

## فصل ۵

### دستگاه دفع ادرار و تنظیم اسمزی

شکل و متن ابتدای فصل

## گفتار ۱ هومئوستازی و کلیه‌ها

اگر در یک روز گرم تابستانی ورزش کنید عرق می‌کنید. احتمالاً متوجه خواهید شد که از مقدار ادرار شما کاسته خواهد شد. می‌دانید چرا؟ چون بدن شما در نتیجهٔ عرق کردن آب از دست داده 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 سلول‌ها مثل کربن دی‌اکسید و مواد دفعی نیتروژن دار از جمله مواردی هستند که ادامهٔ حیات را تهدید می‌کنند. حفظ وضعیت درونی بدن در یک محدودهٔ ثابت برای تداوم حیات ضرورت دارد. مجموعه اعمالی که برای پایدار نگه داشتن وضعیت درونی بدن انجام می‌شود را **هومئوستازی** می‌نامند. هومئوستازی از ویژگی‌های اساسی همهٔ موجودات زنده است.

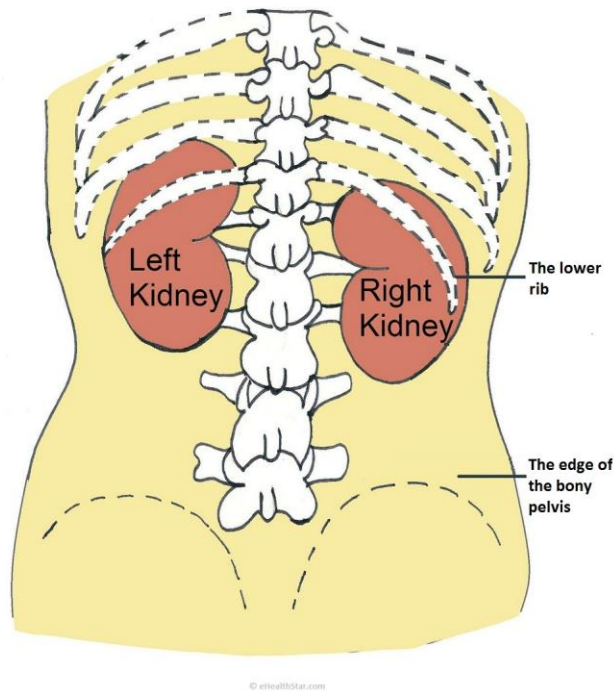
اگر هومئوستازی از تعادل خارج شود بعضی از مواد بیش از حد لازم یا کم‌تر از حد لازم به سلول‌ها می‌رسند. بسیاری از بیماری‌ها نتیجهٔ خارج شدن هومئوستازی از تعادل‌اند. برای مثال، در دیابت شیرین مقدار قند خون افزایش می‌یابد که عوارضی جدی چون بیماری قلبی، نابینایی و نارسایی کلیه را دربر دارند.

دستگاه دفع ادرار در حفظ هومئوستازی بدن نقش اساسی دارد. حفظ تعادل‌های آب، اسید-باز، یون‌ها و نیز دفع مواد سمی و مواد دفعی نیتروژن‌دار از جمله وظایف کلیه‌اند که با ساختن ادرار به انجام می‌رسد.

### **کلیه‌ها**

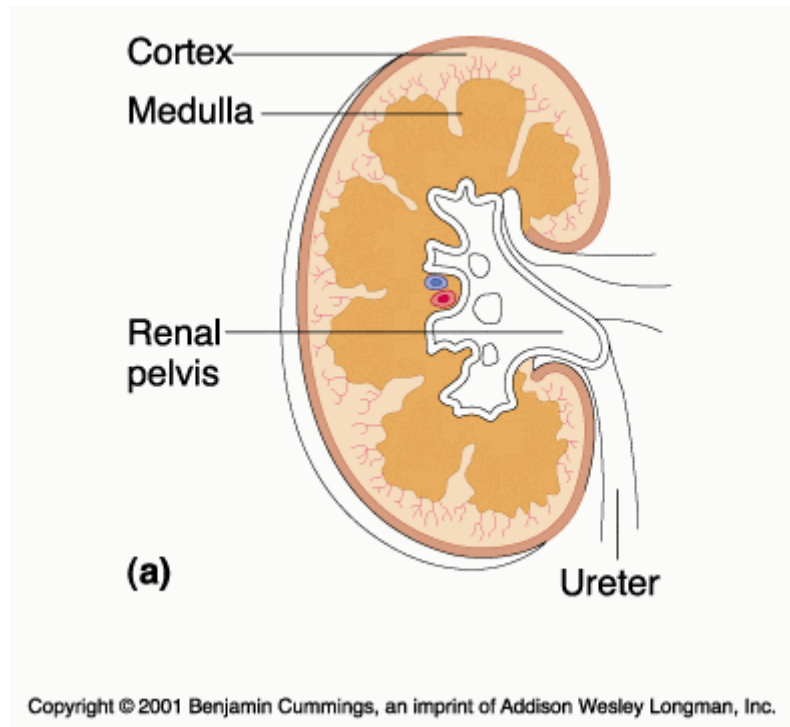
کلیه‌ها، اندامی لوبیایی شکل‌اند و به تعداد دو عدد در طرفین ستون مهره‌ها، در زیر دیافراگم و کبد قرار دارند. اندازهٔ کلیهٔ هر فرد تقریباً به اندازهٔ مشت بستهٔ اوست. به علت موقعیت قرارگیری کبد، کلیهٔ راست قدری پایین‌تر از کلیهٔ چپ قرار دارد. دنده‌ها، بخشی از کلیه را محافظت می‌کنند. رگ‌های خونی و لنفی، اعصاب و میزنا‌ی با گذر از **ناف کلیه**، با کلیه ارتباط برقرار می‌کنند.

