



فصل ۵

تنظیم اسمزی و دفع مواد زائد

شکل بالا تعدادی پودوسیت (قرمز رنگ) را نشان می‌دهد که در اطراف مویرگ‌های شبکه اول مویرگی یا کلافک یا **کلوامروال** (آبی رنگ) پنبه زده‌اند! این تصویر به وسیله نوعی میکروسکوپ الکترونی به نام نگاره (SEM) تهیه شده و رنگ‌ها غیر واقعی هستند.

گرچه ما انسان‌ها در **خشکی** زندگی می‌کنیم اما یاخته‌های ما با **محیط مایع** یا همان **مایع بین سلولی** در ارتباط‌اند. آنچه دربارهٔ این محیط مایع حائز اهمیت است، **مشابه بودن** غلظت آن با غلظت **درون** یاخته‌ها یا به عبارت دقیق‌تر مشابه بودن **فشار اسمزی** آنهاست. یعنی **سلول‌های بدن** ما در یک محیط **هم‌فشار** قرار گرفته‌اند! اگر غلظت مایع اطراف یاخته‌ها رقیق‌تر یا غلیظ‌تر از یاخته‌ها باشد، **تهدیدی جدی** برای ادامهٔ حیات ما خواهد بود؛ چون ممکن است به **ورود** بیش از حد آب به یاخته یا **خروج** آب از آن منجر شود. بدن ما چگونه فشار اسمزی مایع اطراف یاخته‌ها را **تنظیم** می‌کند؟ با **استفاده** از پروتئین‌ها و یون‌ها چگونه ترکیب شیمیایی آن را **ثابت** نگه می‌دارد؟ به وسیله **دستگاه دفع مواد زائد** یا همان **دستگاه ادراری**. آیا روش‌هایی که بدن انسان به کار می‌گیرد، در **سایر جانوران** هم دیده می‌شوند؟ بله کمابیش دیده می‌شوند. **ادرار** چگونه تشکیل می‌شود؟ با **انجام سه مرحله** به نام‌های **تراوش**، **بازیدب** و **ترشح** به وسیله **نفرون‌های** موجود در کلیه‌ها از **پلاسمای خون** منشأ می‌گیرد. ترکیب شیمیایی ادرار چه اطلاعاتی را دربارهٔ **وضعیت درونی** بدن فراهم می‌کند؟ اگر **درون** آن مواد زائد کمی وجود داشته باشد و یا برعکس در **درون** آن مواد مورد نیاز سلول‌های بدن وجود داشته باشد یعنی وضعیت درونی بدن دچار **اختلال** و مشکل شده است. اینها نمونه پرسش‌هایی است که پاسخ آنها را در این فصل خواهیم یافت.

اگر در یک روز گرم تابستانی ورزش کنید، عرق می‌کنید و احتمالاً متوجه خواهید شد که از مقدار ادرار شما کاسته خواهد شد. می‌دانید چرا؟ عرق کردن به منظور خنک شدن بدن انجام می‌گیرد. هورمون ضد ادراری که از هیپوفیز پسین ترشح می‌شود با تأثیر بر روی کلیه و افزایش بازپذب آب، باعث ماندن بیشتر آب در بدن می‌شود. چون بدن شما در نتیجه عرق کردن، آب از دست می‌دهد و بنابراین مقدار ادرار را کاهش می‌دهد تا آب از دست رفته را جبران کند.

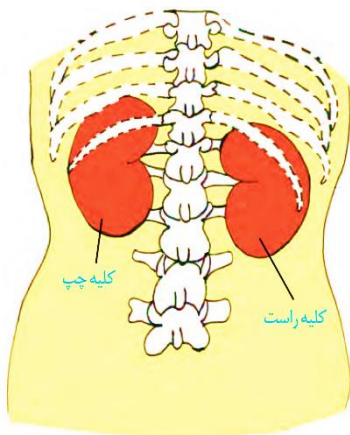
کمبود آب، اکسیژن و مواد مغذی یا انباشته شدن مواد دفعی یاخته‌ها مثل کربن دی‌اکسید و مواد دفعی نیتروژن‌دار از جمله مواردی‌اند که ادامه حیات را تهدید می‌کنند. حفظ وضعیت درونی بدن در محدوده‌ای ثابت (هم ایستایی)، برای تداوم حیات، ضرورت دارد. همان‌طور که می‌دانیم یکی از ویژگی‌های مهم حیات، حفظ حالت پایدار بدن در یک محدوده ثابت یا همان همئوستازی یا هم ایستایی است.

اگر وضعیت درونی بدن از تعادل خارج شود، بعضی مواد، بیش از حد لازم یا کمتر از حد لازم به یاخته‌ها می‌رسند. بسیاری از بیماری‌ها در نتیجه بر هم خوردن هم ایستایی پدید می‌آیند.

کلیه‌ها کارهای مختلفی انجام می‌دهند: (۱) در هم ایستایی نقش اساسی دارند. (۲) حفظ تعادل آب، (۳) حفظ تعادل اسید - باز، (۴) حفظ تعادل یون‌ها و نیز (۵) دفع مواد سمی و (۶) دفع مواد زائد نیتروژن‌دار، از جمله وظایف کلیه‌اند. مواد زائد و مواد سمی یکسان نیستند! برخی مواد زائد، سمی نیستند!

کلیه‌ها

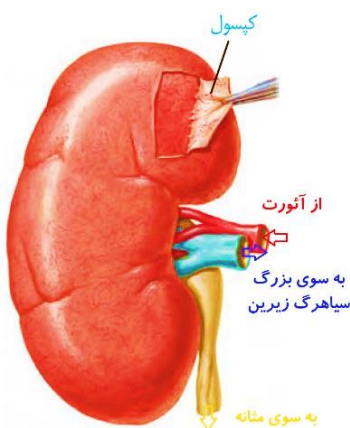
ساختار بیرونی کلیه و حفاظت از آن: کلیه‌ها، اندام‌هایی لوبیایی شکل‌اند و به تعداد دو عدد در طرفین ستون مهره‌ها و پشت محوطه شکمی قرار دارند. اندازه کلیه در فرد بالغ، تقریباً به اندازه مشت بسته اوست. به علت موقعیت قرارگیری و شکل کبد، کلیه راست قدری پایین‌تر از کلیه چپ واقع شده است (شکل ۱). روی هر کلیه یک غده به نام غده فوق کلیه وجود دارد که یکی از هورمون‌های بخش قشری آن به نام آلدوسترون در تنظیم کار کلیه نقش دارد.



شکل ۱- موقعیت کلیه‌ها در انسان از نمای پشت

کلیه چپ به وسیله دو دنده آزاد و کلیه راست فقط به وسیله یک دنده آزاد محافظت می‌شود.

دنده‌ها از بخش بالایی کلیه محافظت می‌کنند. علاوه بر این، پرده‌ای از جنس بافت پیوندی به نام کپسول کلیه، هر یک از کلیه‌ها را در بر گرفته است (شکل ۲). به عبارت دیگر هر کدام از کلیه‌ها یک کپسول مخصوص به خود دارد. چربی اطراف کلیه، علاوه بر این که کلیه را از ضربه محافظت می‌کند در حفظ موقعیت کلیه نقش مهمی دارد. بنابراین می‌توان گفت کلیه‌ها هر چند در محوطه شکمی قرار دارند اما به پرده صفاق متصل نیستند! تحلیل بیش از حد این چربی در افرادی که برنامه کاهش وزن سریع و شدید به کار می‌گیرند ممکن است سبب افتادگی کلیه و تاخوردگی میزنای شود. در این صورت، فرد با خطر بسته شدن میزنای و عدم تخلیه مناسب ادرار از کلیه روبه‌رو می‌شود که در نهایت به نارسایی کلیه و از دست رفتن همئوستازی بدن! خواهد انجامید.



شکل ۲- کپسول کلیه: جنس آن از بافت پیوندی است. این کپسول در برابر ورود میکروب‌ها از کلیه محافظت می‌کند!

همان‌طور که در شکل می‌بینیم فرورفتگی‌هایی در سطح خارجی کلیه مشاهده می‌شوند!

بر اساس شکل در محل ناف از بالا به پایین، به ترتیب: سرفک، سیاهرگ و میزنای قرار دارند.

نکاتی در مورد حفاظت از کلیه‌ها

(۱) دنده‌ها: این استخوان‌ها فقط از بخش بالایی کلیه‌ها محافظت می‌کنند. کلیه چپ به وسیله دو دنده و کلیه راست فقط به وسیله یک دنده آزاد محافظت می‌شوند.

(۲) کپسول کلیه: پرده‌ای است از جنس بافت پیوندی که کلیه را در بر گرفته است. به عبارت دیگر هر کدام از کلیه‌ها یک کپسول مخصوص به خود دارد.

(۳) چربی‌های اطراف کلیه: این چربی‌ها که جزء بافت‌های پیوندی به شمار آمده، در اطراف کپسول کلیه قرار دارند و دو کار مهم انجام می‌دهند:

(الف) کلیه‌ها را از ضربه محافظت می‌کنند.

(ب) در حفظ موقعیت کلیه نقش مهمی دارند.

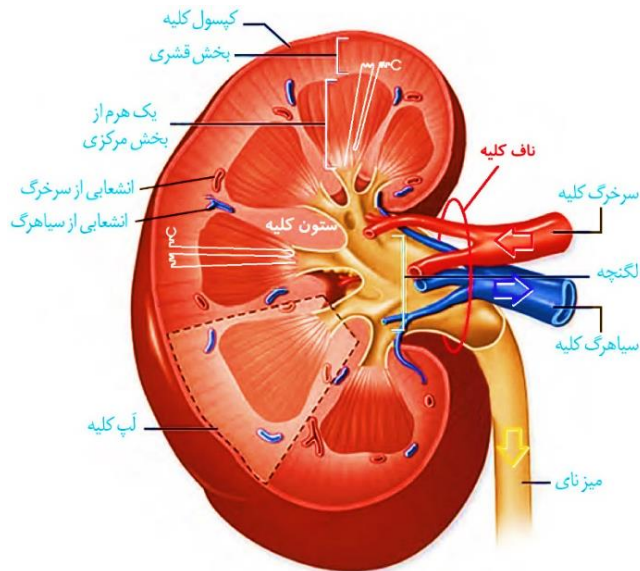
ساختر درونی کلیه: در برش طولی کلیه، سه بخش مشخص دیده می‌شود که از بیرون به درون عبارت‌اند از **بخش قشری**، **بخش مرکزی** و **لگنچه** (شکل ۳).

