

فیزیولوژی کلیه

پیش گفتار

هر کدام از ما به پدیده دفع ادرار به شکل واقعه ای که باید وجود داشته باشد عادت کرده ایم. اما اگر زمانی جریان ادرار قطع شود چه عواقبی خواهد داشت؟ اگر ادرار با شرایط غیر طبیعی برقرار شود چه مشکلی ایجاد خواهد شد؟

اولین نشانه های حیات در آب هایی پا به دنیای وجود گزاردند که پر از پتاسیم بود. این اشکال حیات به شکل مولکول هایی بودند که از توانایی پیچیده تر شدن و ذخیره کردن انرژی برخوردار بودند. محیط آب به خاطر توانایی های درونی مولکول آب برای این مولکول های اولیه زنده جایگاهی را فراهم می آورد که کنش و واکنش های لازم را با کمترین اتلاف و بدون نیاز به مقدار زیاد انرژی انجام می دادند. این مولکول ها دارای پیوندهای کووالانت، الکترواستاتیک، هیدروژنی و واندروالس بودند. میزان آب موجود در اطراف این مولکول ها بر عملکرد آن ها موثر بود. اتم های پتاسیم نیز در این میان نقش تنظیمی به خود گرفتند. با تغییر اکوسیستم، سدیم از نظر فراوانی جای پتاسیم را به خود اختصاص داد. با توجه به جدول عناصر مندلیف می توان دریافت که اندازه اتم سدیم از اتم پتاسیم کوچک تر است اما به خاطر قدرت هیدراسیون بالاتر سدیم، اتم هیدراته سدیم

از اتم هیدراته پتاسیم بزرگتر بوده تعداد مولکول آب بیشتری را با خود حمل می کند.. از این رو جابجایی اتم های هیدراته سدیم در اطراف مولکول های زنده اولیه با تغییرات زیادی در تعداد مولکول های آب جابجا شده همراه بود، چرا که هر مولکول سدیم تعداد مولکول آب بیشتری را با خود جابجا می نمود. به وجود آمدن یک پرده محافظ به دور این مولکول ها به شکلی که جریان آب را به میزان دقیقی در اطراف آن ها حفظ و در همان حال غلظت سدیم را در حد کافی نگهدارد برای حفظ مولکول های زنده اولیه به صورت یک ضرورت درآمد. این پرده که از مولکول های چربی تشکیل شده و دارای روزنه هایی برای عبور مولکول های آب بود. هم چنین این پرده غلظت اتم های سدیم را در داخل محوطه درونی خود در حدی بسیار پائین تر و غلظت اتم های پتاسیم را درون خود در حد بالاتری از محیط اطراف حفظ می نمود. وجود این پرده موجب پدید آمدن شیب غلظتی برای یون های سدیم از بیرون به داخل و پتاسیم از داخل به بیرون این پرده گردید. این شیب را می توان به صورت یک نوع انرژی پتانسیل در نظر گرفت که به واسطه آن یون ها می توانستند در جهت کاهش شیب غلظتی خود در دو طرف پرده نیمه تراوا (از غلظت بیشتر به غلظت کمتر) حرکت کنند. باید اشاره کرد که در عمل این پرده نمی توانست از حرکت یون ها به صورت کامل جلوگیری کند و مقداری از این یون ها بر اساس شیب غلظتی در عرض پرده جابجا می شدند. عبور یون های پتاسیم راحت تر از

سدیم صورت می پذیرفت چرا که یون های هیدراته پتاسیم از سدیم کوچک تر بودند. با این حال مقداری از سدیم هیدراته خارج از این پرده قادر بود به داخل سلول نفوذ نماید. ورود سدیم به محوطه داخلی این پرده موجب ورود آب زیادی به همراه این یون می شد و این امر غلظت مولکول های زنده اولیه را که برای حفظ ساختار و انجام کنش و واکنش های مورد نیاز باید در حد خاصی حفظ می شد تغییر داده دیگر انجام این اندرکنش ها به شکل دقیق ممکن نبود. این پرده برای مقابله با این نفوذ سدیم به پمپی مجهز شد که برای عمل به مصرف انرژی نیاز داشت و در ازای هر سه یون سدیمی که از محوطه داخلی این پرده خارج می نمود دو یون پتاسیم به داخل وارد می کرد. این امر موجب خروج سدیم و آب اضافی همراه آن و حفظ حجم و غلظت ترکیبات درون محوطه پرده و هم چنین حفظ پتاسیم مورد نیاز می گردید. اما این کار به مصرف و تولید انرژی هم نیازمند بود. تولید انرژی خود موجب تولید یون هیدروژن شده اسیدیته محیط داخلی پرده را تغییر می داد. از این رو این موجود اولیه مجبور شد که یون های هیدروژن را نیز از درون خود خارج نماید و تعادل اسید و باز درون خود را در حد مطلوب نگهدارد. تولید انرژی خود موجب تولید مواد زائدی ناشی از اندرکنش های مختلف می شد. این یون ها و مواد زائد دیگر حاصل از متابولیسم به آب فراوانی که در اطراف این موجود زنده ابتدایی جریان داشت آزاد می گردید. این موجود حال به ساختاری تبدیل شده بود که دارای فعالیت های سازماندهی شده از جمله کنش و واکنش های تولید کننده و مصرف کننده

انرژی، حفظ حجم، غلظت و اسیدیته بود. از این موجود می توان به عنوان یک محفظه بسته زنده و یا با نام سلول نام برد.

جریان آبی که از اطراف این سلول اولیه عبور می نمود مواد مورد نیاز آن را فراهم نموده و مواد زائد تولید شده در آن را خارج می کرد. عدم وجود این جریان یا کمبود آب مورد نیاز در درون سلول و هم چنین در محیط اطراف آن برای دور کردن مواد زائد و رساندن مواد مورد نیاز موجب آسیب به سلول می شد.

با به وجود آمدن فضای بسته ای به دور مجموعه ای از سلول های اولیه که این مجموعه را از محیط اطراف جدا می ساخت موجودات پر سلولی پا به عرصه وجود گزاردند. در این موجودات جریان آب در اطراف سلول ها بازمی مسیر خود را در جهت رساندن مواد مورد نیاز سلول ها و دور کردن مواد زائد حفظ نمود. به این شکل موجود پر سلولی اولیه از دو فضای کلی برخوردار بود: فضای داخل و فضای خارج سلولی. این موجود پر سلولی باید حجم کافی از آب را در خود نگه می داشت. در طول زمان و با افزایش تعداد سلول های تشکیل دهنده موجودات پرسلولی اولیه، عضوی به وجود آمد که وظیفه ایجاد جریان آب به دور سلول ها را به عهده داشت (دستگاه قلب و عروق). این عضو موجب جریان یافتن آب به سوی سلول ها و و بازگشت آن به سوی این عضو و در واقع ایجاد یک گردش مداوم و جهت دار آب در اطراف سلول ها می شد. در کنار دستگاه قلب و عروق به عضوی نیاز بود که بتواند مواد زائد تولید شده توسط سلول ها را از این جریان آب که

توسط دستگاه قلب و عروق ابتدایی به دور سلول ها برقرار می شد پاک کند (دستگاه کلیه و ادراری). فضای اطراف سلول ها که در واقع امکان زهکشی را در اطراف سلول ها پدید می آورد از اهمیت ویژه ای در این میان برخوردار بود چراکه حجم این فضا باید در حد کافی می بود تا می توانست جریان کافی از آب را در اطراف سلول برقرار سازد و از طرفی نباید آن چنان وسیع می شد که با توجه به قدرت دستگاه قلب و عروق در پر کردن فضای مذکور حالتی پیش بیاورد که جریان آب دور سلول ها کند شده حالت راکد به خود بگیرد.