## Kidney Position



پرده شفافى از جنس بافت پیوندی رشته‌ای اطراف هر کلیه را احاطه کرده است. این پرده مانعی در برابر نفوذ میکروب‌ها به کلیه ایجاد می‌کند. چربی اطراف کلیه، علاوه بر آن که کلیه را از ضربه محافظت می‌کند نقش مهمی در حفظ موقعیت کلیه دارد. اگر این چربی بیش از حد تحلیل رود، خطری که گاه متوجه آن‌هایی است که برنامه کاهش وزن شدید و سریع را اتخاذ می‌کنند، کلیه‌ها ممکن است دچار افتادگی نسبی از موقعیت خود شوند. این رویداد احتمال تاخوردگی میزنای را به دنبال دارد. در این صورت فرد با خطر مسدود شدن میزنای و عدم تخلیه مناسب ادرار از کلیه روبه‌رو می‌شود که در نهایت به نارسایی کلیه خواهد انجامید. در اینجا با مثالی روبه‌رو هستیم که نشان می‌دهد تغییر در موقعیت اندام‌ها می‌تواند به از بین رفتن هومئوستازی منجر شود.

در برش طولی کلیه سه ناحیه مشخص دیده می‌شود که از بیرون به درون عبارت‌اند از بخش قشری، بخش مرکزی و لگنچه (شکل)

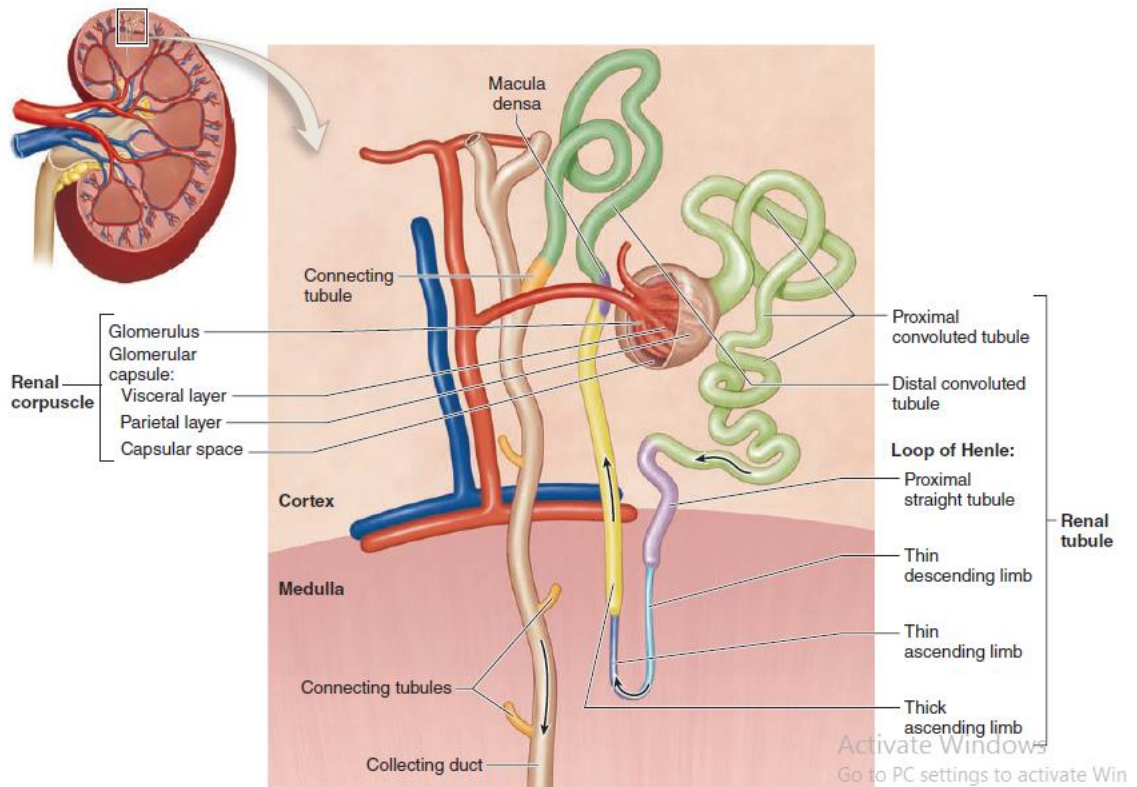


در بخش مرکزی تعدادی ساختار هرمی شکل دیده می شود که قاعده آن به سمت بخش قشری و راس آن به سمت لگنچه است. لگنچه ساختاری شبیه به قیف دارد. ادرار تولید شده به آن وارد و به میزنای هدایت می شود تا کلیه را ترک کند. در فاصله بین هرمها انشعاباتی از بخش قشری دیده می شود که **ستونهای کلیوی** نام دارند.

## نفرون ها

هر کلیه از حدود یک میلیون **نفرون** تشکیل شده است که فرایند تشکیل ادرار در آنها آغاز می شود. ابتدای نفرون شبیه فنجان است و **کپسول بومن** نام دارد. ادامه نفرون لوله ای شکل است و **لوله کلیوی** نامیده می شود.