در بخش مرکزی، تعدادی ساختار هرمی شکل دیده می‌شود که **هرم‌های کلیه** نام دارند. **قاعده** هرم‌ها به سمت بخش قشری و **رأس** آنها به سمت **لگنچه** است. هر **هرم** و ناحیه قشری مربوط به آن را، یک **لپ** یا **لوب کلیه** می‌نامند.

مابین هرم‌های کلیه، بخش‌هایی به نام **ستون‌های کلیه** واقع شده‌اند. نکته جالب این‌که ستون‌های کلیه اگرچه در مجاورت هرم‌های بخش مرکزی واقع شده است اما جزء بخش قشری محسوب می‌شوند پس دارای نفرون است؛ در این ستون‌ها انشعاب سرخرگ‌ها و سیاهرگ‌های کلیه هم واقع شده‌اند.

لگنچه، ساختاری شبیه به قیف دارد. ادرار تولید شده، به آن وارد و به میزنای هدایت می‌شود تا کلیه را ترک کند.

لگنچه دارای انشعابات به نام **کالیس** است که هر کدام از آنها به رأس یک هرم در ارتباط بوده و ادرار تولید شده ابتدا به درون آنها و سپس لگنچه وارد می‌شود. در لابه‌لای کالیس‌ها مقداری بافت پیوندی از نوع بافت چربی وجود دارد.



شکل ۳- برش طولی کلیه

در برش عرضی سه بخش دیده می‌شود: بخش قشری که ظاهر دانه‌دانه دارد، بخش مرکزی که ظاهری منطط دارد و لگنچه که صاف است.

دیواره انشعابات سرخرگ کلیه و دیواره انشعابات سیاهرگ کلیه، با لگنچه در تماس مستقیم هستند.

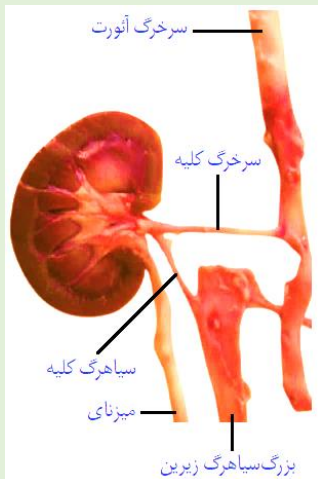
نکات مهم در مورد ساختار درونی کلیه

- ۱) بخش قشری به دلیل تجمع گلوMERول‌ها و کپسول‌های بومن ظاهر دانه‌دانه دارد.
- ۲) بخش مرکزی به دلیل وجود لوله‌های هنله و لوله‌های جمع کننده ادرار ظاهر منطط دارد.
- ۳) لگنچه نیز ظاهر صاف دارد.

نکاتی در مورد رگ‌های کلیه و میزنای

- ۱) سرخرگ ورودی به کلیه از محل ناف کلیه به طور غیر مستقیم با کلیه در ارتباط است.
- + این سرخرگ در نزدیکی ناف کلیه منشعب شده و انشعابات آن از راه ناف وارد کلیه شده و انشعابات کوچک‌تری به وجود می‌آورند.
- ۲) انشعابات سرخرگ کلیه از راه **ستون‌های کلیه** به سمت بخش قشری کلیه رفته و در آنها بیشتر منشعب می‌شوند.
- ۳) آفرین انشعابات سرخرگ‌های کلیه، سرخرگ‌های **آوران** را تشکیل می‌دهند.
- + سرخرگ آوران در درون کپسول بومن به مویرگ‌های شبکه اول مویرگی یا کلافک یا گلوMERول متصل است.
- ۴) مویرگ‌های شبکه اول به هم ملحق شده به سرخرگ **وابران** که قطر کمتری نسبت به سرخرگ آوران دارد متصل می‌شوند.
- ۵) سرخرگ وابران در مجاورت بخش‌های دیگر نفرون **دو انشعاب** به وجود می‌آورد:
 - + انشعاب اول در اطراف لوله پیچ‌خورده نزدیک و پیچ‌خورده دور قرار گرفته و شبکه دوم مویرگی یا شبکه دور لوله‌ای را به وجود می‌آورد.
 - + انشعاب دوم در اطراف لوله هنله **ادامه** شبکه دوم مویرگی یا شبکه دور لوله‌ای را به وجود می‌آورد.
- + بنابراین می‌توان گفت خون سرخرگ وابران به طور **همزمان** وارد لوله پیچ‌خورده نزدیک، لوله پیچ‌خورده دور و لوله هنله می‌شود!
- ۶) شبکه دوم مویرگی با سیاهرگ‌های کوچکی در ارتباط است و این سیاهرگ‌ها نیز به سیاهرگ‌های بزرگتری در **ستون‌های کلیه** ملحق می‌شوند.
- ۷) در نهایت **پندین** سیاهرگ از محل ناف کلیه خارج شده و در نزدیکی ناف به هم متصل شده تا سیاهرگ فروچی کلیه را بسازند.
- ۸) بنابراین می‌توان گفت، سیاهرگ فروچی کلیه هم به طور غیر مستقیم با کلیه در ارتباط است!
- ۹) در محل ناف، میزنای به طور مستقیم به لگنچه کلیه متصل است.
- ۱۰) بخش ابتدایی میزنای نسبت به بقیه بخش‌های آن کمی ضمیمه‌تر است.
- ۱۱) با توجه به موارد بالا می‌توان گفت در محل ناف کلیه **بیش از سه** ساختار لوله مانند به کلیه متصل هستند!

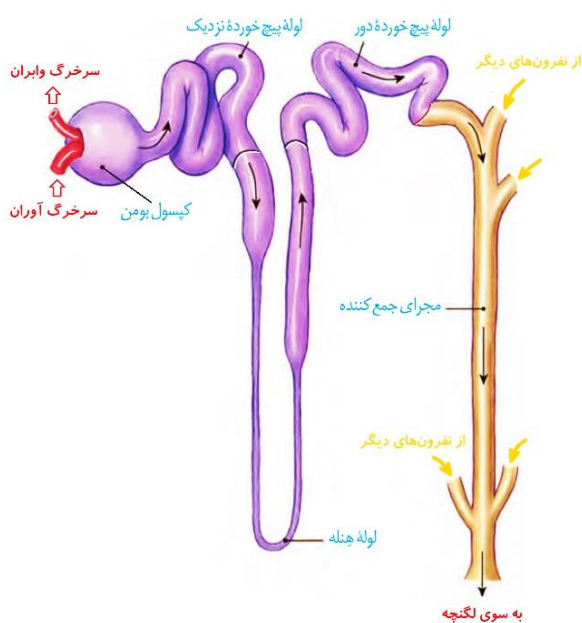
وسایل لازم: کلیه گوسفند، قیچی، چاقوی جراحی، گمانه



- ۱- یک عدد کلیه گوسفند تهیه کنید. اگر چربی‌های اطراف آن کنده نشده باشد بهتر است. زیرا در این صورت می‌توان میزنای، سرخرگ و سیاهرگ کلیه را در لایه‌های بافت چربی مشاهده نمود.
- ۲- در بین چربی‌ها میزنای، سرخرگ و سیاهرگ کلیه را تشخیص دهید. میزنای از همه قطورتر است و به فضای لگنچه راه دارد. سرخرگ از همه تنگ‌تر ولی دهانه آن باز و تقریباً دایره‌ای شکل است. دهانه سیاهرگ هم گشاد دارای دیواره نازک و روی هم افتاده است. شکل روبه‌رو مربوط به کلیه راست است، چون سرخرگ آن از سیاهرگ آن بلندتر است!!!
- ۳- کپسول کلیه با بریدن قسمتی از آن، به راحتی جدا می‌شود. کپسول در واقع همان بافت پیوندی شفاف اطراف کلیه است. در محل ناف کلیه، این بافت با بافت پیوندی اطراف رگ‌ها و میزنای ادغام می‌شود.
- ۴- با یک برش طولی در سطح محدب کلیه، آن را باز کنید و مطابق شکل روبه‌رو بخش‌های مختلف آن را تشخیص دهید. در این نوع برش، ستون‌های کلیه، انشعابات سرخرگ‌ها و سیاهرگ‌ها، کالیس‌ها و لگنچه، هرم‌ها و لوب‌های کلیه قابل تشخیص هستند. در بین کالیس‌ها مقداری بافت چربی وجود دارد.
- ۵- در وسط لگنچه، منفذ میزنای مشخص است. با وارد کردن گمانه و جلو بردن آن درون میزنای، می‌توانید اطمینان پیدا کنید که میزنای را درست تشخیص داده‌اید.

