱ **هرچه** از بخش‌های **ابتدایی** نایژک مبادله‌ای در طول آن پیش برویم، تعداد **حبابک‌ها بیشتر** می‌شود.
- ۲ حبابک‌ها ممکن است در کیسه‌های حبابکی قرار نداشته باشند.
- ۳ **هر** نایژک انتهایی، به **دو یا چند** نایژک مبادله‌ای منشعب می‌شود.
- ۴ حبابک‌ها اندازه‌های متفاوتی دارند.

≡ در حبابک‌ها، **گروهی** از یاخته‌های دستگاه ایمنی به نام **درشت‌خوار** مستقر هستند؛ این یاخته‌ها دارای ویژگی **بیگانه‌خواری** و **توانایی حرکت‌اند**.

≡ هنگام نفس کشیدن، حجم کیسه‌های حبابکی تغییر می‌کند.  
 ≡ لایه نازکی از آب، سطحی از حبابک را که در تماس با هواست پوشانده است؛ بنابراین حبابک به علت وجود نیروی کشش سطحی، در برابر باز شدن مقاومت می‌کند.



☰ ماده‌ای به نام عامل سطح فعال (سورفاکتانت) که از **بعضی از** **یاخته‌های حبابک‌ها** ترشح می‌شود، با **کاهش** نیروی کشش سطحی، باز شدن حبابک‌ها را آسان می‌کند.

☞ عامل سطح فعال **در سطحی از حبابک‌ها که مجاور هوا است**، ترشح می‌شود.

☞ در انسان بافت پوششی حبابک‌ها و گلومرول (کلافاک) در هر گردیزه از نوع سنگفرشی تک‌لایه است.

### 🖼️ شکل ۱۱ (صفحه ۴۴)

۱ **در جاهایی که** بافت پوششی حبابک و مویرگ **هر دو از یک** غشای پایه **مشترک** استفاده می‌کنند، مسافت انتشار گازها به **حداقل ممکن** رسیده است.

۲ در **هر** حبابک، یاخته‌های سنگفرشی **تک‌لایه**، **بیشترین** تعداد را داشته که این یاخته‌ها اندازه **بزرگ‌تری** نسبت به یاخته‌های ترشح‌کننده سورفاکتانت دارند.

۳ در سطح یاخته‌های نوع دوم زوائد ریزی یافت می‌شود.

(سراسری ۱۴۰۱)

۴ یاخته‌های نوع اول و نوع دوم با یاخته‌های مویرگ‌ها، غشای پایه **مشترک** دارند.

(سراسری ۱۴۰۱)

### حمل گازها در خون

☞ **هر** رشته پلی‌پپتیدی هموگلوبین به **یک گروه** غیر پروتئینی به نام «هم» متصل است.

≡ پیوستن یا گسستن کربن دی‌اکسید به هموگلوبین **همانند** اکسیژن **تابع غلظت** آن است.

⊕ با فرض اینکه به انسان مهارکننده کربنیک انیدراز تزریق شود، یون بیکربنات خون کاهش می‌یابد.

≡ کربن مونوکسید مولکول دیگری است که می‌تواند به هموگلوبین متصل شود. با این تفاوت که وقتی متصل شد، به آسانی جدا نمی‌شود.

≡ بیشترین مقدار حمل اکسیژن در خون به وسیله هموگلوبین انجام می‌شود؛ اما هموگلوبین در ارتباط با حمل کربن دی‌اکسید نقش کم‌تری دارد.

≡ بیشترین مقدار کربن دی‌اکسید به صورت یون بیکربنات در خون حمل می‌شود.

≡ کربنیک انیدراز به سرعت کربنیک اسید را به یون بیکربنات و هیدروژن تجزیه می‌کند.

## گفتار ۲ تهویه ششی

### شش‌ها

≡ شش‌ها **درون** قفسه سینه و **روی** پرده **ماهیچه‌ای** میان‌بند قرار دارند.

≡ **بیشتر** حجم شش‌ها را کیسه‌های حبابکی به خود اختصاص داده‌اند و **ساختاری اسفنج‌گونه** را به شش می‌دهند.

≡ **هر یک** از شش‌ها را پرده‌ای **دولایه** به نام پرده جنب فراگرفته است.



- ☰ در تنفس آرام و طبیعی، میان‌بند نقش اصلی را بر عهده دارد.
- ⊕ بازدم برخلاف دم، فرایندی غیرفعال است.
- ⊕ فقط در بازدم عمیق، ماهیچه‌های بین دنده‌ای داخلی و ماهیچه‌های شکمی منقبض می‌شوند.