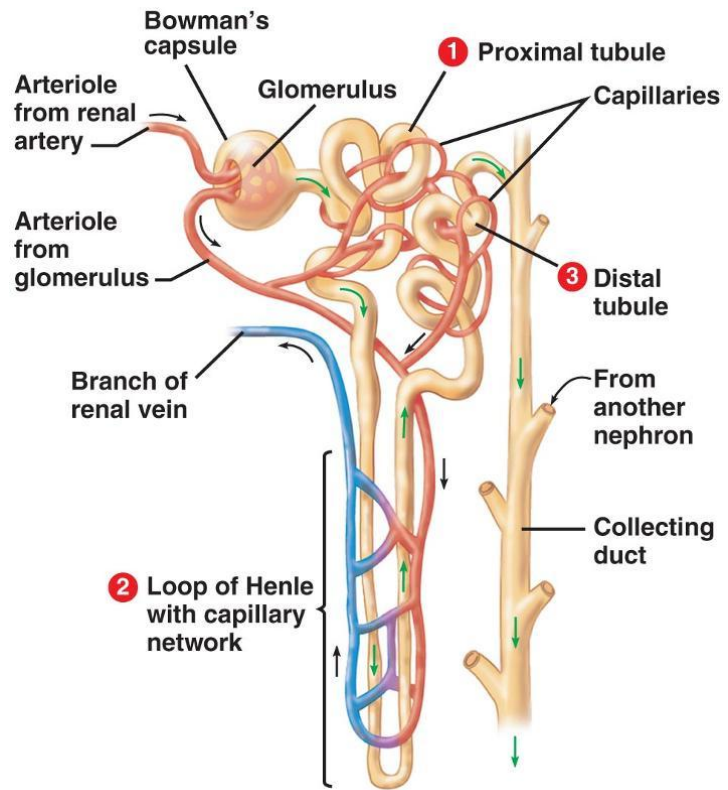
لوله کلیوی یک لوله صاف نیست بلکه در قسمت هایی از طول خود پیچ خوردگی هایی دارد و بر این اساس به قسمت های مختلفی نام گذاری می شود. این قسمت ها به ترتیب عبارت اند از **لوله پیچ خورده نزدیک، قوس هنله** که U شکل است ، **لوله پیچ خورده دور** و **لوله رابط** که نفرون را به **مجرای جمع کننده** متصل می کند.



نفرن‌ها بر حسب موقعیت قرارگیری در کلیه به دو دسته **قشری** و **مجاور مرکز** تقسیم می‌شوند. نفرن‌های قشری تقریباً به طور کامل در بخش قشری قرار دارند. در نفرن‌های مجاور مرکز بخش بزرگی از قوس هنله تا اعماق بخش مرکزی نفوذ کرده است و بنابراین قوس هنله در آن‌ها طولانی‌تر است. تنها یک هفتم نفرن‌ها از نوع مجاور مرکزند.

## گردش خون در کلیه

ادرار از خون منشا می‌گیرد و بنابراین بین نفرن و رگ‌های خونی ارتباط تنگاتنگی وجود دارد. با توجه به این که تبادل مواد از طریق مویرگ‌ها رخ می‌دهد در اینجا نیز شاهد پدید آمدن **شبکه‌های مویرگی** هستیم. دو شبکه مویرگی در ارتباط با نفرن مشاهده می‌شود. اولی به نام **گلومرول** درون کپسول بومن و دومی به نام **دورلوله‌ای** که اطراف لوله کلیوی را فراگرفته است.



Copyright © 2009 Pearson Education, Inc.

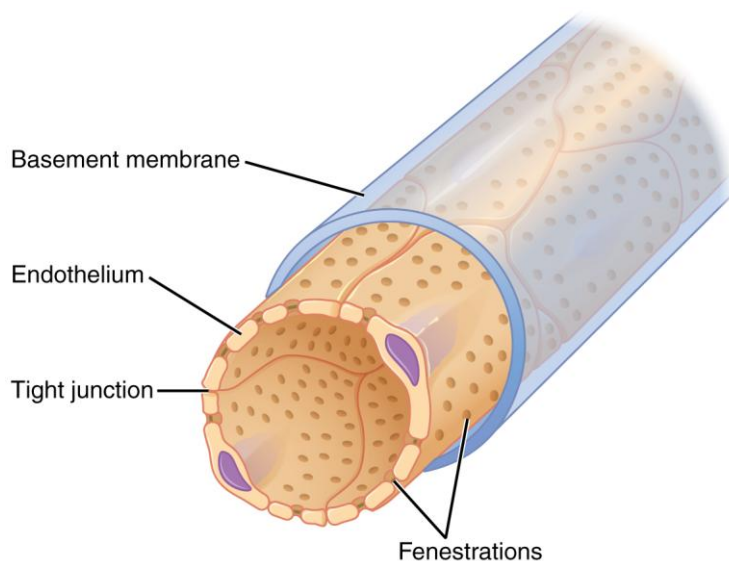
به هر کلیه یک سرخرگ کلیوی وارد می شود. انشعابات سرخرگ کلیوی از فواصل بین هرم ها عبور می کند و در بخش قشری به سرخرگ های کوچک تری تقسیم می شود. این انشعابات سرانجام گلومرول ها را در کپسول های بومن می سازند. گلومرول تفاوت آشکاری با سایر شبکه های مویرگی دارد و آن این است که به سیاهرگ ختم نمی شود. خون از طریق **سرخرگ آوران** به گلومرول وارد می شود و از طریق **سرخرگ وایران** آن را ترک می کند. سرخرگ وایران در اطراف لوله های پیچ خورده و قوس هنله شبکه مویرگی دورلوله ای را می سازد. این مویرگ ها به یکدیگر می پیوندند و سیاهرگ های کوچکی به وجود می آورند که سرانجام سیاهرگ های کلیه را می سازند. این سیاهرگ ها خون را از کلیه بیرون می برند.

## گفتار ۲ فرایند تشکیل ادرار و تخلیه آن

فرایند تشکیل ادرار شامل سه مرحله است که عبارت‌اند از تراوش، بازجذب و ترشح.