تکامل سیستم هایی که جریانی از آب را در اطراف سلول ها برقرار می ساخت و به وجود آمدن یک سیستم بسته جریان آب در بدن موجود زنده پر سلولی اولیه، امکان ادامه زندگی را برای این موجود در خارج از آب فراهم آورد و موجودات زنده پا به خشکی گزاردند. در محیط خشکی نیاز به عضوی (کلیه و دستگاه دفع ادرار) که می توانست مواد زائد محلول در آب، حاصل از کنش و واکنش های سلول ها را یک جا جمع کرده دفع نماید بیشتر چشمگیر شد.

به نظر می رسد سلامت موجودات زنده به تبدلات مواد اولیه مورد نیاز و دفع مواد زائد بین سلول ها و محیط اطراف وابسته است و در این میان کلیه ها و دستگاه دفع ادراری دارای نقش ویژه ای در ثبات بخشیدن به محیط اطراف سلول ها می باشد. از این رو اگر جریان ادرار متوقف شده و یا ادرار با حالت غیر طبیعی برقرار گردد مواد زائد و یا آب

اضافی در خارج سلول ها جمع شده موجب اختلال در انجام فرآیندهای حیاتی سلول می

شوند

فصل اول:

چگونه کلیه کار می کند؟ **How does the kidney work?**

عملکرد تصفیه ای کلیه

همان طور که در پیش گفتار گفته شد برقراری جریان آب در اطراف سلول ها از اهمیت ویژه ای برخوردار است. این جریان موجب رساندن مواد مورد نیاز به سلول ها و دور کردن مواد زائد از محیط سلول ها می شود. نیروی لازم برای برقراری این جریان در فضای اطراف سلول ها توسط پمپ قلب تامین شده و به وسیله راه های ارتباطی (رگ ها) در بخش های مختلف بدن هدایت می گردد. مایعی (خون) که از قلب به رگ ها پمپ می شود حاوی سلول های زنده (گلبول های قرمز و سفید)، پروتئین ها و عناصر مختلف مورد نیاز سلول ها بوده و امکان تامین اکسیژن و مواد غذایی لازم برای سلول ها را فراهم می آورد. این رگ ها پس از خروج از قلب به صورت مداوم تقسیم شده و در نهایت به شکل یک توری (مویرگ) درمی آیند. در مویرگ به علت فاصله افتادن در میان سلول های پوشاننده جدار رگ از یکدیگر روزنه هایی پدید می آید که از راه آن مواد لازم برای سلول ها از رگ خارج می شود. این توری در واقع موجب خروج مایعی تصفیه شده

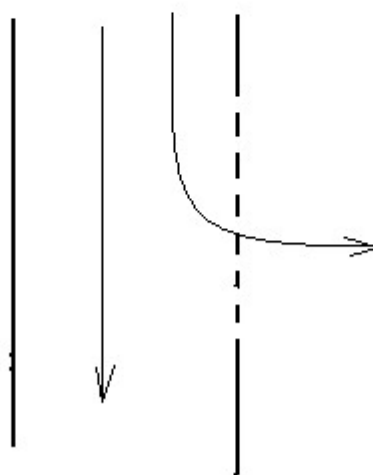
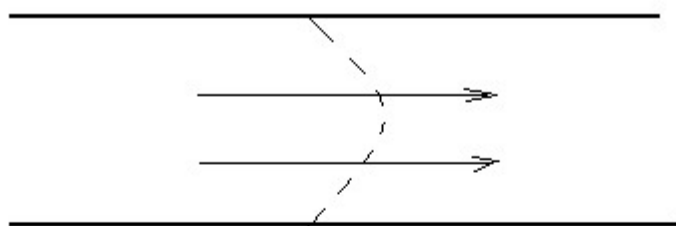
از مویرگ می گردد که فاقد سلول های موجود در خون می باشد. این مایع در فضای خارج سلول ها جریان می یابد. مواد لازم در این مایع به سلول ها رسیده و مواد زائد تولید شده توسط سلول ها وارد آن می گردد. این مایع از راه همان روزنه های موجود در دیواره مویرگ ها به داخل مویرگ بازمی گردد. به این شکل خونی که به قلب بازمی گردد حاوی مواد زائد دفعی سلول ها نیز می باشد. اگر این جریان به همین شکل ادامه یابد و مواد زائد خارج نشود این مواد در بدن جمع می شود. این مواد حالت اسیدی داشته و برای سلول ها زیان آور است. از این رو خون باید در مسیر جریان بعدی از قلب به سوی سلول ها از این مواد پاک شود. با عبور خون از ریه ها گاز دی اکسید کربن حاصل از متابولیسم سلول ها از بدن خارج می شود.

کلیه عضوی است که مسئول خارج کردن مواد زائد محلول از خون و در واقع از جریان آب اطراف سلول ها می باشد. عمل پاک شدن مواد زائد درست مانند یک تصفیه صورت می گیرد.

این تصفیه به چه شکل کار می کند؟

برای تصفیه کردن یک محلول و مخلوطی از مواد به یک توری نیاز است. برای انجام تصفیه جریانی از محلول از این توری عبور داده می شود. این توری ممکن است در مسیر عبور جریان قرار گیرد. (شکل ۱) قرار گرفتن توری مذکور بر سر جریان نه تنها نمی تواند

هدف نهایی در تصفیه خون را تامین نماید بلکه می تواند به صورت مانعی بر سر جریان عمل نماید. از این رو از این شکل توری نمی توان برای تصفیه جریان خون استفاده کرد. برای انجام یک تصفیه مداوم و کارآمد این توری را می توان در کنار دیواره مسیر عبور جریان قرارداد. به این شیوه به کمک نیرویی که به علت فشار جریان به دیواره مسیر وارد می گردد عمل تصفیه صورت پذیرد. (شکل ۱) این روش امکان جمع آوری مداوم مایع تصفیه شده را نیز فراهم آورده و مایع تصفیه شده را می توان برای دفع به یک مسیر لوله مانند (لوله های کلیه) وارد نمود.



شکل ۱- در تصویر بالا توری در مسیر قرار داده شده است. این امر خود می تواند موجب بروز مقاومت در مسیر گردد. هم چنین با این روش نمی توان مایع تصفیه شده را به

صورت مداوم خارج نمود. تصویر پائین روش مناسبی را برای برقراری جریان گردش آب، انجام تصفیه مداوم و جمع آوری مایع تصفیه شده نشان می دهد.