گردیزه (نفرون‌ها)

هر کلیه از حدود یک میلیون گردیزه تشکیل شده است که فرایند تشکیل ادرار در آنها انجام می‌شود. ابتدای گردیزه شبیه قیف است و کپسول بومن نام دارد. ادامه گردیزه، لوله‌ای شکل است و در قسمت‌هایی از طول خود، پیچ‌خوردگی‌هایی دارد و بر این اساس، به قسمت‌های مختلفی نام‌گذاری می‌شود



(شکل ۴). این قسمت‌ها به ترتیب عبارت‌اند از لوله پیچ‌خورده نزدیک، قوس هنله

که U شکل است و لوله پیچ‌خورده دور که گردیزه را به مجرای جمع‌کننده ادرار متصل می‌کند. لوله‌های پیچ‌خورده نزدیک و دور در تمام طول خود قطر یکسان دارند. قطر لوله پیچ‌خورده نزدیک از قطر لوله پیچ‌خورده دور بیشتر است! لوله هنله در ابتدا قطور سپس بسیار نازک و در نهایت ضمیمه‌تر می‌شود. مجرای جمع‌کننده ادرار هم در در انتهای خود قطورتر است.

شکل ۴- گردیزه و مجرای جمع‌کننده. هر نفرون با یک لوله رابط به لوله جمع‌کننده ادرار متصل است! (۱) همان‌طور که می‌بینیم، پندین نفرون هر یک به وسیله لوله‌های رابط خود به یک لوله جمع‌کننده ادرار متصل هستند. برخی از آنها به بخش ابتدایی و برخی به بخش انتهایی آن متصل هستند. بنابراین می‌توان گفت نفرون‌ها در یک راستا قرار ندارند.

(۲) در واقع نفرون‌ها از نظر محل قرارگیری خود در کلیه به دو گروه تقسیم می‌شوند:

- + گروه اول: نفرون‌های قشری که دارای لوله هنله کوتاه بوده و تقریباً همه بخش‌های آنها در بخش قشری کلیه واقع شده است. این نفرون‌ها به ابتدای لوله جمع‌کننده ادرار متصل هستند.
- + گروه دوم: نفرون‌های مجاور مرکز که دارای لوله هنله طویل بوده و بیشتر طول لوله هنله آنها در بخش مرکزی واقع است. این نفرون‌ها به بخش انتهایی لوله جمع‌کننده ادرار متصل هستند.

نکاتی در مورد نفرون

(۱) نفرون دارای دو بخش اصلی است:

+ بخش قیف مانند یا کپسول بومن که دو لایه سلول دارد.

+ بخش لوله مانند که شامل لوله پیچ‌خورده نزدیک، لوله هنله و لوله پیچ‌خورده دور است.

کپسول بومن: ابتدای نفرون قیف مانند بوده و دارای دو لایه سلول است:

+ لایه بیرونی کپسول بومن از سلول‌های سنگ‌فرشی یک لایه تشکیل شده است که در بیرون آنها غشای پایه وجود دارد.

x یادآوری: نکته مهم این‌که در زیر غشای پایه نفرون بافت پیوندی زیرین ضمیمه ندارد!

+ لایه درونی کپسول بومن از سلول‌های پادار یا پودوسیت‌ها تشکیل شده است.

لوله نفرون: ادامه نفرون، لوله‌ای شکل بوده و از سلول‌های مکعبی شکل! یک لایه‌ای و کمابیش ریزپر زار تشکیل شده است.

+ بخش لوله‌ای شکل نفرون از سه قسمت تشکیل شده است: لوله پیچ‌خورده نزدیک، لوله هنله و لوله پیچ‌خورده دور

× لوله پیچ‌خورده نزدیک، از یک طرف به کپسول بومن و از یک طرف به بخش نزولی هنله متصل است.

– سلول‌های مکعبی‌شکل لوله پیچ‌خورده نزدیک دارای ریزپرز فراوان هستند.

× لوله هنله که دارای دو بخش نزولی و صعودی است و ابتدای بخش نزولی قطورتر از انتهای بخش صعودی آن است.

– لوله هنله که شبیه به حرف U است و قوس هنله نام دارد، در میانه ثود بسیار نازک است، طول بخش نازک نزولی از بخش صعودی آن بیشتر است.

× لوله پیچ‌خورده دور کوتاه‌ترین بخش لوله نفرون است و از یک طرف با بخش صعودی هنله و از طرفی با مبرای جمع‌کننده ادرار در تماس است.

۱) نکته مهم این‌که مبرای جمع‌کننده ادرار جزء نفرون محسوب نمی‌شود!

۲) سرخرگ آوران خون را به کپسول بومن وارد کرده و سرخرگ وایبران خون را از آن خارج می‌کند.

۳) قطر سرخرگ آوران و فشار آن؛ از قطر سرخرگ وایبران و فشار آن؛ بیشتر است. این امر در تراوش مواد در کپسول بومن نقش بسیار مهمی دارد.

گردش خون در کلیه

منشأ ادرار از خون است و بنابراین بین گردیزه و رگ‌های خونی، ارتباط تنگاتنگی وجود دارد. با توجه به این‌که تبادل مواد از طریق مویرگ‌ها رخ می‌دهد در اینجا نیز شبکه‌های مویرگی را می‌بینیم. دو شبکه مویرگی در ارتباط با گردیزه مشاهده می‌شود. اولی به نام کلافاک (گلوامروال) که درون کپسول بومن قرار دارد و از نوع مویرگ‌های منفذدار است، و دومی به نام دور لوله‌ای که اطراف قسمت‌های دیگر گردیزه را فراگرفته است. بر اساس شکل کتاب شبکه مویرگی دور لوله‌ای در اطراف لوله جمع‌کننده ادرار مشاهده نمی‌شود!

به هر کلیه، یک سرخرگ به صورت غیر مستقیم از محل ناف وارد می‌شود. انشعابات این سرخرگ از فواصل بین هرم‌ها یا همان ستون‌های کلیه عبور می‌کند و در بخش قشری به سرخرگ‌های کوچک‌تری تقسیم می‌شود. انشعاب انتهایی این سرخرگ‌ها، سرخرگ آوران نامیده می‌شود. خون از طریق سرخرگ آوران به کلافاک وارد می‌شود و از طریق سرخرگ وایبران آن را ترک می‌کند. سرخرگ وایبران در اطراف لوله‌های پیچ‌خورده و قوس هنله، شبکه مویرگی دور لوله‌ای را می‌سازد. از آنجا که سرخرگ‌های آوران و وایبران جزء سرخرگ‌های کوچک محسوب می‌شوند، بنابراین در دیواره خود رشته‌های کشسان اندک بوده اما دارای ماهیچه صاف هستند که قطر آنها را دچار تغییر می‌کنند! این مویرگ‌ها به یکدیگر می‌پیوندند و سیاهرگ‌های کوچکی به وجود می‌آورند که پس از عبور از فواصل بین هرم‌ها یا همان ستون‌های کلیه سرانجام سیاهرگ کلیه را می‌سازند. این سیاهرگ، هم به طور مستقیم به ناف کلیه متصل نیست و خون را از کلیه بیرون می‌برد (شکل ۵).

شکل ۵. شبکه‌های مویرگی مرتبط با گردیزه

دو شبکه مویرگی در ارتباط با کلیه وجود دارد:

۱) شبکه اول مویرگی یا کلافاک یا گلوامروال فقط درون کپسول بومن واقع شده و خون روشن دارد.

۲) شبکه دوم مویرگی یا شبکه دور لوله‌ای که تقریباً به طور هم‌زمان در اطراف لوله پیچ‌خورده نزدیک،

لوله هنله و لوله پیچ‌خورده دور قرار می‌گیرد و دارای خون روشن و تیره است.

نکاتی در مورد گردش خون در کلیه

۱) سرخرگ‌های آوران و وایبران هر دو از انواع سرخرگ‌های کوچک بوده و بنابراین خاصیت کشسان کمی دارند!

۲) سرخرگ آوران کمی قبل از ورود به کپسول بومن منشعب شده و مویرگ‌های تاصل از آن وارد کپسول بومن می‌شوند.

۳) مویرگ‌های گلوامروال یا کلافاک که از نوع منفذدار هستند، کمی بعد از خروج از کپسول بومن به هم ملحق شده و سرخرگ وایبران را به وجود می‌آورند.

۴) سرخرگ وایبران در مجاورت کپسول بومن منشعب شده و دو انشعاب آن مسیرهای متفاوتی را طی می‌کنند.

+ انشعاب اول که ابتدا در اطراف لوله پیچ‌خورده نزدیک و سپس در اطراف لوله پیچ‌خورده دور قرار می‌گیرد.

× درون بخش اول شبکه مویرگی دوم یا بخش اول شبکه دور لوله‌ای فقط خون روشن وجود دارد.

+ انشعاب دوم که ابتدا در اطراف بخش صعودی هنله و سپس در اطراف بخش نزولی آن قرار می‌گیرد.

× تمام خون بخش اول شبکه مویرگی دور لوله‌ای نیز به انشعاب دوم وارد می‌شود.

× انشعاب دوم در اطراف بخش صعودی هنله فقط دارای خون روشن دارد اما در اطراف بخش نزولی هنله فقط دارای خون تیره است.

× سیاهرگ تاصل از شبکه دوم مویرگی در مجاورت کپسول بومن خون تیره را به سوی سیاهرگ کلیه هدایت می‌کند.

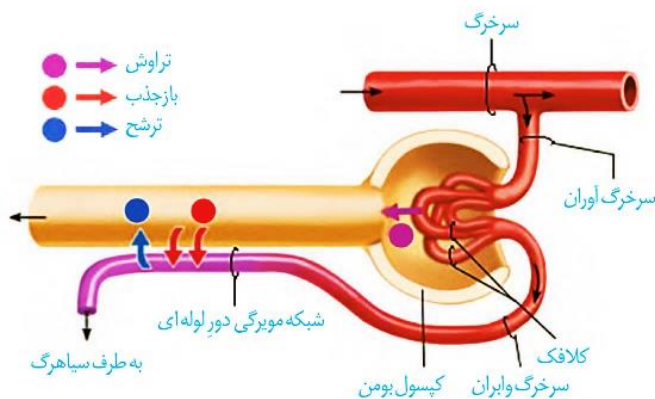
۵) نکته جالب این‌که جهت جریان خون و جریان مواد در لوله پیچ‌خورده نزدیک یکسان اما در دیگر بخش‌های لوله نفرون یعنی بخش نزولی هنله، بخش صعودی

هنله و لوله پیچ‌خورده دور بر خلاف همدیگر است.