### تراوش

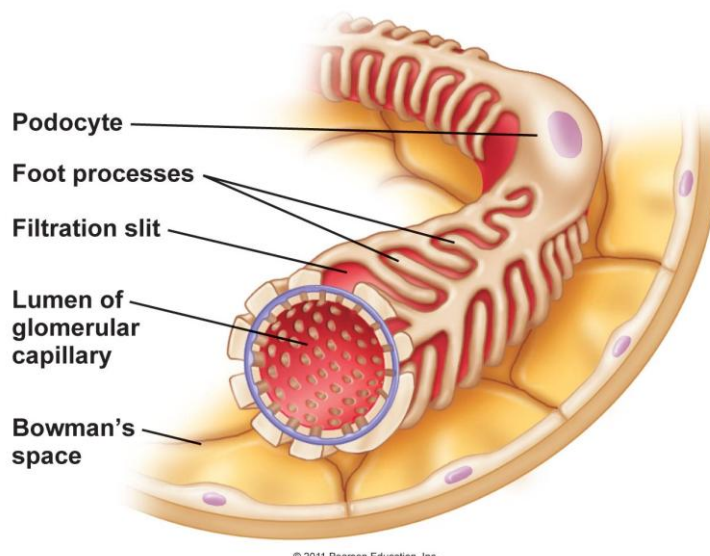
تراوش نخستین مرحله تشکیل ادرار است. در این مرحله پلاسمای خون، شامل آب و مواد محلول در آن به جز پروتئین‌ها، با فشار از گلومرول خارج شده به کپسول بومن وارد می‌شوند. این فرایند را **تراوش** می‌نامند. هم ساختار گلومرول و هم ساختار کپسول بومن برای تراوش متناسب شده است. مویرگ‌های گلومرول منافذ بزرگی در دیواره خود دارند و بنابراین امکان خروج مواد از آن‌ها به خوبی فراهم است. اگر پروتئینی بتواند از این منافذ عبور کند، آن‌گاه با مانع دیگری روبرو خواهد شد و آن غشای پایه مویرگ‌های گلومرول است. این غشا در حدود پنج برابر ضخیم‌تر از غشای پایه در سایر مویرگ‌هاست و از خروج پروتئین‌های پلاسما ممانعت می‌کند.



نیروی لازم برای خروج مواد، از فشار خون تامین می‌شود. برای آن‌که فشار تراوشی به حد کافی زیاد باشد ساز و کار ویژه‌ای برای گلومرول در نظر گرفته شده است. قطر سرخرگ آوران بیش‌تر از قطر سرخرگ وایران است و این، فشار تراوشی را در مویرگ‌های گلومرول افزایش می‌دهد.

اطراف گلومرول را کپسول بومن احاطه کرده است. کپسول بومن شامل دو دیواره است یکی بیرونی و دیگری درونی. دیواره درونی که با گلومرول در تماس است، شکاف‌های فراوانی دارد که از درون آن‌ها مواد به درون نفرون تراوش می‌شود.

سلول‌های دیواره بیرونی از نوع پوششی سنگفرشی ساده اما سلول‌های دیواره درونی از نوع خاصی سلول‌های پوششی‌اند. هریک از آنها شامل پاهای فراوان است و با پاهای خود اطراف مویرگ‌های گلومرول را احاطه کرده‌اند. بدین ترتیب نه تنها فاصله بین دیواره نفرون و گلومرول به تقریباً از بین رفته است بلکه شکاف‌های باریک متعددی که در فواصل بین پاها وجود دارد به خوبی امکان نفوذ مواد را به نفرون فراهم می‌کند.



## بازجذب

در تراوش مواد بر اساس اندازه وارد نفرون می‌شوند و هیچ انتخاب دیگری صورت نمی‌گیرد. بنابراین، هم مواد دفعی مثل اوره و هم مواد مفید مثل گلوکز و آمینواسیدها به نفرون وارد می‌شوند. مواد مفید دوباره باید به خون بازگردند. این فرایند را **بازجذب** می‌نامند.

سلول‌های دیواره نفرون، مواد مفید را از مواد تراوش شده می‌گیرند و آنها را در سمت دیگر خود (به سمت خارج نفرون) رها می‌کنند. این مواد توسط مویرگ‌های دورلوله‌ای دوباره جذب و به این ترتیب به خون وارد می‌شوند.

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. ریزپرزها سطح بازجذب را



افزایش می دهند. به علت وجود ریزپرزهای فراوان در لوله پیچ خورده نزدیک، مقدار مواد بازجذب شده در این قسمت از نفرون بیش از سایر قسمت‌هاست.

گرچه بازجذب ممکن است غیرفعال باشد مثل بازجذب آب که با اسمز انجام می‌شود اما در بیش تر موارد، بازجذب فعال است و با صرف انرژی زیستی انجام می‌گیرد.

## ترشح

ترشح در جهت مخالف بازجذب رخ می‌دهد و در آن موادی که لازم است دفع شوند از مویرگ‌های دورلوله‌ای یا خود سلول‌های نفرون به درون نفرون ترشح می‌شوند. این فرایند را **ترشح** می‌نامند. بعضی از سموم و داروها و اضافی یون‌های هیدروژن و پتاسیم به وسیله ترشح دفع می‌شوند. ترشح در تنظیم میزان pH خون نقش مهمی دارد. اگر pH خون کاهش یابد، کلیه‌ها یون هیدروژن را ترشح می‌کند. اگر pH خون افزایش یابد، کلیه بیکربنات بیش تری دفع می‌کند و به این ترتیب pH خون را در محدوده ثابتی نگه می‌دارند.

## تخلیه ادرار

ادرار پس از ساخته شدن در کلیه از طریق میزنای به مثانه وارد می‌شود. حرکت کرمی دیواره میزنای، که نتیجه انقباضات ماهیچه صاف دیواره آن است، ادرار را به پیش می‌راند. پس از ورود به مثانه، دریچه‌ای که حاصل چین خوردگی **مخاطه** مثانه بر روی دهانه میزنای است مانع بازگشت ادرار به مثانه می‌شود.

مثانه کیسه‌ای است ماهیچه‌ای که ادرار را موقتا ذخیره می‌کند. چنانچه حجم ادرار جمع شده در آن از حدی فراتر رود، کشیدگی دیواره مثانه باعث تحریک گیرنده‌های کششی و ارسال پیام عصبی به نخاع می‌شود و به این ترتیب انعکاس تخلیه ادرار فعال می‌گردد. نخاع با ارسال پیام عصبی به مثانه، ماهیچه‌های صاف دیواره مثانه را منقبض می‌کند. با افزایش شدت انقباض، ادرار از مثانه خارج و به میزراه وارد می‌شود.