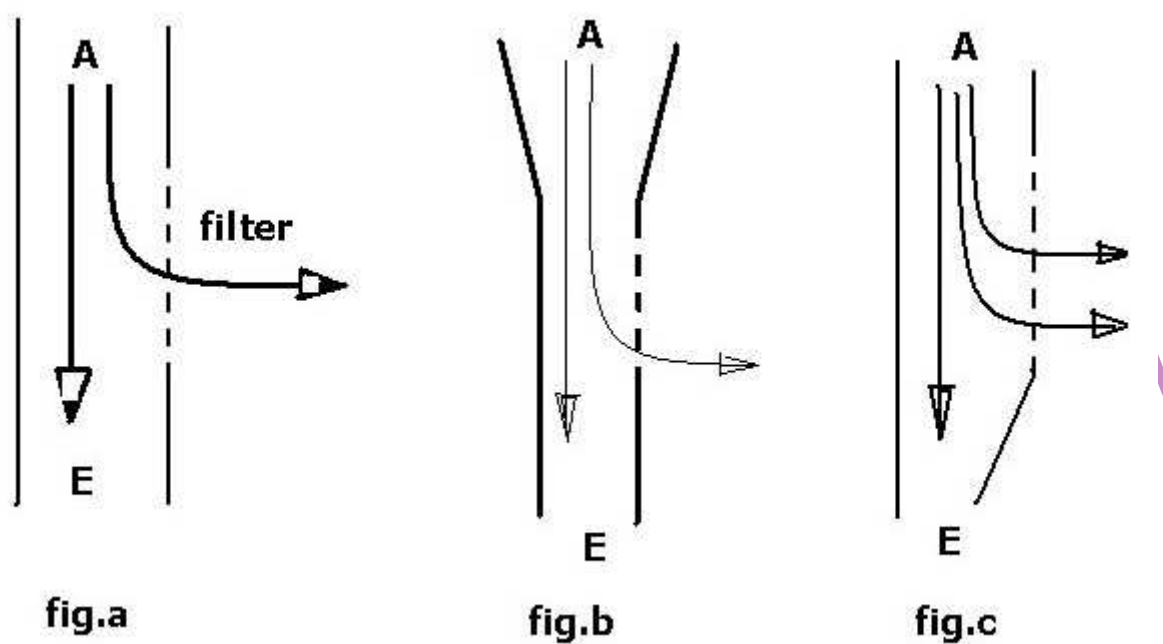
از آن جا که بیشترین فشار موجود در مسیر عبور خون به کلیه ها که برای انجام فرآیند تصفیه مناسب است در مسیر شریانی یافت می شود بهترین جا برای جای دادن توری مورد نظر برای انجام فرآیند تصفیه، بخشی از شریانی است که خون را از قلب به بافت کلیه می رساند. در واقع این تصفیه به صورت دائم در حال انجام است و خونی که از راه ورید کلیه به گردش خون سیستمیک بازمی گردد خون اصلاح شده و فاقد مواد زائد حاصل متابولیسم سلول ها و متعادل از نظر اسیدیته است.

این توری با نوع توری که در مویرگ های معمولی در بافت های دیگر وجود دارد تفاوت دارد. روزه های این توری امکان خروج حجم زیادی از یک مایع تصفیه شده از خون را فراهم می آورد. این تصفیه مانند همان چیزی که در مویرگ ها در بافت های دیگر دیده می شود به صورت غیر فعال صورت می پذیرد و نیروی خود را از پمپ قلب تامین می کند. به این شکل حجم زیادی به شکل مایع تصفیه از این توری خارج می گردد. از آن جا که سیستم جریان خون و مایعات در بدن انسان یک سیستم بسته است خروج این حجم زیاد موجب خالی شدن رگ ها از خون و مایع مورد نیاز سلول ها می شود. برای حل این مشکل مایع تصفیه شده در یک مسیر (لوله های کلیه) وارد شده و در عبور از این مسیر مقدار زیادی از آب و مواد مورد نیاز سلول ها که در زمان تصفیه همراه با مواد زائد دفعی

وارد این مایع شده است دوباره جذب (پدیده بازجذب) می شود. این عمل در لوله های کلیه به صورت فعال (با مصرف انرژی) و یا به شکل غیر فعال (بدون مصرف انرژی) صورت می پذیرد.

توری تصفیه کننده در مسیر شریانی قرار دارد که خون را به کلیه می رساند. بخشی از این شریان که قبل از توری قرار دارد و خون را به توری می آورد (آوران) می تواند به شکلی متفاوت از بخشی که خون را از محل توری می برد (وابران) عمل کند. (شکل ۲) با این خاصیت مقدار مطلق مایعی که از این توری تصفیه می شود می تواند تغییر کند و هم چنین نسبتی از خون ورودی به شریان آوران که از این توری تصفیه شده وارد لوله های کلیه می گردد، می تواند در شرایط مختلف بر حسب نیاز بدن ثابت مانده و یا کم شود. اگر در این مجموعه فقط شریان آوران تنگ شود (و یا شریان آوران نسبت به شریان وابران بیشتر تنگ گردد) و جریان عبوری از شریان کلیه از حد مشخصی کمتر نشود مقدار مطلق مایع تصفیه شده نیز کاهش یافته ولی نسبت مقدار تصفیه شده به خون ورودی به محل توری ثابت می ماند. در همین شرایط اگر میزان جریان خون شریان آوران از حد مشخصی کمتر گردد دیگر شاید فشار لازم برای انجام تصفیه از توری موجود در مسیر کافی نبوده و نسبت مقدار مایع تصفیه شده به میزان جریان خون ورودی به این تصفیه خانه کاهش یابد. در مقابل اگر شریان وابران تنگ گردد فشار بر دیواره این توری که پیش از شریان وابران جای گرفته است بیشتر شده، جریان مایع تصفیه شده به سوی لوله های کلیه

افزایش می یابد. پس با تنگ یا گشاد شدن شریان های آوران و وبران و تنظیم مقاومت در مقابل عبور جریان در این دو بخش می توان میزان مایع تصفیه شده را به دقت و بر حسب نیاز بدن تنظیم نمود. (شکل ۲)



شکل ۲- a- شریان آوران A، شریان وبران E و مایع تصفیه شده، b- شریان آوران تنگ شده جریان خون کلیه و میزان مایع تصفیه شده کاهش یافته است، c- شریان وبران تنگ شده و جریان مایع تصفیه شده افزایش یافته است.

این توری که از یک مجموعه مویرگی تشکیل یافته، برای آن که حجم کمتری در بافت کلیه اشغال کند و فضای بیشتری برای تصفیه پدید آورد، در روی خود جمع شده به شکل یک کلافه در هم پیچیده (گلومرول) عروقی در آمده است. میزان مایع تصفیه شده به سطح روزنه های موجود در این توری و هم چنین به ضخامت مسیری که مایع تصفیه شده باید از این روزنه ها عبور یابد بستگی دارد. نکته جالب آن است که با جمع شدن این توری به شکل یک کلافه فضایی در بین حلقه های این کلافه به وجود می آید. (شکل ۳- فضاها S) اگر عاملی موجب تنگ شدن این حلقه ها شود مقدار مایع تصفیه شده را کاهش خواهد داد. در این فضاها سلول هایی (مزانژیال) وجود دارد که می توانند با تنگ کردن این حلقه ها مقاومت در مقابل تصفیه را افزایش داده از میزان تصفیه بکاهند.

مایع تصفیه شده از گلومرول ها وارد فضایی می شود (کپسول بومن) که به لوله های کلیه می رسد. میزان مایع وارد شده به کپسول بومن به فشار خون گلومرول بستگی دارد. با وارد شدن مایع به کپسول بومن فشار در این فضا افزایش می یابد. به این شکل میزان تصفیه در گلومرول به اختلاف فشار گلومرول و کپسول بومن بستگی خواهد داشت.