فرایند تشکیل ادرار، شامل سه مرحله (۱) **تراوش**، (۲) **بازجذب** و (۳)

ترشح است (شکل ۶).

شکل ۶- فرایند تشکیل ادرار



(۱) **تراوش فقط** در درون کپسول بومن و با دفالت شبکه اول مویرگی یا کلافک و تحت تأثیر

فشار خون آنورت که ناشی از انقباض دیواره بطن چپ است، انجام می‌شود.

(۲) بازجذب و ترشح نیز معمولاً به صورت **فعال** یا **غیرفعال** در طول لوله نفرون یعنی لوله

پیچ‌خورده نزدیک، لوله هنله و لوله پیچ‌خورده دور و حتی لوله جمع‌کننده (ادرار و با دفالت شبکه

دوم مویرگی یا شبکه دور لوله‌ای اتفاق می‌افتد.

(۳) **تراوش** و ترشح **هم‌جهت** هستند، یعنی مواد از خون خارج شده و به درون نفرون وارد

می‌شوند. بازجذب نیز در جهت **مخالف** یعنی از نفرون به خون رخ می‌دهد.

تراوش: تراوش، نخستین مرحله تشکیل ادرار است. در این مرحله بخشی از **خوناب** در نتیجه فشار خون یا فشار تراوشی از کلافک خارج شده به

کپسول بومن وارد می‌شوند. این فرایند را **تراوش** می‌نامند. هم ساختار مویرگی‌های کلافک و هم ساختار کپسول بومن برای تراوش **متناسب** شده است.

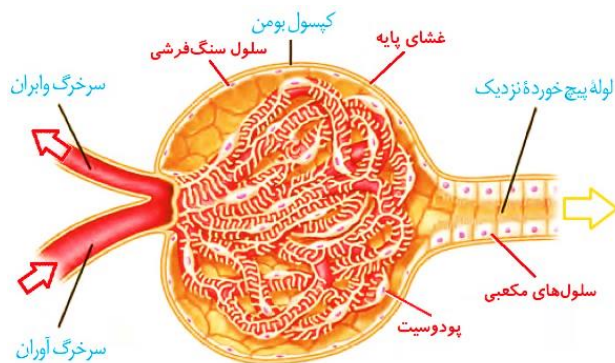
مویرگی‌های کلافک از نوع **منفذدار** یا غشای پایه ضمیم هستند و بنابراین امکان خروج مواد از آنها به خوبی فراهم شده است. مولکول‌های بزرگ مانند

پروتئین‌های موجود در خون و نیز سلول‌های خونی نمی‌توانند وارد کپسول بومن شوند.

برای این که فشار تراوشی به حد کافی زیاد باشد سازوکار ویژه‌ای در نظر گرفته

شده است. قطر سرخرگ آوران بیشتر از قطر سرخرگ وایران است و این، فشار

تراوشی را در مویرگی‌های کلافک افزایش می‌دهد (شکل ۷).



شکل ۷- کلافک یا شبکه اول مویرگی یا گلوامروال درون کپسول بومن

همان‌طور که می‌بینیم کپسول بومن همانند یک بادکنک بزرگ است و کلافک همانند یک مشت

بسته درون آن است. انگشتان دست مویرگی‌های کلافک هستند.

اطراف کلافک را کپسول بومن احاطه کرده است. کپسول بومن شامل دو دیواره است؛ یکی بیرونی و دیگری درونی.

(۱) **دیواره بیرونی** از یاخته‌های پوششی سنگ‌فرشی ساده تشکیل شده است که غشای پایه آنها در سمت بیرون کپسول قرار گرفته است.

(۲) **دیواره درونی** که با کلافک در تماس است، از یاخته‌هایی از بافت پوششی به

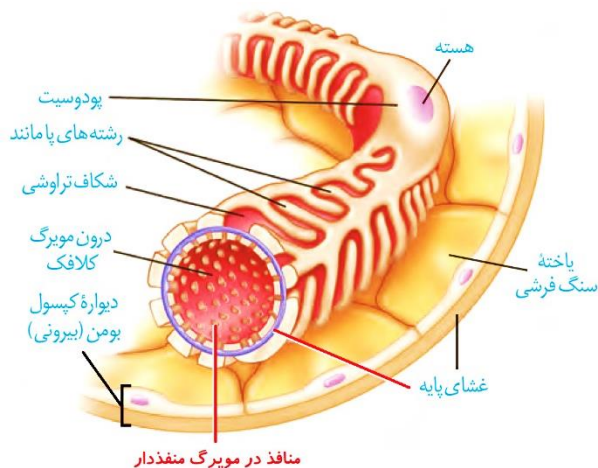
نام **پودوسیت** تشکیل شده است (شکل ۸). هر یک از پودوسیت‌ها

رشته‌های کوتاه و پا مانند فراوانی دارد. پودوسیت‌ها با پاهای خود اطراف

مویرگی‌های کلافک را احاطه کرده‌اند.

شکاف‌های باریک متعددی که در فواصل بین پاها وجود دارد به خوبی امکان

نفوذ مواد را به دیواره درونی فراهم می‌کند.



شکل ۸- دیواره بیرونی و درونی کپسول بومن

نکاتی در مورد تراوش

(۱) **محل انجام تراوش:** تراوش نخستین مرحله تشکیل ادرار است و فقط در درون کپسول بومن و با دفالت شبکه اول مویرگی یا کلافک انجام می‌گیرد.

+ در عمل تراوش، مواد متلف از دیواره مویرگی‌ها و دیواره درونی کپسول بومن گذشته و وارد نفرون می‌شوند.

x مویرگی‌های کلافک از نوع **منفذدار** یا غشای پایه ضمیم هستند و بنابراین امکان خروج مواد از آنها به خوبی فراهم شده است.

x کپسول بومن نیز دو دیواره دارد: (الف) دیواره بیرونی و (ب) دیواره درونی

(الف) **دیواره بیرونی:** با سلول‌های **سنگ‌فرشی** ساده و **نفوذناپذیر**! که غشای پایه آنها در سمت **بیرون** کپسول قرار گرفته است.
 (ب) **دیواره درونی:** با سلول‌هایی از نوع خاصی از بافت پوششی به نام **پودوسیت** که دارای رشته‌های کوتاه و پا مانند فراوانی هستند.
 - غشای پایه پودوسیت‌ها در **مجاورت** غشای پایه سلول‌های تشکیل دهنده مویرگ‌های کلافک قرار گرفته و با آن ادغام شده است.
 - مواد مختلف مفید و مضر! بر اساس اندازه از **شکاف‌های باریک متعددی** که در فواصل بین پاها وجود دارد عبور می‌کنند.

(د) **عامل انجام تراوش:** تراوش تحت تأثیر فشار خون **آنورت** که ناشی از انقباض دیواره **بطن چپ** است، اتفاق می‌افتد.

+ می‌توان گفت برای انجام این مرحله انقباض ماهیچه‌های قلبی و مصرف **ATP** به صورت **غیر مستقیم** رخ داده است!

(۳) **عامل کمکی تراوش:** تفاوت قطر سرخرگ آوران و وایران که در سرخرگ آوران قطر **بیشتر** است. این ویژگی، فشار تراوشی را در **طول کلافک افزایش** می‌دهد.

(۴) **ویژگی‌های مواد تراوش شده:** در تراوش، مواد فقط و فقط بر اساس **اندازه** عبور نموده و **هیچ** انتخاب دیگری صورت نمی‌گیرد.

+ بنابراین می‌توان گفت، هم مواد **دفعی** مثل اوره و هم مواد **مفید** مثل گلوکز و آمینواسیدها به نفرون وارد می‌شوند.

+ مولکول‌های **بزرگ** مانند پروتئین‌های موجود در پلاسما می‌توانند **نمی‌توانند** وارد کپسول بومین شوند.

بازجذب: در تراوش، مواد بر اساس **اندازه** وارد گردیزه می‌شوند و **هیچ** انتخاب دیگری صورت نمی‌گیرد. بنابراین، هم مواد **دفعی** مثل اوره و هم مواد **مفید** مثل گلوکز و آمینواسیدها به گردیزه وارد می‌شوند. مواد مفید دوباره باید به خون **بازگردند**. این مواد از طریق **مویرگ‌های دور لوله‌ای**، دوباره **جذب** و به این ترتیب به خون **وارد** می‌شوند. این فرایند را **بازجذب** می‌نامند. بنابراین می‌توان گفت فرایند بازجذب مقدار ادرار را **کاهش** می‌دهد.

به محض ورود مواد تراوش شده به لوله پیچ‌خورده **نزدیک**، بازجذب **آغاز** می‌شود. دیواره لوله پیچ‌خورده نزدیک از یک لایه بافت پوششی **مکعبی** تشکیل شده است که **ریزپرز** دارند. ریزپرها سطح بازجذب را **افزایش** می‌دهند. به علت وجود ریزپرزهای **فراوان** در لوله پیچ‌خورده نزدیک، مقدار مواد بازجذب شده در این قسمت از گردیزه، **بیش** از سایر قسمت‌هاست (شکل ۹). همه بخش‌های لوله نفرون،

سلول‌های مکعبی دارند، اما لوله هنله سلول‌های سنگ‌فرشی دارد!

شکل ۹- یاخته‌های ریزپرزدار لوله پیچ‌خورده نزدیک

(۱) ریزپرها فقط در غشای سلول‌های لوله نفرون که به سمت فضای **داخلی** نفرون است وجود داشته و باعث **افزایش** سطح بازجذب می‌شوند.

(۲) این سلول‌ها دارای میتوکندری‌های **فراوان** هستند تا با تنفس سلولی، **ATP** لازم را برای بازجذب فراهم کنند.