در محل اتصال مثانه به میزراه اسفنکتری قرار دارد که به هنگام ورود ادرار باز می‌شود. این اسفنکتر، که اسفنکتر داخلی میزراه نام دارد، از نوع ماهیچه صاف و غیر ارادی است. اسفنکتر دیگری به نام اسفنکتر خارجی میزراه از نوع ماهیچه مخطط و تحت کنترل ارادی است که با باز شدن آن تخلیه ادرار صورت می‌گیرد. در نوزادان و کودکانی که هنوز ارتباط مغز و نخاع در آنان به طور کامل برقرار نشده است، دفع ادرار به صورت غیرارادی صورت می‌گیرد.

## ترکیب شیمیایی ادرار و تنظیم آب

فرایندهای بازجذب و ترشح، ترکیب مایع تراوش شده را حین عبور از لوله کلیوی و مجرای جمع کننده تغییر می دهند و آنچه به لگنچه می ریزد، ادرار است.

مواد موجود در ادرار را می توان به دو دسته معدنی و آلی تقسیم کرد. در حدود ۹۵ درصد ادرار را آب تشکیل می دهد. دفع آب از طریق ادرار، راهی است برای تنظیم مقدار آب بدن. یونها نیز بخش مهمی از ادرار را تشکیل می دهند که دفع آنها برای در راستای حفظ تعادل الکترولیتها صورت می گیرد.

فراوانترین ماده دفعی آلی در ادرار، **اوره** است. اوره چرا و چگونه تشکیل می شود؟ در نتیجه تجزیه آمینو اسیدها و نوکلئیک اسیدها، آمونیاک حاصل می شود که بسیار سمی است. تجمع آمونیاک در خون به سرعت به مرگ می انجامد. کبد آمونیاک را از طریق ترکیب آن با کربن دی اکسید به اوره تبدیل می کند. خاصیت سمی بودن اوره بسیار کم تر از آمونیاک است و بنابراین امکان انباشته شدن آن و دفع با فواصل زمانی امکان پذیر است. کلیه ها اوره را از خون می گیرند و به وسیله ادرار از بدن دفع می کنند.

ماده دفعی نیتروژن دار دیگری که با ادرار دفع می شود **کراتینین** است که از کراتین فسفات تولید می شود. کراتین فسفات مولکولی است که در ماهیچه ها به منظور تامین انرژی به کار می آید به این ترتیب که گروه فسفات آن به ADP منتقل و ATP تولید می شود. در جریان این تبدیل، کراتینین پدید می آید که توسط کلیه ها از بدن دفع می شود.

دیگر ماده دفعی نیتروژن دار در ادرار **اوریک اسید** است که در نتیجه متابولیسم نوکلئیک اسیدها حاصل می شود. اوریک اسید انحلال پذیری زیادی در آب ندارد. بنابراین تمایل آن به رسوب و تشکیل بلور زیاد است. رسوب بلورهای اوریک اسید در کلیه ها باعث ایجاد سنگ کلیه و در مفاصل باعث بیماری **نقرس** می شود. نقرس یکی از بیماری های مفصلی است که با دردناک شدن مفاصل و التهاب آنها همراه است.

## تنظیم آب

تنظیم آب تحت کنترل عوامل مختلفی مثل هورمون ها قرار دارد. اگر غلظت مواد حل شده در پلاسما خون از یک حد مشخص فراتر رود آن گاه **گیرنده های اسمزی** در هیپوتالاموس تحریک می شوند. در نتیجه تحریک این گیرنده ها از یک سو **مرکز تشنگی** در هیپوتالاموس فعال می شود و از سوی دیگر **هورمون ضد ادراری** از هیپوفیز پسین ترشح می شود. این هورمون با اثر بر کلیه ها، بازجذب آب را افزایش می دهد و به این ترتیب دفع آب توسط ادرار را کاهش می دهد.

اگر بنا به عللی هورمون ضدادراری ترشح نشود، مقدار زیادی ادرار رقیق از بدن دفع می شود. چنین حالتی به **دیابت بی مزه** معروف است. مبتلایان به این بیماری احساس تشنگی می کنند و مجبورند مایعات زیادی بنوشند. این بیماری به علت برهم زدن توازن آب و یون ها در بدن، نیازمند توجه جدی است.

مکانیسم دیگری در تنظیم آب نقش دارد. در نتیجه کاهش مقدار آب خون و کاهش حجم آن، جریان خون یا فشار خون در سرخرگ آوران کاهش می یابد. در این وضعیت، از دیواره سرخرگ آوران آنزیمی به نام **رنین** به خون ترشح می شود. **رنین** با اثر بر یکی از پروتئین های پلازما به نام **آنژیوتانسین** و راه اندازی یک سری واکنش ها باعث می شود از غده فوق کلیه هورمون **آلدوسترون** ترشح شود. هورمون آلدوسترون با اثر بر کلیه ها بازجذب سدیم را باعث می شود. در نتیجه بازجذب سدیم، بازجذب آب هم در کلیه ها افزایش می یابد.