### 🖼️ شکل ۱۲ (صفحه ۴۰)

- ۱ شش چپ به علت مجاورت با قلب، از شش راست قدری کوچک‌تر است.
- ۲ به علت وجود کبد در سمت راست بدن، هنگام دم نیمه چپ دیافراگم پایین‌تر از نیمه راست آن قرار می‌گیرد. (سراسری ۹۹)
- ۳ تعداد لوب‌های شش راست بیش از تعداد لوب‌های شش چپ است؛ شش راست ۳ لوب و شش چپ ۲ لوب دارد. (سراسری ۹۹)

☰ شش‌ها دو ویژگی مهم دارند:

- ۱ هنگامی که حجم قفسه سینه افزایش می‌یابد، شش‌ها باز می‌شوند؛ در نتیجه فشار هوای درون شش‌ها کم شده و هوای بیرون به درون شش‌ها کشیده می‌شود.
- ۲ ویژگی کشسانی شش‌ها در بازدم نقش مهمی دارد که به علت این ویژگی شش‌ها در برابر کشیده شدن مقاومت نشان می‌دهند و تمایل دارند به وضعیت اولیه خود برگردند.

### 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.



### ظرفیت‌های تنفسی

≡ ظرفیت تنفسی، مجموع **دو یا چند** حجم تنفسی است.  
≡ ظرفیت حیاتی، مقدار هوایی است **در حدود ۴۸۰۰ میلی‌لیتر** که پس از یک دم عمیق و با یک بازدم عمیق می‌توان از شش‌ها خارج کرد و برابر با **مجموع** حجم‌های **جاری**، ذخیرهٔ **دمی** و ذخیرهٔ **بازدمی** است.  
≡ ظرفیت تام، **حداکثر** مقدار هوایی است که شش‌ها می‌توانند در خود جای دهند (**حدود ۶۰۰۰ میلی‌لیتر**) و برابر است با **مجموع** ظرفیت حیاتی و حجم باقی‌مانده.

### سایر اعمال دستگاه تنفس

#### ◀ تکلم

⊕ پرده‌های صوتی را هوای بازدمی به ارتعاش درمی‌آورد؛ بنابراین چون **در هنگام تکلم بازدم** صورت می‌گیرد، می‌توان دریافت که در هنگام تکلم، **برچاکنای به سمت بالا** است.

#### ◀ سرفه و عطسه

≡ چنانچه ذرات خارجی یا گازهایی که **ممکن است مضر** یا **نامطلوب** باشند، به مجاری تنفسی وارد شوند، باعث واکنش سرفه یا عطسه می‌شوند.

### تنظیم تنفس

≡ **دم**، با انقباض میان‌بند و ماهیچه‌های بین‌دنده‌ای خارجی **آغاز** می‌شود.

⊕ تنفس، **دو** مرکز عصبی دارد که **هر دو** در ساقهٔ مغز قرار دارند؛ یکی در **پل مغزی** و دیگری در **بصل‌النخاع**.



☞ به **غیر** از پیامی که از مرکز تنفسی در پل مغزی به بصل‌النخاع صادر می‌شود، عامل دیگری نیز در **پایان دم مؤثر** است و آن، پیامی است که از شش‌ها ارسال می‌شود.

☞ افزایش کربن دی‌اکسید نسبت به کاهش اکسیژن عامل **مهم‌تر و تأثیرگذارتری** در تنظیم تنفس است.

### گفتار ۳ تنوع تبادلات گازی

☞ در تک‌یاخته‌ای‌ها (مانند پارامسی) و جانورانی مانند هیدر که همهٔ یاخته‌های بدن می‌توانند با محیط تبادلات گازی داشته باشند، ساختار ویژه‌ای برای تنفس وجود ندارد؛ اما در سایر جانوران، ساختارهای تنفسی ویژه‌ای مشاهده می‌شود که ارتباط یاخته‌های بدن را با محیط فراهم می‌کنند.

#### تنفس نایدیسی

☞ نایدیس‌ها، لوله‌های منشعب و مرتبط به هم هستند که از طریق منافذ تنفسی به خارج راه دارند.

☞ منافذ تنفسی در **ابتدای** نایدیس قرار دارند.

☞ انشعابات پایانی، که در کنار همهٔ یاخته‌های بدن قرار می‌گیرند، بن‌بست بوده و دارای مایعی است که تبادلات گازی را ممکن می‌کند.

☞ در **هر** جانوری که تنفس نایدیسی دارد، **دستگاه گردش مواد** در انتقال گازهای تنفسی نقشی **ندارد**.

☞ در **هر** جانوری که تنفس نایدیسی دارد، **خون تیره و روشن معنا و مفهومی ندارد؛** به عبارت دیگر **ناقل پروتئینی** (هموگلوبین) در انتقال گازهای تنفسی نقشی ندارد.

هر جانوری که **تنفس نایدیسی** داشته، دستگاه گردش خون باز دارد (پس مویرگ ندارد).

**یادآوری:** دوستان عزیز در اینجا یادی هم از دوره اول دبیرستان (سال نهم) می‌کنیم که بی‌نصیب از این قسمت رد نشوید.

- حتماً در علوم سال نهم خوانده‌اید که بندپایان به چهار گروه (حشرات، سخت‌پوستان، هزارپایان و عنکبوتیان) تقسیم‌بندی می‌شوند و اگر کمی به ذهنتان فشار بیاورید یادتان می‌آید که صدپایان جزء گروه هزارپایان بودند.
- در علوم نهم، درباره حشرات خوانده‌اید که سوراخ‌های تنفسی در سطح پایینی شکم آنها وجود دارند.
- فراوان‌ترین گروه بندپایان، حشرات هستند.