(۳) سطح پشتی سلول‌های نفرون در مجاورت غشای پایه، دارای **شکاف‌هایی** برای افزایش سطح بازجذب است.

(۴) پروتئین‌های غشایی که در بازجذب نقش دارند، هم در سطحی که دارای ریزپرز است قرار دارند و هم در سطحی که دارای شکاف است. بنابراین مواد بازجذب شده وارد **سیتوپلاسم** این سلول‌ها می‌شوند!

در **بیشتر** موارد، بازجذب به صورت **فعال** قابل انجام است و با صرف **انرژی زیستی** انجام می‌گیرد؛ گرچه بازجذب ممکن است **غیرفعال** باشد مثل بازجذب **آب** که با **اسمز** انجام می‌شود.

نکاتی در مورد بازجذب

(۱) **محل انجام بازجذب:** این مرحله در طول **لوله نفرون** به صورت همزمان با ترشح و با فعالیت شبکه **دوم** مویرگی یا شبکه دور لوله‌ای انجام می‌گیرد.

+ در واقع پروتئین‌های موجود در غشای سلول‌های پوششی دیواره نفرون و غشای سلول‌های سنگ‌فرشی دیواره مویرگ در امر بازجذب نقش دارند!

x سلول‌های پوششی دیواره نفرون برای افزایش سطح بازجذب در یک سطح خود دارای **ریزپرز** و در سطح مقابل دارای **شکاف** هستند.

- همه سلول‌های دیواره لوله نفرون و حتی سلول‌های دیواره لوله جمع‌کننده ادرار دارای **ریزپرز** هستند!

- تعداد و اندازه ریزپرها در لوله پیچ‌خورده نزدیک از بقیه بخش‌های لوله نفرون به مراتب **بیشتر** و **بزرگ‌تر** است.

(۲) **عامل انجام بازجذب:** بازجذب به صورت فعال با مصرف **انرژی زیستی** و یا غیر فعال مانند اسمز اتفاق می‌افتد.

+ بنابراین برای انجام بازجذب، مصرف **ATP** به صورت **مستقیم** یا **غیر مستقیم** می‌تواند رخ دهد!

(۳) **عامل کمکی بازجذب:** وجود **ریزپرها** در یک سطح سلول‌های پوششی دیواره نفرون و **شکاف‌ها** در سطح مقابل این سلول‌ها، بازجذب را **افزایش** می‌دهد.

(۴) **مواد بازجذب شده:** مواد **ضروری** بدن که اغلب به صورت **انتصاصی** از طریق پروتئین‌های غشایی دیواره نفرون و مویرگ بازجذب می‌شوند.

+ بنابراین می‌توان گفت، در این مرحله فقط مواد ضروری و مفید مانند **آب**، **گلوکز** و **آمینواسیدها** به خون بازگردانده می‌شوند.

ترشح: ترشح در جهت **مخالف** بازجذب رخ می‌دهد و در آن موادی که لازم است دفع شوند از (۱) **مویرگ‌های دور لوله‌ای** یا (۲) **خود یاخته‌های گردیزه** به **درون** گردیزه ترشح می‌شوند. این فرایند را **ترشح** می‌نامند. بنابراین می‌توان گفت در همه بخش‌های نفرون از جمله کپسول بومین هم فرایند ترشح انجام می‌شود! ترشح در **بیشتر** موارد به روش **فعال** و با صرف **انرژی زیستی** انجام می‌گیرد. همه مواد دفعی که با ترشح از بدن دفع می‌شوند، **الزاماً سمی نیستند**!

به عبارت دیگر می‌توان گفت ترشح به صورت غیر فعال هم به ندرت انجام می‌شود! هم‌پنین می‌توان گفت فرایند ترشح مقدار ادرار را افزایش می‌دهد.

ترشح در تنظیم میزان pH خون، نقش مهمی دارد. اگر pH خون کاهش یابد، یعنی غلظت یون هیدروژن در خون زیاد شود. کلیه‌ها یون هیدروژن را ترشح می‌کنند. اگر pH خون افزایش یابد، یعنی غلظت یون بیکربنات در خون زیاد شود. کلیه بیکربنات بیشتری دفع می‌کند و به این ترتیب pH خون را در محدوده ثابتی نگه می‌دارد. بعضی سموم و داروها به وسیله ترشح دفع می‌شوند.

نکاتی در مورد ترشح:

- (۱) محل انجام ترشح: این مرحله در کل نفرون! به صورت همزمان با بازذب و با دفالت شبکه دوم مویرگی یا شبکه دور لوله‌ای انجام می‌گیرد.
- + در واقع پروتئین‌های موجود در غشای سلول‌های سنگ‌فرشی دیواره مویرگ و غشای سلول‌های پوششی کل دیواره نفرون در امر ترشح نقش دارند!
- (۲) عامل انجام ترشح: ترشح به صورت فعال یا مصرف انرژی زیستی و یا به ندرت به صورت غیر فعال (تثاق می‌افتد).
- + بنابراین برای انجام ترشح، مصرف ATP به صورت مستقیم یا غیر مستقیم می‌تواند رخ دهد!
- (۳) عامل کمکی ترشح: وجود ریزپرزها در یک سطح سلول‌های مکعبی دیواره نفرون و شکاف‌ها در سطح مقابل این سلول‌ها، ترشح را افزایش می‌دهد.
- (۴) ویژگی‌های مواد ترشح شده: مواد دفعی، سمی و داروها که اغلب به صورت اختصاصی از طریق پروتئین‌های غشایی دیواره نفرون و مویرگ ترشح می‌شوند.
- + بنابراین می‌توان گفت، در این مرحله فقط مواد دفعی و مضر مانند اوره، اوریک‌اسید، کراتینین، سموم و داروها به نفرون وارد می‌شوند.
- + نکته مهم این‌که همه مواد دفعی که با ترشح از بدن دفع می‌شوند، الزاماً سمی نیستند!
- (۵) نقش ترشح در تنظیم pH خون: ترشح در تنظیم میزان pH خون و ایجاد تعادل اسید - باز نقش مهمی دارد.
- + در صورت کاهش pH خون: غلظت یون هیدروژن در خون زیاد شده، بنابراین کلیه‌ها یون هیدروژن را ترشح می‌کنند تا pH خون به حالت فیزیکی برگردد.
- + در صورت افزایش pH خون: غلظت یون بیکربنات در خون زیاد شده، بنابراین کلیه‌ها یون بیکربنات را دفع می‌کنند تا pH خون به حالت فیزیکی برگردد.

تخلیه ادرار

ادرار پس از تشکیل شدن در کلیه، از طریق میزنای به مثانه وارد می‌شود (شکل ۱۰). حرکت کرمی دیواره میزنای، که نتیجه انقباضات ماهیچه صاف دیواره آن است، ادرار را به پیش می‌راند. دو میزنای به بالای مثانه وصل نمی‌شوند، بلکه از بخش پشتی و پائینی مثانه به آن متصل می‌شوند. پس از ورود به مثانه، دریچه‌ای که حاصل چین‌خوردگی مخاط مثانه روی دهانه میزنای است، مانع بازگشت ادرار به میزنای می‌شود.

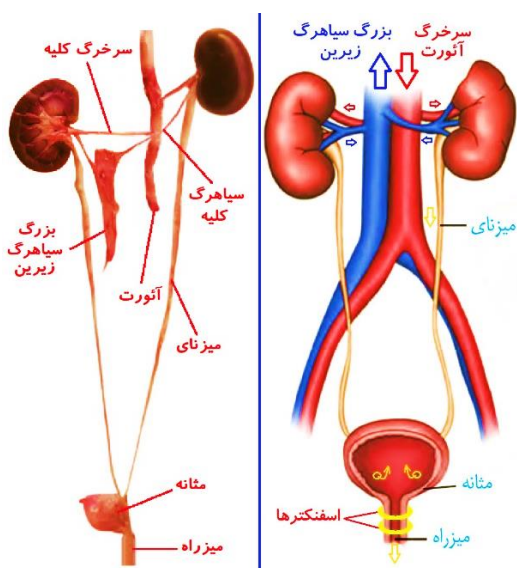
با توجه به این‌که مخاط حداقل دارای دو لایه پوششی مخاطی و پیوندی مخاطی است، بنابراین در ساق‌ها این دریه دو نوع بافت پوششی و پیوندی وجود دارند. هم‌پنین در ساق‌ها این دریه بافت ماهیچه‌ای دیده نمی‌شود!

شکل ۱۰- دستگاه دفع ادرار در انسان و گوسفند - آیا می‌توانید اجزای شکل را نام‌گذاری کنید؟

با توجه به این‌که شکل کتاب دارای مشکلاتی بود ابتدا شکل اصلاح و سپس نام‌گذاری شده است.

نکاتی در مورد دستگاه دفع ادرار

- (۱) در قسمت پشتی موطه شکمی سرخرگ آئورت و بزرگ سیاهرگ زیرین به موازات همدیگر قابل مشاهده هستند.
- (۲) از آئورت دو انشعاب وارد دو کلیه می‌شود انشعابی که به کلیه راست وارد می‌شود طویل‌تر از انشعابی است که به کلیه چپ می‌رود.
- (۳) دو سیاهرگ فروچی از دو کلیه در مجاورت انشعابات وارد شده به کلیه‌ها و در جلوی آنها قرار می‌گیرند.
- (۴) سیاهرگ خارج شده از کلیه چپ طویل‌تر از سیاهرگ خارج شده از کلیه راست است.
- (۵) در بخش پائین‌تر موطه شکمی آئورت دو شانه شده و هر انشعاب آن وارد یکی از پاها می‌شود.
- (۶) در بخش پائین موطه شکمی دو سیاهرگ که از پاها می‌آیند به همدیگر ملحق شده و بزرگ سیاهرگ زیرین را می‌سازند.
- (۷) وضعیت قرار گرفتن انشعابات آئورت و بزرگ سیاهرگ زیرین به گونه‌ای است که انشعابات سیاهرگ نسبت به سرخرگ عقبی‌تر هستند.
- (۸) دو میزنای خارج شده از دو کلیه در مجاورت دو سیاهرگ فروچی از کلیه و پشت آنها قرار گرفته‌اند. میزنای چپ از میزنای راست طویل‌تر است.
- (۹) بخش ابتدای میزنای‌ها که به ناف کلیه متصل است، نسبت به بقیه بخش‌های آنها قطر بیشتری دارد.
- (۱۰) اگرچه مثانه در انبار کردن موقتی ادرار نقش دارد اما اندازه مثانه از هر یک از کلیه‌ها کوچک‌تر است.
- (۱۱) در ابتدا و میانه میزراه دو اسفنکتر وجود دارد: اسفنکتر داخلی از ماهیچه صاف غیر ارادی و اسفنکتر خارجی از ماهیچه منطط ارادی تشکیل شده است.