با خارج شدن مایع تصفیه شده از گلومرول و عدم خروج پروتئین ها از گلومرول به کپسول بومن اختلاف فشار اسموزی بین فضای درون گلومرول و کپسول بومن پدید می آید که مانع خروج مایع از گلومرول می شود. اگر مقداری پروتئین در مایع تصفیه شده وجود داشته باشد این پروتئین نیز با فشار اسموزی خود موجب تقویت ورود مایع به

کپسول بومن می گردد. از این رو مقدار مایع تصفیه شده به اختلاف فشار هیدرواستاتیک بین گلومرول و کپسول بومن و اختلاف فشار اسموزی گلومرول و کپسول بومن بستگی خواهد داشت. رابطه میان این فشارها براساس رابطه استارلینگ تعریف می شود. (رابطه ۱)

$$GFR=K[(P_{glu}-P_b)-(\pi_{glu}-\pi_b)]$$

رابطه ۱- رابطه استارلینگ

در این رابطه GFR میزان تصفیه گلومرولی، K ضریب تصفیه، P_{glu} فشار هیدرواستاتیک گلومرول، P_b فشار هیدرواستاتیک کپسول بومن، π_{glu} فشار اسموزی گلومرول و π_b فشار اسموزی کپسول بومن است.

همان طور که اشاره شد میزان تصفیه گلومرولی (GFR) نسبت به جریان خون (RBF) و یا پلاسمای (RPF) ورودی به گلومرول از راه شریان آوران و یا نسبت میزانی از خون و یا پلاسمای که از این توری کلافه مانند تصفیه می شود (GFR/RPF or GFR/RBF) نشانه خوبی از میزان نسبی انقباض دو شریان آوران و وبران است. از آن جا که جریان خون و یا پلاسمای در کلیه به فشار و مقاومت در مسیر عبور خون و پلاسمای بستگی دارد اگر بتوان راهی برای محاسبه نسبت تصفیه گلومرولی و جریان خون و یا پلاسمای ورودی به گلومرول (که همان جریان خون کلیه و یا جریان پلاسمای ورودی به کلیه است) یافت می توان به نسبت فشار و انقباض در این دو شریان دست یافت.

اهمیت نسبت GFR/RBF در چیست؟

فصل دوم: پاک سازی (Clearance)

نویسنده: دکتر رضا نجات

اهمیت نسبت GFR/RPF در چیست؟

در انتهای فصل اول این سؤال برای به کار انداختن قدرت تصور و تفکر شما در رابطه با بررسی کارکرد کلیه مطرح شد. پیشنهاد می شود قبل از شروع این فصل در این رابطه فکر کنید و آن چه که ممکن است از این رابطه با توجه به گفته های فصل اول به اندیشه شما وارد می شود بیان کنید.

همان طور که در فصل اول عنوان شد تصفیه در گلومرول ها در محل یک توری انجام می شود که در میان دو شریان قرار دارد؛ شریان آوران و وایران. جای گرفتن این توری در این محل از آن جا اهمیت دارد که نه تنها فشار لازم برای تصفیه را فراهم می آورد بلکه همان طور که در شکل ۲ در فصل اول نشان داده شد با تغییر قطر دو شریان پیش و پس از محل این توری تصفیه کننده، می توان میزان حجمی از پلاسمای تصفیه شده را که به کپسول بومن می رسد تغییر داد. در واقع نسبت GFR/RPF به ترتیب نشانگر نسبتی از جریان پلاسمای عبوری از شریان های کلیه است که در زمان تصفیه گلومرولی به ترتیب پلاسمای جدا شده وارد کپسول بومن می گردد. میزان فشار در محل این توری همان طور که در

فصل اول بیان شد و هم چنین تعادل میان انقباض دو شریان آوران و وبران حجم این بخش را تعیین نموده و نسبت GFR/RPF در واقع نشانگر تاثیر انقباض دو شریان آوران و وبران نسبت به یکدیگر بر روی این حجم تصفیه شده است. هنگامی که فقط شریان آوران تنگ شود و قطر شریان وبران تغییر نکند پلاسمایی که به محل توری می رسد کاهش یافته ولی نسبت GFR/RPF تغییر نخواهد کرد (اگر چه میزان مطلق GFR کاهش خواهد یافت) (شکل b۲ در فصل ۱). اما اگر شریان وبران تنگ شود و قطر شریان آوران تغییر نکند نسبت GFR/RPF افزایش می یابد (شکل c۲ در فصل ۱).

در مراحل اول و موارد خفیف تا متوسط هیپوولمی و یا شوک با تحریک دستگاه عصبی خود مختار و مجموعه رنین - آنژیوتانسین - آلدوسترون شریان وبران بیشتر از شریان آوران تنگ می شود. در این دو وضعیت حجم در گردش مایعات بدن به طور نسبی کافی و ادامه دفع مواد زائد از اهمیت بیشتری نسبت به حفظ حجم در گردش برخوردار است. به این شکل اگر چه جریان کلی خون کلیه کاهش می یابد و حجم ادرار به میزانی متناسب با کاهش جریان خون کلیه کاهش می یابد اما حجم بیشتری از پلاسمایی که از گلومرول ها عبور کرده تصفیه می شود و نسبت GFR/RPF افزایش می یابد. به این صورت در این وضعیت که ادامه دفع مواد زائد مهم تر از حفظ حجم در گردش مایعات بدن می باشد نیاز فیزیولوژیک تامین شده دفع مواد زائد با آن که جریان خون کلیه و حجم ادرار کاهش یافته، ادامه می یابد. در مراحل پیشرفته و شدید شوک و یا هیپوولمی شریان آوران نیز برای

حفظ مایعات بدن تنگ شده جریان کلی خون کلیه کاهش یافته و به شکل متناسب از میزان GFR نیز کاسته می شود. به این صورت در ازای باقی ماندن نسبی مواد زائد در بدن با کاهش شدید در حجم ادرار، حجم در گردش مایعات در بدن که در این وضعیت به شدت مورد نیاز است حفظ می گردد.

باید خاطر نشان ساخت که نسبت GFR/RPF به نام کسر تصفیه (filtration fraction) خوانده می شود و معیار مهمی در ارزیابی تعادل میان انقباض دو شریان آوران و وبران است. این میزان در حدود ۲۰-۲۵ درصد می باشد.

چگونگی برآورد نسبت GFR/RPF ؟

برای آگاهی یافتن از چگونگی برآورد این نسبت، اول باید نگرشی را که از پاک سازی مواد در کلیه و چگونگی بررسی آن وجود دارد، مورد گفتگو قرار داد.

بار دیگر به سلول های اولیه توجه کنید. این سلول ها در محیط آب به وجود آمدند. مواد مورد نیاز این سلول ها از محیط آب برداشت می شد و مواد حاصل از متابولیسم سلول ها به محیط آب آزاد می گردید. جریان آب در اطراف این سلول ها به اندازه ای کافی بود که بتواند مواد زائد آزاد شده از سلول های اولیه را از محیط آن ها خارج سازد چه بسا که برخی از این مواد برای این موجود اولیه آسیب رسان بودند. با پرسلولی شدن و ورود موجودات زنده به محیط خشکی مایعات خارج سلولی در یک محیط بسته جریان یافت و