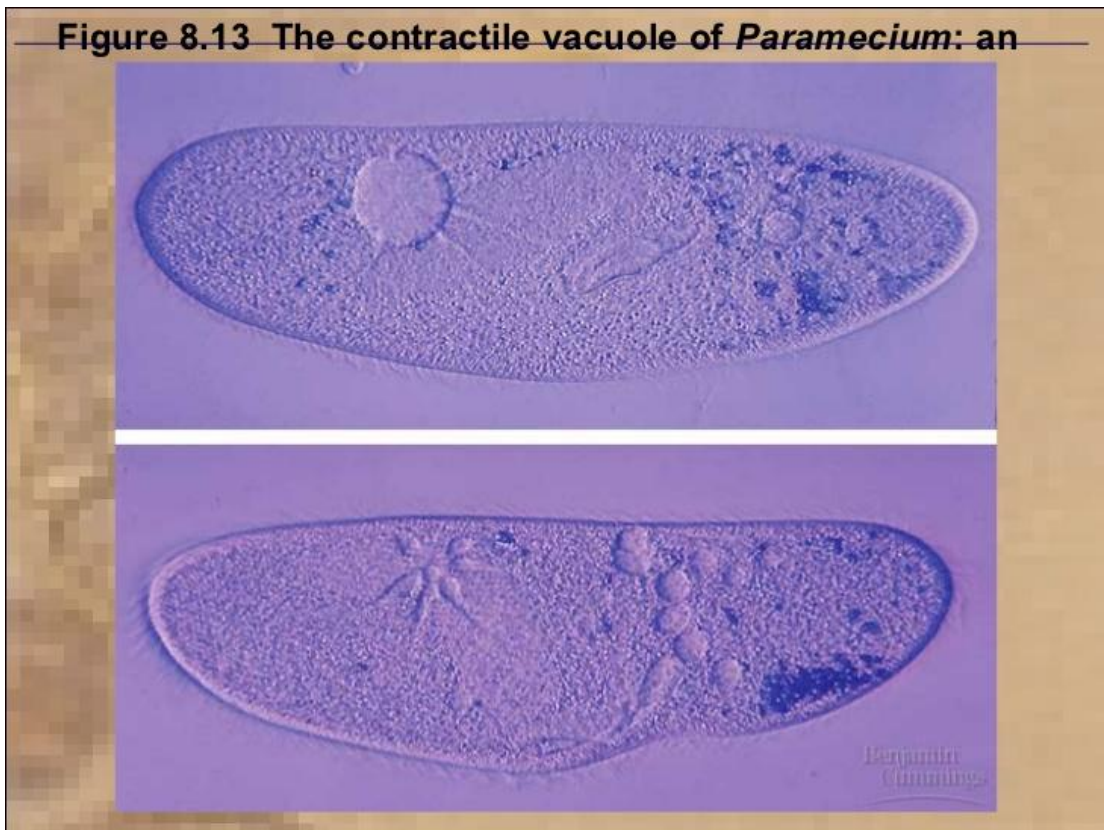
## گفتار ۳ تنظیم اسمزی در جانوران

### سیستم دفع در بی مهرگان

بی مهرگان در محدوده وسیعی از محیطها از جمله آب شیرین تا آبهای فوق شور (دریاچه های نمک) و نیز در خشکی ها یافت می شوند. در این جانوران متناسب با نیازها و زیستگاه آنها، ساز و کارهای گوناگونی برای تنظیم اسمزی مشاهده می شود.

### واکوئول انقباضی

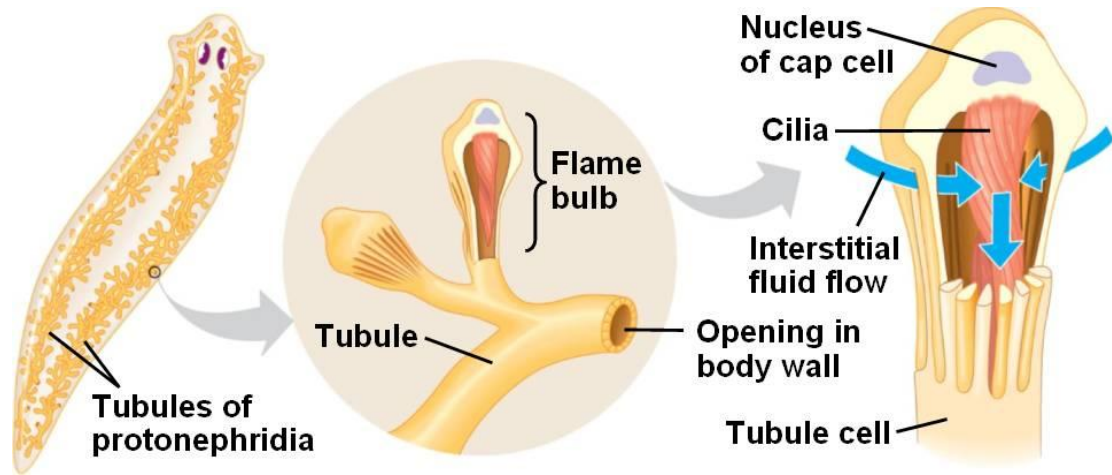
در برخی از آغازیان آب شیرین مانند پارامسی سلول بطور فعال یونها را به درون پمپ می کند. آبی که در نتیجه اسمز وارد می شود به همراه مواد دفعی توسط واکوئولهای انقباضی دفع می شود. (شکل پارامسی)