مثانه، کیسه‌ای است **ماهیچه‌ای** که ادرار را **موقتاً** ذخیره می‌کند. چنانچه ادرار جمع شده از حجم مشخصی فراتر رود، **کشیدگی** دیوارهٔ مثانه باعث تحریک گیرنده‌های **کششی** یا مکانیکی موجود در دیوارهٔ مثانه و فرستادن **پیام عصبی** **حسی** به نفاق می‌شود و به این ترتیب باعث فعال شدن **سازوکار تخلیه ادرار** می‌شود. نفاق نیز با فرستادن **پیام عصبی حرکتی** به مثانه، ماهیچه‌های صاف دیوارهٔ مثانه را منقبض می‌کند. با افزایش شدت انقباض، ادرار از مثانه خارج و به میزراه وارد می‌شود. در دستگاه ادراری انسان **دو** اسفکتر برای کنترل خروج ادرار وجود دارد. در محل اتصال مثانه به میزراه، **بنداره‌ای** قرار دارد که به هنگام ورود ادرار باز می‌شود. این بنداره، که **بنداره داخلی میزراه** نام دارد، از نوع ماهیچهٔ **صاف و غیر ارادی** است. بعد از این بنداره، بنداره دیگری به نام **بنداره خارجی میزراه** وجود دارد که از نوع ماهیچهٔ **مخطط و ارادی** است. در **نوزادان و کودکانی** که هنوز ارتباط **مغز و نخاع** آنان به طور **کامل** شکل نگرفته است، تخلیهٔ مثانه به صورت **غیر ارادی** صورت می‌گیرد. اسفکتر داخلی که ماهیچهٔ صاف و غیر ارادی دارد، تحت کنترل **نفاق** و اسفکتر بیرونی که ماهیچهٔ اسکلتی و ارادی دارد تحت کنترل **مغز** است. در کتاب‌های قدیمی‌تر سازوکار تخلیه ادرار را که حاصل انقباض ماهیچه‌های صاف است، نوعی انعکاس در نظر می‌گرفتند. در کتاب‌های جدیدتر انعکاس را فقط در مورد ماهیچه‌های **اسکلتی** به کار می‌برند!

ترکیب شیمیایی ادرار: دو فرایند **بازجذب و ترشح**، ترکیب مایع تراوش شده را هنگام عبور از **گردیزه** و مجرای **جمع‌کننده**، تغییر می‌دهند و آنچه به لگنچه می‌ریزد، ادرار است.

نکته بسیار مهم: با توجه به جمله بالا می‌توان گفت دو فرایند بازجذب و ترشح نه تنها در طول نفرون، بلکه در **لوله جمع‌کننده ادرار** هم اتفاق می‌افتند!!

حدود **۹۵ درصد** ادرار را **آب** تشکیل می‌دهد. **دفع آب** از طریق ادرار، راهی برای **تنظیم** مقدار آب بدن است. **یون‌ها** نیز بخش مهمی از ادرار را تشکیل می‌دهند که **دفع** آنها برای حفظ **تعادل یون‌ها** صورت می‌گیرد.

فراوان‌ترین مادهٔ دفعی آلی نیتروژن‌دار در ادرار، **اوره** است. اوره چرا و چگونه تشکیل می‌شود؟ در نتیجهٔ تجزیهٔ موادی مانند **آمینواسیدها** در درون سلول‌ها، **آمونیاک** تولید می‌شود که **بسیار سمی** است. آمونیاک از سلول‌ها خارج شده و پس از عبور از مایع بین سلولی وارد **نون** می‌شود. **تجمع** آمونیاک در **خون** به سرعت به **مرگ** می‌انجامد. **کبد**، آمونیاک را از طریق **ترکیب آن با کربن دی‌اکسید** به **اوره** تبدیل می‌کند. ویژگی سمی بودن اوره از آمونیاک بسیار **کمتر** است و بنابراین، امکان **انباشته شدن آن و دفع** با **فواصل زمانی** امکان‌پذیر است. **کلیه‌ها** اوره را از خون می‌گیرند و همراه با ادرار از بدن **دفع** می‌کنند.



واکنش خلاصه شده تولید اوره از آمونیاک در کبد به صورت زیر است:

دیگر مادهٔ دفعی **آلی** نیتروژن‌دار در ادرار **اوریک اسید** است. این ماده در نتیجه سوخت و ساز نوکلئیک‌اسیدها حاصل می‌شود. اوریک اسید انحلال‌پذیری زیادی در آب ندارد؛ بنابراین تمایل آن به **رسوب کردن** و تشکیل **بلور** زیاد است. رسوب بلورهای اوریک اسید در کلیه‌ها باعث ایجاد **سنگ کلیه** و در مفاصل باعث **بیماری نقرس** می‌شود. نقرس یکی از بیماری‌های مفصلی است که با **دردناک** شدن مفاصل و **التهاب** آنها همراه است.

تنظیم آب: تنظیم آب تحت تنظیم عوامل مختلفی مثل **هورمون‌ها** قرار دارد. **یکی** از سازوکارها به **غلظت** مواد حل شده در **خوناب** ارتباط دارد. اگر غلظت این مواد از حد مشخصی **فراتر** رود، مرکز تشنگی توسط گیرنده‌های **اسمزی واقع در هیپوتالاموس** تحریک می‌شود که نتیجه آن از **یک طرف** فعال شدن **مرکز تشنگی** و تمایل به نوشیدن آب و از طرف دیگر ترشح هورمون **ضد ادراری** از غده هیپوفیز پسین است. این هورمون با اثر بر **کلیه‌ها**، یعنی نفرون‌ها و **لوله‌های جمع‌کننده ادرار** **بازجذب آب** را **افزایش** می‌دهد و به این ترتیب دفع آب از راه ادرار **کاهش** پیدا می‌کند.

اگر بنا به **عللی** هورمون ضد ادراری ترشح **نشود**، مقدار زیادی ادرار **رقیق** از بدن دفع می‌شود. چنین حالتی به **دیابت بی‌مزه** معروف است. مبتلایان به این بیماری احساس **تشنگی** می‌کنند و مایعات زیادی **می‌نوشند**. این بیماری به علت **برهم زدن توازن آب و یون‌ها** در بدن، نیازمند توجه **جدی** است.

نکاتی در مورد ترکیب شیمیایی ادرار

مواد معدنی موجود در ادرار: شامل **آب و یون‌های مختلف** از قبیل یون هیدروژن، یون سدیم، یون بیکربنات و ...

(۱) مقدار **آب** موجود در ادرار حدود **۹۵ درصد** است. **پنج درصد** باقی مانده شامل مواد **یون‌ها** و مواد **آلی** است.

(۲) به منظور **تفط تعادل آب و یون‌ها**، کلیه‌ها همواره مقادیر زیادی از **آب و یون‌ها** را دفع می‌کنند.

(۳) به منظور **کاهش سمیت** مواد آلی نیتروژن‌دار مانند آمونیاک و اوره، دفع **آب** هم انجام می‌شود.

مواد آلی موجود در ادرار: این مواد شامل اوره، کرآتینین، اوریک اسید و ... هستند.

(۱) **اوره:** این ماده فراوان‌ترین مادهٔ دفعی **آلی نیتروژن‌دار** در ادرار است.

+ اوره حاصل تهریه پروتئین‌ها است.

+ در نتیجهٔ تجزیهٔ موادی مانند **آمینواسیدها** در درون سلول‌ها، آمونیاک تولید می‌شود که بسیار سمی است.

+ آمونیاک از سلول‌ها خارج شده و پس از عبور از مایع بین سلولی وارد **نون** می‌شود.

+ آمونیاک **بسیار سمی** بوده و تجمع آن در **نون** به سرعت به **مرگ** می‌انجامد.