**هرچه** از سطح بدن (محل منفذ نایدیس) در **طول** نایدیس‌ها پیش برویم از **قطر** نایدیس‌ها **کاسته** شده و به انشعابات **کوچک‌تری** تقسیم می‌شوند.

### تنفس پوستی

در تنفس پوستی شبکه مویرگی **زیرپوستی** با مویرگ‌های **فراوان** وجود دارد و گازها را با محیط اطراف از طریق پوست مبادله می‌شوند.

در **بی‌مه‌رگانی** که تنفس پوستی دارند، این روش **تنها** روش تنفس است؛ ولی در مه‌ره‌داران شش‌دار که تنفس پوستی دارند، این روش **عامل کمک‌کننده** به تبادلات گازی است و **نقش اصلی** در تبادل گازها بر عهده **شش‌هاست**.



≡ سطح پوست در جانورانی که تنفس پوستی دارند، مرطوب نگه داشته می‌شود.

≡ تنفس پوستی در دوزیستان و کرم خاکی وجود دارد.

### تنفس آبششی

⊕ تنفس آبششی **هم** در بی‌مهرگان و **هم** در مهره‌داران قابل مشاهده است.

≡ ماهیان و نوزاد دوزیستان، آبشش دارند.

⊕ انواع آبشش:

≡ ساده‌ترین آبشش‌ها، برجستگی‌های **کوچک** و **پراکنده پوستی** هستند؛ مانند **آبشش‌های ستاره دریایی**.

⊕ آبشش ستاره دریایی **فاقد خار، کمان** و **رشته‌های** آبششی است.

⊕ **جهت** حرکت خون در مویرگ‌ها و عبور آب در **طرفین** تیغه‌های آبششی، **برخلاف** یکدیگر است. به عبارت دیگر **۱۸۰ درجه** با یکدیگر **اختلاف** دارند و این **اختلاف** جهت حرکت، سبب **افزایش** تبادلات گازی میان خون و آب می‌شود.

⊕ **بسیاری** از جانوران آبزی (نه **همه آن‌ها**) با آبشش تنفس می‌کنند. **وال‌ها** و **دلفین‌ها** از پستانداران محسوب می‌شوند و **شش دارند**.

### شکل ۲۱ (صفحه ۴۶)



۱ به **هر** کمان آبششی **یک** سرخرگ ورودی با **خون تیره** وارد و **یک** سرخرگ خروجی با **خون روشن** خارج می‌شود.

۲ هر رشته آبششی شامل چندین تیغه آبششی است و درون هر تیغه آبششی، یک شبکه مویرگی خونی وجود دارد.

### تنفس ششی

≡ حلزون از **بی مهرگان خشکی‌زی** است که برای تنفس، از شش استفاده می‌کنند.

≡ در مهره‌داران شش‌دار ساز و کارهایی وجود دارد که باعث می‌شود جریان **پیوسته‌ای** از هوای تازه در **مجاورت بخش مبادله‌ای** برقرار شود که به سازوکارهای تهویه‌ای شهرت دارند.

≡ مهره‌داران دو نوع سازوکار متفاوت در تهویه دارند:

۱ پمپ فشار مثبت

۲ مکش فشار منفی

≡ **قورباغه** با پمپ فشار مثبت، هوا را به شش‌ها هدایت می‌کنند.

### شکل ۲۲ (صفحه ۴۶)

۱ در **انتهای** فرایند بازدم و در **ابتدای** فرایند دم، شش‌ها تقریباً خالی از هوا هستند.

۲ در **ابتدای** فرایند دم، بینی باز است و هوا به **درون** حفره دهانی وارد می‌شود.

۳ **پس از** پر شدن حفره دهانی از هوا، بینی **بسته شده**، سپس ماهیچه‌های دهان و حلق با **انقباض** خود، هوا را با **فشار** به شش‌ها وارد می‌کنند.

≡ در انسان، سازوکار **فشار منفی** وجود دارد که در آن، هوا به وسیله **مکش** حاصل از فشار **منفی**، به شش‌ها وارد می‌شود.

≡ **پرندهگان** به علت **پرواز**، نسبت به سایر **مهره‌داران** انرژی بیشتری مصرف می‌کنند و بنابراین به اکسیژن **بیشتری** نیاز دارند.



پرنده‌گان علاوه بر شش ساختارهایی به نام کیسه‌های هوادار دارند که کارایی تنفس آن‌ها را نسبت به پستانداران افزایش می‌دهد.

### شکل ۲۳ (صفحه ۴۶)

در پرنده‌گان ۹ عدد، کیسه‌ه هوادار وجود دارد (۴ کیسه‌ه هوادار عقبی و ۵ کیسه‌ه هوادار جلویی).

- هر یک از دو انشعاب نای به یکی از شش‌ها وارد می‌شود.
- ۲ عدد از کیسه‌های هوای جلویی در طرفین نای قرار گرفته‌اند. (سراسری ۱۴۰۱)
- یکی از کیسه‌های هوایی جلویی در محل دوشاخه شدن نای قرار دارد. این کیسه بین دو شش مشترک است. (سراسری ۱۴۰۱)