مسئولیت رساندن مواد مورد نیاز و خارج کردن مواد زائد را از اطراف سلول به عهده گرفت. حال با این شرایط مواد زائد باید وارد آبی که در اطراف سلول جریان دارد، شوند تا از محیط سلول خارج گردند. این جریان آب باید به اندازه ای کافی باشد تا بتواند مواد زائد را از اطراف سلول با خود برده و از سلول دور و در واقع آن ها را از محیط سلول پاک سازی نماید. اگر میزان جریان مایع خارج سلولی از حد بحرانی کمتر شود دیگر مواد زائد در اطراف سلول تجمع یافته موجب آسیب سلول می شوند. برای ارزیابی کارایی این مجموعه باید میزان جریان (حجم در واحد زمان) مایع خارج سلولی را برآورد کرد. با فرض بر این که در واحد خاصی از زمان (مانند یک ثانیه یا یک دقیقه یا یک ساعت و ...) مقدار A (میلی گرم، گرم، ...) از ماده Y از سلول به مایع خارج سلولی آزاد می شود و با آزاد شدن این مقدار از ماده Y غلظت آن در مایع خارج سلولی به [A] می رسد حاصل تقسیم

$$A/[A]$$

دارای واحد حجم در واحد زمان بوده که همان واحد جریان است. از حاصل ضرب غلظت در حجم، مقدار مطلق ماده محلول و از تقسیم مقدار مطلق بر حجم، غلظت و از تقسیم مقدار مطلق بر غلظت، حجم به دست می آید. اگر این محاسبات در واحد خاصی از زمان برآورد شوند حجم به دست آمده از تقسیم مقدار مطلق بر غلظت نشانگر حجم در زمان و در واقع میزان جریان خواهد بود. در واقع از حاصل این تقسیم می توان به میزان

جریان مایع خارج سلولی در اطراف سلول دست یافت. این معیار همان قدرت پاک سازی مایع خارج سلولی است و به آن میزان پاک سازی (clearance) گفته می شود. به شکل دیگر:

$$Cl = A/[A]$$

حال فرض کنید میزان حلالیت این ماده در حدی باشد که هر آن چه که وارد مایع خارج سلولی شود در آن به صورت محلول باقی بماند و حجم مایع در گردش در اطراف سلول تغییر نکند در این صورت اگر مقدار ماده آزاد شده از سلول برای مثال دو برابر شود غلظت آن هم در جریان مایع عبوری از اطراف سلول دو برابر می گردد. در این صورت نسبت $[A]_2/[A]_1$ همان نسبت $A/[A]$ خواهد بود و در واقع برای دور کردن این مقدار از ماده Y از اطراف سلول بازهم با حفظ این شرایط به همان میزان پاک سازی نیاز است. نکته مهم آن است که میزان حلالیت این ماده باید در حدی باشد که هر آن چه که از این ماده وارد مایع خارج سلولی شود به صورت محلول باقی بماند و با افزایش مقدار ماده آزاد شده به مایع خارج سلولی غلظت آن هم به همان میزان افزایش یابد. در محیط بدن انسان میزان حلالیت مواد مختلف موجود در مایع خارج سلولی و حجم در گردش به گونه ای است که به حالت اشباع نمی رسد. به این شکل میزان پاک سازی مورد نیاز (حجم مورد نیاز از مایع خارج سلولی در واحد زمان که یک ماده را از سلول دور می سازد) با آن که مقدار مطلق از ماده دفع شده در زمان های مختلف تغییر می کند، بدون تغییر می ماند. در

واقع میزان جریان مایع خارج سلولی در حالت فیزیولوژیک در حدی است که می تواند مواد زائد را به راحتی از سلول ها پاک سازی کند.

مایع خارج سلولی مواد زائد را به کلیه ها رسانده و از آن جا این مواد دفع می شوند. فرض کنید در محل تصفیه در گلومرول ها همان ماده Y که از سلول دفع شده و غلظتی معادل $[A]$ در مایع خارج سلولی پدید آورده است به کلیه رسیده و مقدار B از همان ماده در واحد زمان از گلومرول تصفیه شود. با صرف نظر کردن از تغییرات کمی که در غلظت ماده Y در زمان انتقال از مایع خارج سلولی به خون پدید می آید و با صرف نظر کردن از تغییرات کمی که در زمان تصفیه شدن خون از گلومرول و ورود مایع تصفیه شده به کپسول بومن در غلظت ماده Y تصفیه شده به کپسول بومن پدید می آید می توان توقع داشت که با ورود مقدار B از ماده Y (که در پلاسما باز هم غلظتی برابر با $[A]$ داشته) به کپسول بومن، غلظت آن باز هم در این کپسول در حد $[A]$ باقی بماند چرا که در زمان تصفیه در گلومرول، پلاسما و ماده محلول در آن به یک نسبت از تصفیه عبور می کنند. از این رو نسبت این دو (یعنی غلظت) مانند آن چه که در خون بوده حفظ می گردد. اگر در مسیر انتقال این ماده Y از گلومرول تا مثانه تغییری در مقدار دفعی آن در واحد زمان (B) پدید نیاید همین مقدار از ماده Y را می توان در همان واحد زمان در ادرار دفعی یافت. باید توجه داشت که در مسیر انتقال این ماده از گلومرول تا ادرار دفعی میزان آبی که این ماده محلول را در خود حمل می کند تغییر می یابد. از این رو نسبت ماده محلول و حلال

(آب ادرار) و یا به عبارت دیگر غلظت ماده Y در ادرار دفعی با غلظت آن در پلاسما متفاوت خواهد بود. اگر این غلظت [B] در نظر گرفته شود و حجم ادرار برابر با V باشد حاصل ضرب [B] و V برابر با B خواهد بود.

$$[B] \times V = B$$

با یک آزمایش ساده می توان غلظت [B] و با اندازه گیری حجم ادرار V را به دست آورد. در واقع در این شرایط گلومرول ها توانسته اند مقدار B از ماده Y را در واحد زمان از بدن خارج نمایند. اما با این مقدار نمی توان کارآیی گلومرول ها را در پاک کردن حجمی از جریان پلاسمایی که به کلیه می رسد مورد بررسی قرار داد. کارآیی این تصفیه را می توان با برآورد حجمی از پلاسما که در واحد زمان در گلومرول ها تصفیه می شود برآورد نمود. برای این منظور همان طور که در مورد برآورد میزان پاک سازی (clearance) مایع خارج سلولی در بالا عنوان شد می توان از حاصل تقسیم مقدار مطلق ماده دفع شده در ادرار در واحد زمان بر غلظت این ماده در پلاسمای تصفیه شده در گلومرول و یا

$$B/[A]$$

به میزان پاک سازی گلومرول دست یافت. در واقع این میزان نشانگر آن حجم از پلاسما است که این مقدار ماده را در خود جای داده و در گلومرول تصفیه شده است.

برای ساده شدن موضوع همان طور که اشاره شد این محاسبه با فرض بر این انجام شد که مقدار ماده تصفیه شده در گلومرول در واحد زمان (B) در طول مسیر از گلومرول تا رسیدن به مثانه تغییری نمی کند. پس با این محاسبه می توان به معیار دیگری نیز دست یافت. اگر این فرض درست باشد در واقع در این محاسبه حجمی از پلاسما که از گلومرول به طور کامل عبور نموده و در ضمن حاوی این مقدار از ماده Y بوده به دست آمده و این همان حجمی است که بدون در نظر گرفتن مواد محلول در آن در واحد زمان گلومرول عبور می کند و نشانگر میزان تصفیه گلومرولی و یا GFR است. به این شکل اگر ماده ای وجود داشته باشد که در گلومرول تصفیه شده و از لوله های کلیه به خون باز جذب نشود و یا از لوله های کلیه به ادرار ترشح نگردد و همان مقداری که از گلومرول تصفیه شده بدون تغییر از ادرار دفع شود میزان پاک سازی آن از کلیه برابر با GFR می باشد. اینولین که یک پلیمر از فروکتوز می باشد دارای این خصوصیت بوده از آن می توان برای برآورد GFR استفاده نمود.