- + کبد، آمونیاک را از طریق ترکیب آن با **کربن دی‌اکسید** به اوره تبدیل می‌کند.
- x نکته جالب و البته (مهمانه) (۱۰)؛ این‌که در سلول‌های کبد هم با استفاده از کربن دی‌اکسید، **ماده آلی** ساخته می‌شود!
- x بنابراین فقط سلول‌های گیاهی **نیستند** که توانایی ساختن ماده آلی از کربن دی‌اکسید را دارند (۱۱)!
- + کلیه‌ها اوره را از خون می‌گیرند و همراه با ادرار از بدن دفع می‌کنند.
- x ویژگی سمی بودن اوره از آمونیاک بسیار **کمتر** است و بنابراین، امکان **انباشته شدن** آن در بدن وجود دارد.
- x دفع اوره به همراه ادرار با **فواصل زمانی** از طریق مثانه امکان‌پذیر است.
- (۱۲) **کرآتینین**: ماده آلی دفعی نیتروژن‌دار دیگری که با ادرار دفع می‌شود کرآتینین است که از کرآتین فسفات تولید می‌شود.
- + کرآتین فسفات، مولکولی است که در **ماهیچه‌های اسکلتی** به منظور تأمین انرژی مصرف می‌شود.
- + در واقع هنگام فعالیت ماهیچه اسکلتی، گروه فسفات کرآتین فسفات به **ADP منتقل** و **ATP تولید** می‌شود.
- x این روش تولید ATP در سلول را «**تولید ATP در سطح پیش‌ماده**» می‌گویند. پیش‌ماده این واکنش کرآتین فسفات است.
- + پس از انجام این واکنش، کرآتین باقی‌مانده به کرآتینین تبدیل می‌شود که توسط کلیه‌ها از بدن دفع می‌شود.
- (۱۳) **اوریک‌اسید**: ماده دفعی **آلی نیتروژن‌دار** دیگر موجود در ادرار اوریکی‌اسید است.
- + این ماده در نتیجه سوخت و ساز **نوکلئیک‌اسیدها** حاصل می‌شود.
- + اوریکی‌اسید اختلال‌پذیری زیادی در آب ندارد، بنابراین تمایل آن به **رسوب کردن** و تشکیل **بلور** زیاد است.
- x رسوب بلورهای اوریکی‌اسید در کلیه‌ها باعث ایجاد **سنگ کلیه** و در مفاصل باعث **بیماری تقرس** می‌شود.
- تقرس یکی از بیماری‌های مفصلی است که با **دردناک شدن مفاصل** و **التهاب** آنها همراه است.
- نکاتی در مورد تنظیم آب توسط کلیه‌ها**: برای تنظیم آب عواملی **سبب ورود آب به بدن** و **یا مانع از خروج آب از بدن** می‌شوند.
- + تنظیم آب تحت تأثیر عوامل **مختلفی** مثل **هورمون‌ها** قرار می‌گیرد.
- + دو نوع سازوکار برای تنظیم آب در بدن وجود دارد. این سازوکارها تحت تأثیر هورمون‌های **ضداددراری** و **آلدوسترون** انجام می‌شوند.
- + هورمون‌های **ضداددراری** و **آلدوسترون** که به ترتیب از غده هیپوفیز **پسین** و **فوق کلیه** ترشح می‌شوند، این نقش را بر عهده دارند.
- سازوکار اول**: این سازوکار به غلظت مواد حل شده در پلاسما ارتباط دارد. این سازوکار سبب ترشح هورمون **ضداددراری** از هیپوفیز پسین می‌شود.
- + اگر غلظت مواد حل شده در پلاسما از حد مشخصی **فراتر** رود، این اتفاقات به ترتیب می‌افتند تا آب بدن تنظیم شود.
- (۱) ابتدا گیرنده‌های اسمزی واقع در مرکز تشنگی **هیپوتالاموس** مغز تحریک می‌شوند.
- (۲) نتیجه این تحریک **دو اتفاق** زیر است:
- x از یک طرف فعال شدن مرکز تشنگی و تمایل به نوشیدن آب رخ می‌دهد.
- به این ترتیب این عمل **سبب ورود آب به بدن** می‌شود تا کمبود آب را جبران نماید.
- x از طرف دیگر باعث ترشح هورمون **ضد ادراری** از غده هیپوفیز پسین می‌شود.
- این هورمون با اثر بر کلیه‌ها، یعنی **نفرون‌ها** و لوله‌های جمع‌کننده ادرار **بازجذب** آب را افزایش می‌دهد.
- به این ترتیب دفع آب از راه ادرار کاهش یافته و **مانع از خروج آب از بدن** می‌شود.
- (۳) اگر بنا به عللی هورمون ضد ادراری ترشح نشود، مقدار زیادی ادرار رقیق از بدن دفع می‌شود. چنین حالتی به **دیابت بی‌مزه** معروف است.
- x مبتلایان به دیابت بی‌مزه احساس تشنگی می‌کنند و به علت به هم خوردن توازن آب و یون‌ها در بدن، نیازمند توجه جدی است.
- سازوکار دوم**: این سازوکار به کاهش مقدار آب خون و کاهش حجم آن ارتباط دارد. این سازوکار سبب ترشح هورمون **آلدوسترون** از غده فوق کلیه می‌شود.
- + اگر مقدار آب خون و حجم خون کاهش یابند، این اتفاقات به ترتیب می‌افتند تا آب بدن تنظیم شود.
- (۱) ابتدا جریان خون و فشار خون در سرفرگ **آوران** کاهش می‌یابد.
- (۲) در این وضعیت، از دیواره سرفرگ **آوران آنزیمی** به نام **رنین** به درون خون ترشح می‌شود.
- (۳) آنزیم رنین بر روی یکی از پروتئین‌های پلاسما به نام **آنژیوتانسین** تأثیر می‌گذارد.
- (۴) سیستم رنین - **آنژیوتانسین** باعث راه‌اندازی مجموعه‌ای از واکنش‌ها شده تا از غده فوق کلیه، هورمون **آلدوسترون** ترشح شود.
- (۵) هورمون **آلدوسترون** با اثر بر کلیه‌ها باعث بازجذب یون سدیم می‌شود.
- (۶) در نتیجه بازجذب یون سدیم، بازجذب آب هم در کلیه‌ها افزایش می‌یابد.
- به این ترتیب دفع آب از راه ادرار کاهش یافته و **مانع از خروج آب از بدن** می‌شود.

تنظیم اسمزی و دفع مواد زاید: این فرایند در جانداران مختلف به حالت‌های متفاوت وجود دارد:

در جانداران تک سلولی: با روش‌های انتشار و یا فرایندی مشابه **اکروسیتوز** انجام می‌گیرد.

x تنظیم اسمزی در بیشتر تک سلولی‌ها به وسیله انتشار و در برخی از آنها مانند پارامسی از طریق فرایندی مشابه **اکروسیتوز** رخ می‌دهد.

در جانداران پرسلولی: برخی از آنها فاقد ساختار مشخصی برای تنظیم اسمزی هستند ولی بیشتر آنها دارای چنین ساختاری هستند.

+ جانداران پرسلولی فاقد ساختار مشخص: برخی از پرسلولی‌ها فاقد ساختار مشخص و ویژه برای تنظیم اسمزی هستند.

x به عنوان مثال در اسفنج‌ها، مرجان‌ها و برخی از کرم‌های پهن مانند کرم کدو ساختار مشخصی برای تنظیم اسمزی وجود ندارد.

+ جانداران پرسلولی دارای ساختار مشخص: بیشتر پرسلولی‌ها دارای ساختار مشخصی برای تنظیم اسمزی و دفع مواد زاید هستند.

x در گروه‌های مختلف بی‌مهرگان می‌تواند به صورت نفیدی، آبشش، لوله‌های مالپیگی، و در مهره‌داران فقط به صورت کلیه مشاهده شود.

(الف) در جانداران تک سلولی

۱) در بسیاری از تک‌یاخته‌ای‌ها تنظیم اسمزی بدون مصرف انرژی و با کمک انتشار انجام می‌شود.

۲) در برخی دیگر از تک سلولی‌های آب شیرین مانند پارامسی، آبی که در نتیجه اسمز وارد می‌شود به همراه مواد

دفعی با مصرف انرژی و توسط واکوئل‌های انقباضی دفع می‌شود (شکل ۱۱).

بنابراین در این جانداران آب بدون مصرف انرژی و با اسمز وارد سلول شده ولی با مصرف ATP و با فرایندی مشابه

اکروسیتوز! خارج می‌شود!

شکل ۱۱- واکوئل انقباضی در پارامسی

(ب) در جانداران پرسلولی

روش‌های زیادی برای تنظیم اسمزی و دفع مواد زاید در پرسلولی‌ها وجود دارد. در زیر نمونه‌هایی از این فرایند در بی‌مهرگان و مهره‌داران توضیح داده شده است. در

بی‌مهرگان روش‌های متنوعی برای تنظیم اسمزی و دفع مواد زاید وجود دارد ولی در مهره‌داران فقط کلیه وجود دارد. هر چند در عده‌ای از آنها مانند ماهیان غضروفی غدد

راست‌روده‌ای و در برخی پرندگان و خزندگان غدد نمکی هم در این کار نقش دارند.

در بی‌مهرگان

نفیدی: بیشتر بی‌مهرگان دارای ساختار مشخصی برای دفع هستند. یکی از این ساختارها نفیدی است که برای (۱) دفع، (۲) تنظیم اسمزی یا (۳)

هر دو مورد به کار می‌رود. نفیدی لوله‌ای است که با منفذی به بیرون بدن باز و دفع

مواد زاید از طریق آن انجام می‌شود.

آبشش: در سخت‌پوستان، مواد دفعی نیتروژن‌دار مانند آمونیاک با انتشار ساده،

از طریق اندام‌های تنفسی یعنی آبشش‌ها دفع می‌شوند.

لوله‌های مالپیگی: حشرات سامانه دفعی متصل به روده به نام لوله‌های

مالپیگی دارند (شکل ۱۲). ماده دفعی نیتروژن‌دار در حشرات، فقط اوریک اسید است.

اوریک اسید که ماده‌ای جامد و بلوری همراه با آب و یون‌هایی مانند کلر و پتاسیم به لوله‌های

مالپیگی وارد می‌شود. محتوای لوله‌های مالپیگی به روده، تخلیه و با عبور مایعات در

روده، آب و یون‌های موجود در آن بازجذب می‌شوند. اوریک اسید از طریق روده و راست

روده به منفرج رفته و همراه با مواد دفعی دستگاه گوارش یعنی همراه با مدفوع دفع می‌شود.