### نفریدی

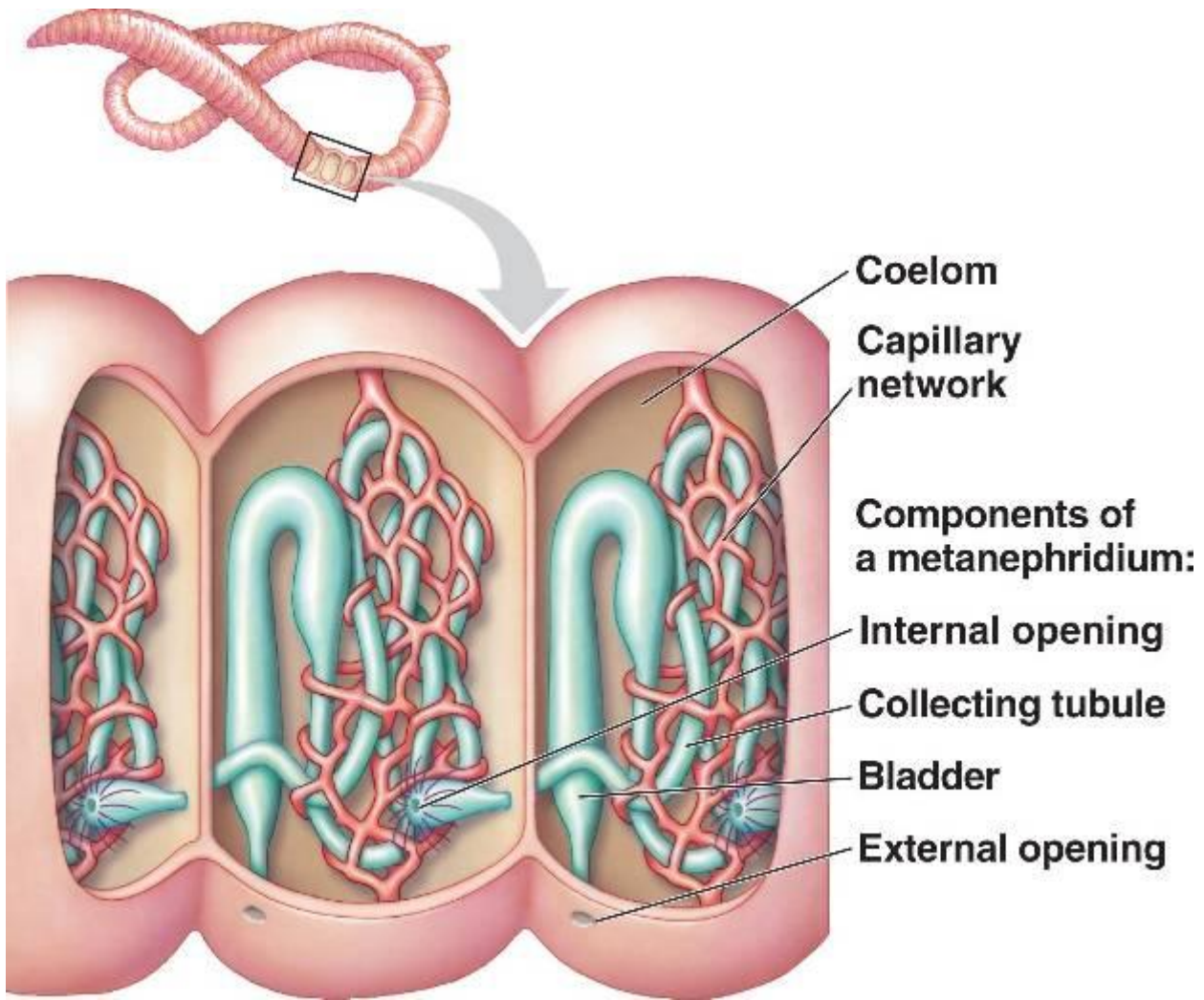
بیشتر بی مهرگان دارای ساختار مشخصی برای دفع هستند. یکی از این ساختارها نفریدی است که برای دفع، تنظیم اسمزی یا هر دو مورد بکار می رود. **نفریدی** لوله ای است که با منفذی به بیرون باز می شود. نفریدی دو نوع است: پروتوفرفیدی و متانفرفیدی.

سیستم دفعی پروتونفریدی شبکه ای از کانالهاست که از طریق یک منفذ دفعی به خارج بدن راه می یابند. سیستم دفعی در پلاناریا از نوع پروتونفریدی است. که کار اصلی این سیستم، دفع آب اضافی است و بیشتر دفع نیتروژن از طریق سطح بدن انجام می شود (شکل پروتونفریدی در پلاناریا).



در طول کانالهای پروتونفریدی سلولهای شعله ای قرار دارند. مایعات بدن از فضای بین سلولی به سلولهای شعله ای وارد می شوند و ضربان مژه های این سلول (که ظاهری شبیه شعله شمع دارند) مایعات را به کانالهای دفعی هدایت و از منافذ دفعی خارج می کند.

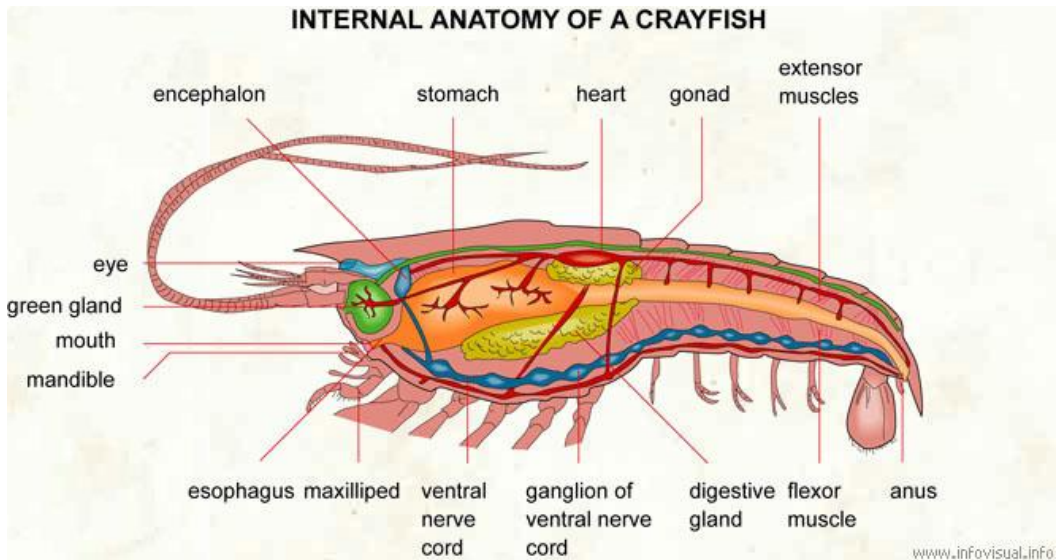
نوع پیشرفته تر ساختار دفعی در بی مهرگان متانفریدی است. متانفریدی لوله ای است که در جلو قیف مژه دار و در نزدیک انتها دارای مثانه است که به منفذ ادراری در خارج از بدن ختم می شود. دهانه این قیف به طور مستقیم با مایعات بدن ارتباط دارد. بیشتر کرمهای حلقوی (نظیر کرم خاکی) و نرم تنان دارای سیستم دفعی متانفریدی هستند. بدن کرم خاکی از بندهایی تشکیل شده و هر بند دارای یک جفت متانفریدی است. (شکل ).