باید اشاره نمود موادی که از گلومرول تصفیه می شوند در طول مسیر عبور از گلومرول تا مثانه از لوله های کلیه عبور نموده و دچار تغییر و تحول می گردند. برخی از مواد از گلومرول تصفیه شده و توسط لوله های کلیه به خون بازگردانده می شوند. در این موارد مقدار مطلق دفع شده از این ماده در ادرار در واحد زمان کاهش یافته، مقدار پاک سازی این ماده (حجمی از پلاسما که در کلیه از این ماده پاک می شود) به علت کم شدن

صورت کسر در محاسبه میزان پاک سازی (مقدار مطلق دفع شده در ادرار در واحد زمان تقسیم بر غلظت پلاسمایی) از میزان تصفیه گلومرولی کمتر می شود. برخی از مواد، علاوه بر آن چه که از گلومرول تصفیه می شوند از لوله های کلیه به درون ادرار ترشح می گردند. در این موارد مقدار دفع شده از این ماده در ادرار در واحد زمان از مقداری که در همین زمان از گلومرول عبور کرده و دفع می شود، بیشتر شده و گویی این که مقدار بیشتری از ماده دفعی از گلومرول عبور نموده و یا حجم بیشتری از پلاسما در همین واحد زمان از آن پاک شده است. به این شکل میزان پاک سازی کلیه از این ماده بیشتر از GFR خواهد بود.

باید اشاره کرد که در هنگام تصفیه در گلومرول بخشی از پلاسما از توری به کپسول بومن وارد می شود و همراه خود مقداری از مواد موجود در پلاسما را به این کپسول و در نهایت به لوله های کلیه وارد می سازد. بخشی از پلاسمایی که از این توری عبور نکرده، از راه شریان و ابران به گردش خونی که از کنار لوله های کلیه عبور می نماید وارد گشته و در نهایت به گردش خون سیستمیک باز می گردد. لوله های کلیه قادرند بخشی از موادی را که از گلومرول تصفیه نشده و وارد جریان خون پس از گلومرول شده اند، برداشت کرده به داخل ادرار ترشح کنند. در این صورت اگر ماده ای در گلومرول تصفیه شده و بخشی از آن که از گلومرول عبور نکرده و وارد شریان و ابران شده است توسط لوله های کلیه به درون ادرار ترشح شود عدد وارد شده در صورت کسر برای محاسبه

میزان پاک سازی این ماده افزایش یافته در حالی که مخرج کسر که همان غلظت ماده مذکور در پلاسما می باشد تغییر نیافته و در نتیجه حاصل کسر که همان میزان پاک سازی ماده مذکور است افزایش می یابد. هر چه این بخش که از لوله های کلیه به ادرار ترشح می شود بیشتر شود میزان پاک سازی این ماده در کلیه افزایش می یابد.

اما میزان پاک سازی در کلیه تا چه حدی ممکن است افزایش یابد؟

با توجه به مطالب بالا می توان دریافت که میزان پاک سازی موادی که از گلومرول عبور نمی کنند (مانند پروتئین ها) و یا موادی که از گلومرول عبور کرده وارد کپسول بومن می شوند ولی توسط لوله های کلیه به طور کامل بازجذب می شوند (مانند گلوکز و اسیدهای آمینه در حالت طبیعی) صفر بوده و همان طور که بر میزان دفع مواد در ادرار افزوده می شود میزان پاک سازی آن ها هم افزایش می یابد. اگر ماده ای از گلومرول عبور کرده و بخشی از آن که از گلومرول وارد کپسول بومن نشده است توسط لوله های کلیه به طور کامل به ادرار ترشح شود این ماده به طور کامل در واحد زمان از کلیه دفع شده و به این شکل بیشترین میزان دفع را از کلیه در واحد زمان خواهد داشت. به این معنی که در این شرایط تمامی ماده ای که در واحد زمان توسط پلاسما به کلیه می رسد توسط کلیه برداشت می گردد و در واقع آن حجم از خون و یا پلاسما که حاوی این ماده بوده است به طور کامل توسط کلیه از این ماده تصفیه شده است. به این شکل میزان پاک سازی این ماده در کلیه معادل آن حجم از پلاسما است که از کلیه عبور کرده است (RPF).

پاراآمینوهیپورات (PAH) دارای چنین خصوصیتی بوده و از میزان پاک سازی آن می توان به میزان جریان پلاسمای کلیه دست یافت.

به این شکل می توان در یافت که میزان پاک سازی یک ماده در کلیه ممکن است از صفر تا عددی برابر با میزان جریان پلازما در کلیه تغییر کند.

با توجه به مطالب بالا برای محاسبه نسبت GFR/RPF می توان از نسبت میزان پاک سازی اینولین به پاک سازی پاراآمینوهیپورات استفاده نمود:

$$\text{GFR/RPF} = \text{CI}(\text{inulin}) / \text{CI}(\text{PAH})$$

باز هم باید به این نکته توجه نمود که میزان پاک سازی بر حسب واحد حجم در واحد زمان بیان می شود و نشانگر مقدار ماده دفعی نیست. اگر کارکرد کلیه در حد کافی و طبیعی باشد و برای مثال مقدار ماده دفعی در پلازما دو برابر شود با ثابت بودن حجم پلازما غلظت این ماده در پلازما دو برابر خواهد شد و مقداری هم که از گلوبولرول تصفیه می گردد دو برابر و غلظت آن هم در مایه تصفیه شده دو برابر خواهد بود. به این شکل صورت و مخرج کسر محاسبه میزان پاک سازی به یک نسبت افزایش یافته و حاصل کسر تغییر نخواهد کرد.

$$\text{CI} = \text{B} / [\text{A}] = 2\text{B} / 2[\text{A}]$$

تا حال مشخص شد که کلیه در واقع یک تصفیه خانه است که از راه صاف کردن خونی که از عضو توری مانند آن (گلومرول) عبور می کند مواد زائد را از خون بر می دارد. پس اگر بتوان میزان خون یا پلاسمایی را که در واحد زمان توسط این توری تصفیه می شود برآورد کرد می توان به توانایی کلیه در تصفیه پلاسما دست یافت. همان طور که در بالا اشاره شد با محاسبه میزان پاک سازی اینولین می توان میزان تصفیه گلومرولی را برآورد نمود. در واقع دقیق ترین روشی که برای این منظور وجود دارد محاسبه میزان پاک سازی اینولین است. اما در عمل از آن جا میزان تولید این ماده در صنعت کم است و همیشه در دسترس نیست از ماده ای برای انجام این امر استفاده می شود که در بدن تولید شده و از کلیه ها دفع می گردد. این ماده کره آتینین نام دارد که از متابولیسم عضلات آزاد می شود. در فصل های بعد به چگونگی انجام این محاسبه خواهیم پرداخت چرا که در حال حاضر باید سیر و چگونگی تولید ادرار را دنبال کنیم.

باید اشاره نمود که این تصفیه خانه در واقع به شکلی قدرت انتخاب دارد چرا که از دفع پروتئین ها و مولکول های بزرگ که بدن به شدت به آن ها نیاز دارد جلوگیری می نماید. هم چنین کلیه قدرت آن را دارد که مواد مورد نیاز خود را که از این توری عبور می کنند دوباره در خود نگه دارد. نکته مهم آن است که با محاسبه GFR می توان دریافت که در حدود ۱۸۰ لیتر پلاسما در روز در این توری تصفیه می شود. این مقدار به حدی است که اگر تغییر و تحول نیابد با ادامه زندگی انسان هم خوانی نخواهد داشت.