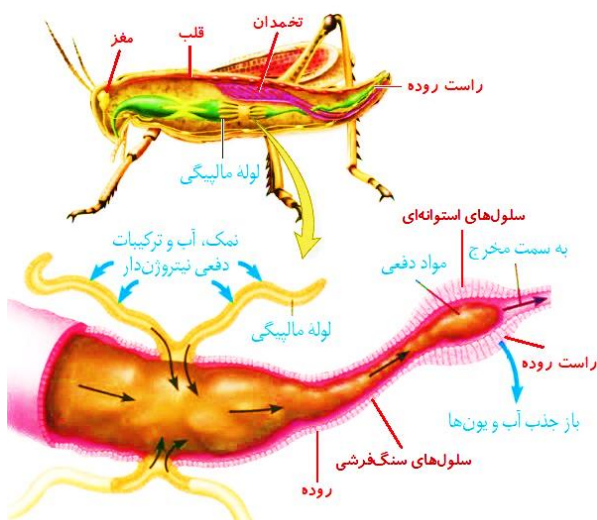
شکل ۱۲- لوله‌های مالپیگی متصل به روده در حشرات

نکاتی در مورد تنظیم اسمزی و دفع مواد زاید در بی‌مهرگان: از لحاظ فرایند دفع، بی‌مهرگان دو گروه هستند.

۱) بی‌مهرگان بدون ساختار دفع و تنظیم اسمزی: برخی از بی‌مهرگان فاقد ساختار مشخصی برای دفع مواد زاید یا تنظیم اسمزی هستند.

+ به عنوان مثال اسفنج‌ها، مرجان‌ها و برخی از کرم‌های پهن مانند کرم کدو ساختار مشخصی برای تنظیم اسمزی وجود ندارند.

۲) بی‌مهرگان دارای ساختار دفع و تنظیم اسمزی: این بی‌مهرگان دارای ساختارهای متفاوتی دارند:



تفریدی: یکی از سافتارهای مشخص برای دفع در برقی از بی‌مه‌رگان است که با منفذی به بیرون باز شده و برای سه منظور به کار می‌رود.

+ دفع مواد زائد نیتروژن‌دار از بدن + تنظیم اسمزی آب + هم برای دفع مواد زائد نیتروژن‌دار از بدن و هم برای تنظیم اسمزی آب + در پلاناریا نوع ابتدایی و ساده تفریدی به نام پروتوتفریدی و در کرم فاکس نوع پیشرفته آن به نام متاتفریدی یافت می‌شود.

آبشش: این سافتار علاوه بر بی‌مه‌رگان در مهره‌دارانی مانند ماهی‌ها و دوزیستان نابالغ هم وجود دارد.

+ در سفت‌پوستان، مواد دفعی نیتروژن‌دار با انتشار ساده، از طریق اندام‌های تنفسی یعنی آبشش‌ها دفع می‌شوند.

لوله‌های مالپیگی: این سافتارها در بی‌مه‌رگانی مانند حشرات یافت می‌شوند.

+ این سافتار از لوله‌های متصل به روده به نام لوله‌های مالپیگی تشکیل شده است.

+ ماده دفعی نیتروژن‌دار در حشرات، فقط اوریک‌اسید است.

+ اوریک‌اسید که ماده‌ای جامد و بلوری است همراه با آب و یون‌هایی مانند کلر و پتاسیم به لوله‌های مالپیگی وارد می‌شود.

+ متوای لوله‌های مالپیگی به روده، تقویه و با عبور مایعات در روده، آب و یون‌های موجود در آن بازجذب می‌شوند.

+ اوریک‌اسید از طریق روده و راست روده به مخرج رفته و به همراه مواد دفعی دستگاه گوارش دفع می‌شود.

+ لوله‌های مالپیگی، روده و راست‌روده فقط از یک لایه سلول پوششی تشکیل شده‌اند.

+ در لوله‌های مالپیگی و روده، سلول‌ها سنگ‌فرشی! و در راست‌روده استوانه‌ای شکل هستند.

+ لوله‌های مالپیگی مواد دفعی را از همولف می‌گیرند و وارده لوله گوارش می‌کنند.

+ سلول‌های روده و راست‌روده آب و یون‌ها را از متوایات روده گرفته و به همولف برمی‌گردانند!

سافتارهای دیگر: در برقی از سفت‌پوستان مانند میگوها و خرپنگ‌ها غدد شافکی وجود دارند که مواد دفعی، از فتره عمومی بدن به این غده ترانش و از منفذ دفعی نزدیک شافک، دفع می‌شوند.

در مهره‌داران

همه مهره‌داران کلیه دارند. ماهیان غضروفی (مثل کوسه‌ها و سفره‌ماهی‌ها) که همگی ساکن آب شور هستند، علاوه بر کلیه‌ها، دارای غدد راست‌روده‌ای هستند که محلول نمک (سدیم کلرید) بسیار غلیظ را به فضای درون راست‌روده ترشح می‌کنند.

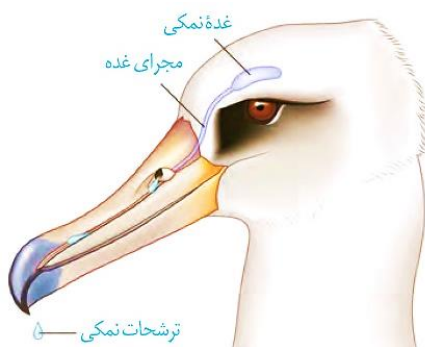
در ماهیان آب شیرین که همگی جزء ماهیان استخوانی هستند فشار اسمزی مایعات بدن از محیط بیشتر است؛ بنابراین آب می‌تواند وارد بدن شود. برای مقابله با چنین مشکلی، ماهیان آب شیرین معمولاً آب زیادی نمی‌نوشند (باز و بسته شدن دهان در ماهی‌ها تنها به منظور عبور آب و تبادل گازها در آبشش‌هاست). این ماهی‌ها حجم زیادی از آب را به صورت ادرار رقیق دفع می‌کنند.

در ماهیان آب شور که برقی از آنها جزء ماهیان غضروفی و برقی جزء ماهیان استخوانی هستند فشار اسمزی مایعات بدن کمتر از فشار اسمزی محیط است؛ بنابراین آب، تمایل به خروج از بدن دارد. در نتیجه، ماهیان دریایی مقدار زیادی آب می‌نوشند. در این ماهیان برخی از یون‌ها توسط کلیه به صورت ادرار غلیظ و برخی نیز از طریق یاخته‌های آبشش دفع می‌شوند. لازم به ذکر است که آبشش در بی‌مه‌رگانی مانند سفت‌پوستان در دفع مواد زائد نیتروژن‌دار نقش دارد!

کلیه دوزیستان مشابه کلیه ماهیان آب شیرین است. مثانه دوزیستان محل ذخیره آب و یون‌هاست. به هنگام خشک شدن محیط، دفع ادرار کم، و مثانه برای ذخیره بیشتر آب بزرگ‌تر می‌شود و سپس بازجذب آب از مثانه به خون افزایش پیدا می‌کند.

فردگان، پرندگان و پستانداران، پیچیده‌ترین شکل کلیه را دارند. کلیه در خزندگان و پرندگان توانمندی زیادی در بازجذب آب دارد. برخی خزندگان و پرندگان دریایی و بیابانی که آب دریا یا غذای نمک‌دار مصرف می‌کنند، می‌توانند نمک اضافه را از مویرگ‌های خون گرفته و از طریق غدد نمکی نزدیک چشم یا زبان، به صورت قطره‌های غلیظ دفع کنند (شکل ۱۳).

شکل ۱۳- غده نمکی



نکاتی در مورد تنظیم اسمزی و دفع مواد زائد در مهره‌داران: همه مهره‌داران کلیه دارند. که سافتار متفاوت، ولی عملکرد مشابهی در میان آنها وجود دارد.

(۱) در ماهیان غضروفی: مانند سفره‌ماهی و کوسه‌ها، که همگی ساکن آب شور هستند همانند بقیه ماهی‌های آب شور، مقدار زیادی آب می‌نوشند.

+ برقی از یون‌ها توسط کلیه به صورت ادرار غلیظ و برقی نیز از طریق آبشش‌ها دفع می‌شوند.

+ این ماهی‌ها دارای غدد راست‌روده‌ای هم هستند که محلول بسیار غلیظ نمک را از خون و مایعات بدن گرفته و به فضای درون راست‌روده ترشح می‌کنند.

(۲) در ماهیان استخوانی: برقی از آنها ساکن آب شور و برقی ساکن آب شیرین هستند. (نوعی که در آب شیرین هستند معمولاً آب کمی می‌نوشند.

+ در ماهی‌های استخوانی آب شور برقی از یون‌ها توسط کلیه به صورت ادرار غلیظ و برقی نیز از طریق آبشش‌ها دفع می‌شوند.

- + در ماهی‌های استخوانی آب شیرین حجم زیادی از آب به صورت ادرار رقیق دفع می‌شود.
- (۱۳) در دوزیستان: کلیه دوزیستان مشابه کلیه ماهیان آب شیرین بوده و در زمانی که آب فراوان است حجم زیادی از آب به صورت ادرار رقیق دفع می‌شود. + مثانه دوزیستان محل ذخیره آب و یون‌ها است.
- به هنگام فشک شدن محیط، دفع ادرار کم، و مثانه برای ذخیره بیشتر آب بزرگ‌تر می‌شود.
- سپس بازجذب آب از مثانه به خون افزایش پیدا می‌کند.
- (۱۴) در بقیه مهره‌داران: فرزندان، پرندگان و پستانداران، پیچیده‌ترین شکل کلیه را دارند.
- + کلیه در فرزندان و پرندگان توانایی زیادی در بازجذب آب دارد.
- + برخی از فرزندان و پرندگان می‌توانند نمک اضافه را از خون گرفته و از طریق غدد نمکی نزدیک چشم یا زبان، به صورت قطره‌های غلیظ دفع کنند.
- این جانوران در زیستگاه‌های دریایی و بیابانی زندگی می‌کنند. بنابراین آب دریا یا غذای نمک‌دار مصرف می‌کنند.