در عنکبوتیان (کنه، عقرب و عنکبوت) کیسه های کروی شبیه نفریدی کرمهای حلقوی مشاهده می شود که در قاعده ران جانور قرار داشته و غدد پیش رانی نامیده می شود.

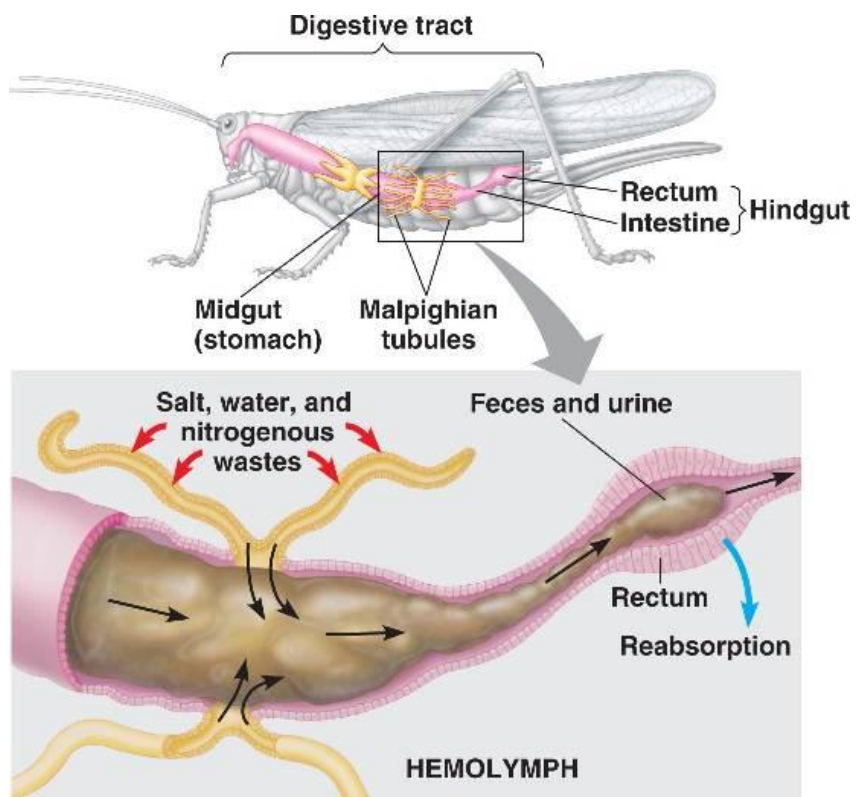
غدد شاخکی (سبز)

در سخت پوستان، مواد دفعی نیتروژنی با انتشار ساده از آبشش ها دفع می شوند. برخی از سخت پوستان (مثل میگوها و خرچنگها) غدد شاخکی یا سبز دارند (شکل). مایعات دفعی از حفره عمومی به غده شاخکی تراوش می شود.



### لوله های مالپیگی

حشرات دارای سیستم دفعی متصل به روده بنام **لوله های مالپیگی** هستند (شکل). یونهای پتاسیم و کلر از همولنف به لوله های مالپیگی ترشح و در پی آن آب از طریق اسمز وارد این لوله ها می شود. سپس اوریک اسید به لوله ها ترشح می شود. محتوای لوله های مالپیگی به روده تخلیه و با عبور مایعات در روده آب و یونها باز جذب می شوند. اوریک اسید از طریق روده به همراه مواد دفعی دستگاه گوارش دفع می شود. (شکل)



### سیستم دفعی در مهره داران

انواعی از راهکارها در مهره داران برای مقابله با مسائل تنظیم اسمزی وجود دارد و بیشتر آنها سازگارهایی در سیستم ادراری است. همه مهره داران کلیه دارند که ساختار متفاوت ولی عملکرد مشابهی دارند. مهره داران همچنین دارای سیستم گردش خون بسته اند که خون در آن تحت فشار است. این فشار، خون را از غشاها به کلیه ها تراوش می کند.

کوسه ها و وابستگان آنها نظیر سفره ماهیها (ماهیان غضروفی) بطریقی متفاوت از ماهیان استخوانی مشکل تعادل اسمزی را حل می کنند. آنها بجای پمپ کردن فعال یونها از بدن توسط کلیه ها، دارای غدد راست روده ای هستند که محلول نمک (سدیم کلرید) بسیار غلیظ را به روده ترشح می کند.

در ماهیان آب شیرین فشار اسمزی مایعات بدن بالاتر از آب است بنابراین آب تمایل به ورود به بدن دارد (شکل). برای مقابله با چنین مشکلی، ماهیان آب شیرین معمولاً آب زیادی نمی نوشند. (باز و بسته شدن دهان در ماهی قرمز تنها به منظور عبور آب و تبادل گازها در آبشش هاست). همچنین بدن آنها با ماده مخاطی پوشیده شده که مانع ورود آب به بدن می شود. جذب نمک و یونها با انتقال فعال از آبشش هاست. این ماهیها حجم زیادی از آب را بصورت ادرار رقیق دفع می کنند.

در ماهیان دریایی فشار اسمزی مایعات بدن کم تر از آب دریاست. آب تمایل به خروج از بدن دارد. برای جبران، ماهیان دریایی مقدار زیادی آب می نوشند. در این ماهیان برخی از یونها از طریق سلول های آیشش و برخی توسط کلیه بصورت ادرار غلیظ دفع می شوند.

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

خزندگان، پرندگان و پستانداران پیچیده ترین شکل کلیه را دارند که متناسب با کنترل تعادل اسمزی مایعات بدن آنهاست.

ساختار کلیه در خزندگان و پرندگان مشابه است و توانمندی بازجذب آب زیادی دارد. برخی از خزندگان و پرندگان دریایی و بیابانی که آب دریا یا غذای نمکدار مصرف می کنند می توانند نمک مازاد را از طریق غدد نمکی نزدیک چشم یا زبان بصورت قطره های غلیظ دفع کنند.