چگونه این مایع تصفیه در توری گلومرولی تغییر و تحول می یابد؟

فصل سوم: لوله های کلیه

The tubules of the kidney

گردآورنده: دکتر رضا نجات

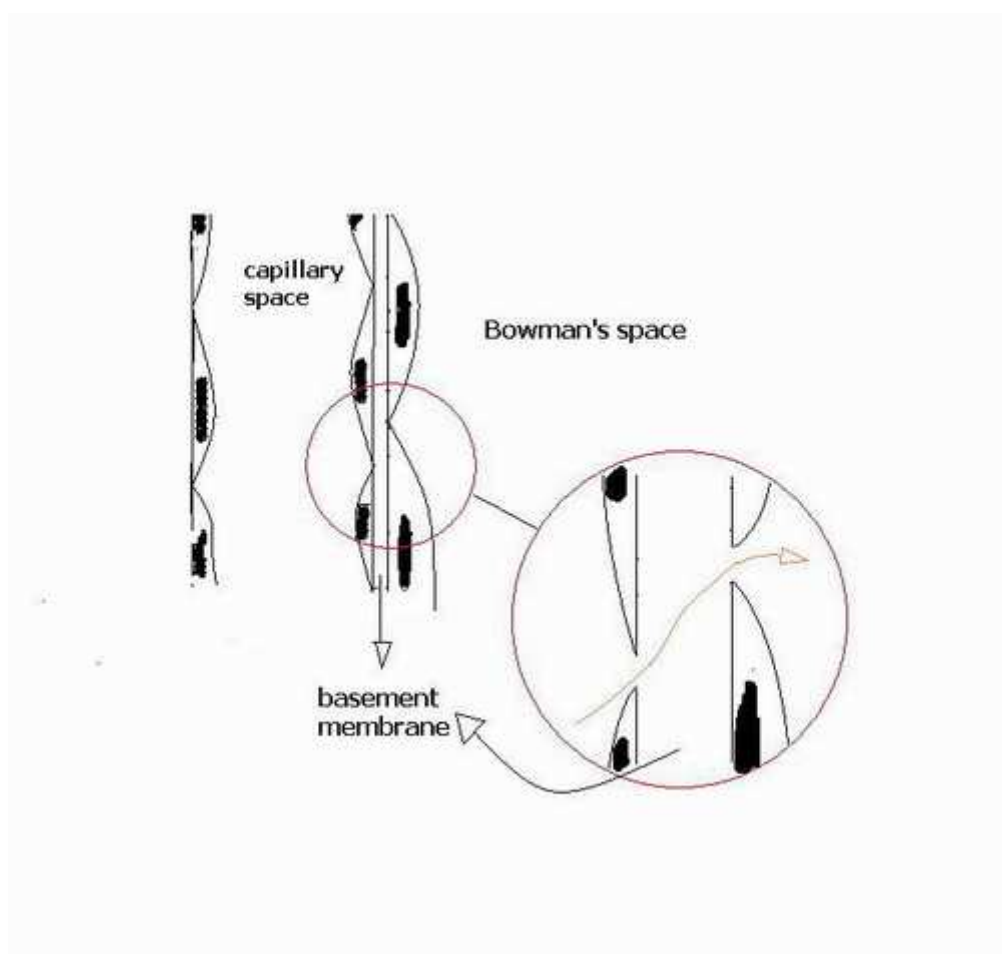
در فصل دوم مفهوم پاک سازی که مسئله بسیار مهمی در درک چگونگی دفع مواد از بدن است مورد بررسی قرار گرفت. همان طور که اشاره شد میزان پاک سازی مواد از بدن توسط کلیه به میزان تصفیه گلومرولی و حجمی از پلاسما که در اثر ترشح این ماده توسط لوله های کلیه به درون ادرار از این ماده پاک می شود، بستگی دارد. به این شکل با تغییر و تحول مایع تصفیه شده میزان پاک سازی مواد از بدن تغییر می کند.

مشخصات مایع تصفیه شده در گلومرول

مایع تصفیه شده در واقع بخشی از پلاسما است که از توری گلومرول عبور نموده وارد کپسول بومن می شود. این توری دارای خاصیت انتخاب نسبی است. محل تصفیه در گلومرول از روزنه هایی تشکیل شده که به واسطه فاصله گرفتن سلول های اندوتلیوم در دیواره مویرگ های گلومرول از یکدیگر به وجود آمده و اجازه عبور بخشی از پلاسما را می دهد. همان طور که در فصل اول گفته شد کپسول بومن از یک لایه سلول پوشانده شده و کلافه مویرگی گلومرول به شکلی در کنار آن قرار می گیرد که واقع سلول های

پوشاننده درون کپسول بومن از خارج روی دیواره این مویرگ ها جای می گیرد. فاصله بین این دو ردیف سلول (از یکسو اندوتلیوم مویرگ و از سوی دیگر سلول های اپیتلیوم در کپسول بومن) توسط پرده ای به نام غشای پایه پر می شود. سلول های اپیتلیال در محل توری نیز از یکدیگر فاصله گرفته و روزنه های ایجاد می کنند که از راه غشای پایه موجود بین سلول های اندوتلیوم و اپیتلیوم با روزنه های بین سلول های اندوتلیوم در ارتباط بوده مسیری را به وجود می آورند که پلازما از راه آن به کپسول بومن راه می یابد.

(شکل ۱)



شکل ۱- ارتباط سلول های اندوتلیوم و اپیتلیوم. به روزنه میان این سلول ها توجه کنید.

قطر این مسیر به اندازه ای است که اجازه عبور ترکیباتی با قطر بیش از $\frac{3}{6}$ نانومتر (مانند هموگلوبین و آلبومین) را نمی دهد. ترکیبات یا عناصری که قطر کمتر از $\frac{1}{8}$ نانومتر (آب، سدیم، اوره، گلوکز، اینولین) دارند به راحتی از این روزنه ها عبور می کنند.

دیواره این روزنه ها دارای بار الکتریکی منفی بوده و از عبور ترکیباتی که بار الکتریکی منفی دارند جلوگیری می کند. از این رو ترکیباتی که قطری بین $\frac{1}{8}$ تا $\frac{3}{6}$ دارند بر اساس بار الکتریکی خود از این روزنه ها عبور می کنند. کاتیون ها به راحتی عبور کرده ولی آنیون ها نمی توانند از این توری عبور نمایند.

به این شکل این توری از خروج ترکیبات حیاتی از بدن که در ساختار و عملکرد اعضای مختلف نقش مهمی ایفا می کنند جلوگیری می کند. اما ترکیبات و عناصر کوچک تر از آن عبور می کنند. همان طور که در فصل گذشته اشاره شد با توجه به حجم بالای تصفیه گلومرولی در روز (۱۸۰ لیتر) در سیر عبور محلولی که از این توری تصفیه می شود باید فرآیند هایی وجود داشته باشند که با بازگرداندن مواد تصفیه شده که مورد نیاز بدن می باشند به خون از دفع آن ها جلوگیری نمایند.

چگونه مایع تصفیه شده در توری گلومرولی تغییر و تحول می یابد؟

برای درک چگونگی تولید ادرار و مواد زائد و در همان حال حفظ مواد مورد نیاز در بدن و بازجذب مواد مورد نیاز تصفیه شده در مایع عبور کرده از توری گلومرول باید به اصل مهم زیر توجه نمود:

اصل اول: هدف از عملکرد کلیه حفظ تعادل در مایعات و مواد محلول در محیط داخلی بدن از راه حفظ مواد مورد نیاز و دفع مواد زائد است.

محیط بدن یک موجود زنده پرسلولی یک محیط بسته است. حجم مایعات در بدن موجود زنده باید به دقت تنظیم شود. غلظت مواد موجود در این محیط بسته نیز باید به دقت در

یک محدوده طبیعی پایدار بماند. هر روز مقداری مایع و ماده غذایی به بدن موجود زنده وارد و مقداری نیز در اثر متابولیسم این مواد غذایی و یا متابولیسم مواد موجود در سلول ها

به وجود می آید که تجمع همه این مواد می تواند غلظت ترکیبات و حجم مایعات بدن را از میزان طبیعی و مورد نیاز خارج سازد. پس اگر حتی موجود زنده تغذیه هم نکند

مقداری ماده رائد در بدنش تولید می شود که باید از بدن او دفع گردد. برای دفع آب اضافی و مواد محلول در آب از بدن باید از راه کلیه ها جریانی از آب به سوی خارج از

بدن برقرار گردد. این مسیر همان طور که در فصل های اول و دوم گفته شد از یک توری تصفیه و لوله هایی که آیین توری را به محیط بیرون ارتباط می دهد تشکیل شده است.

مجموعه این توری (گلومرول) و لوله های کلیه (Tbules) به نام نفرون خوانده می شود. در واقع نفرون واحد عملکرد کلیه بشمار می رود. هر نفرون از راه یک لوله رابط

(Connecting duct) به یک مسیری که ادرار را از چندین نفرون جمع می کند (Collecting duct) وارد می شود. این لوله های جمع آوری کننده به فضایی به نام لگنچه کلیه وارد می شوند. از این محل ادرار به وسیله لوله ای به نام حالب با مثانه مرتبط می شوند. فرآیند های بازجذب و ادامه دفع در بخش هایی از این لوله ها که پیش از لگنچه قرار دارند انجام می شود و لگنچه و بخش پس از لگنچه وظیفه انتقال ادرار را به عهده دارد.

بنابراین فرآیند تولید ادرار در کلیه در سه مرحله صورت می پذیرد. در مرحله اول حجم زیادی از پلاسما در توری گلومرول با قدرت انتخاب نسبی تصفیه می شود. در مرحله دوم این مایع تصفیه شده برای حفظ مواد مورد نیاز بدن که از توری گلومرول عبور نموده، به میزان زیادی بازجذب شده و با ترشح مواد به درون لوله، تحت فرآیندهای تنظیم شده ای تغییر و تحول می یابد. در مرحله سوم ادرار تولید و فرآیند شده توسط لوله های انتقال (حالب) به مثانه منتقل شده و از آن جا از راه اورترا دفع می شود.

با توجه به اصل اول دو عامل مهم در بررسی فیزیولوژی کلیه باید همیشه در نظر باشد: حجم مایعات بدن و حجم مایعات دفعی از یک سو و غلظت (اسمولالیت) مواد موجود در بدن و در ادرار از سوی دیگر.

همان طور که در پیش گفتار و فصل اول اشاره شد باید یادآوری نمود که سدیم در میان مواد محلول در بدن از اهمیت ویژه ای برخوردار است. این امر به علت آن است که اتم هیدراته سدیم بیش از سایر کاتیون های بدن با خود آب حمل می کند. در این جا باید به اصل دیگری اشاره کرد:

اصل دوم: در واقع بر خلاف تصور، سدیم میزان حجم و آب اسمولالیته را در هنگام جابجایی مایعات بدن تنظیم می کند.

این موضوع به مفهوم آن است که با جابجا شدن سدیم از یک فضا به فضای دیگری از بدن، حجم در محلی که سدیم به آن وارد می شود افزایش می یابد. چرا که هر اتم هیدراته سدیم تعدادی مولکول آب با خود حمل می کند و آبی که با این اتم های سدیم جابجا می شود در واقع اسمولالیته محیط را حفظ می نماید و این سدیم است که حجم را با خود جابجا می سازد. بنا بر این هنگامی که آب به محلی وارد می شود اسمولالیته در آن محل کاهش یافته و اسمولالیته در محلی که آب از آن خارج می شود افزایش می یابد.

با توجه به اصل دوم برای پیشگیری از اضافه حجم (یا بروز ورم) و یا کاهش غیر طبیعی در حجم مایعات بدن، میزان سدیم باید در مایعات بدن در محدوده مناسبی حفظ شود و برای این منظور میزان دفع سدیم در ادرار باید در حدی تنظیم شود که مازاد سدیم بدن را دفع کند و از دفع بیش از حد سدیم جلوگیری نماید. برای حفظ اسمولالیته در محدوده دقیق

نیز میزان دفع آب باید به دقت تنظیم گردد. به همین علت مکانیسم هایی که کنترل دقیق حجم مایعات بدن را به عهده دارند عمل خود را از راه کنترل سدیم و مکانیسم های موثر بر اسمولالیته اثر خود را از راه نظارت بر نقل و انتقال آب انجام می دهند.

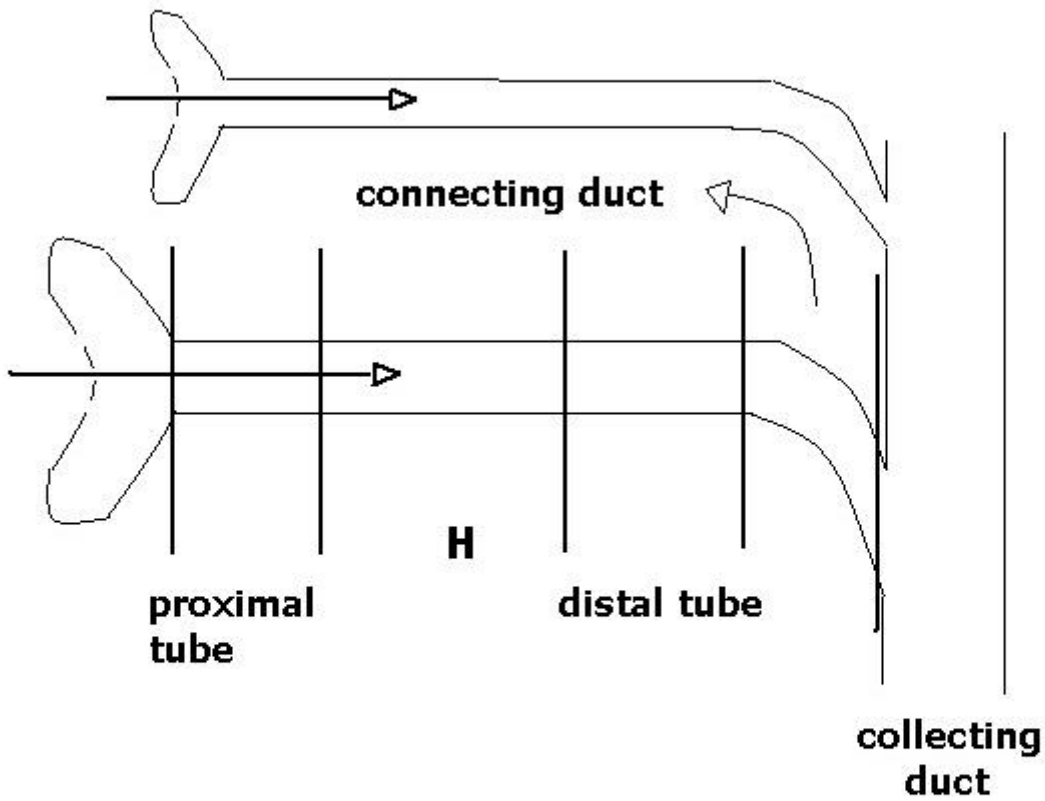
با توجه به تصفیه در گلومرول بر اساس قانون استارلینگ (به فصل اول مراجعه کنید) مقدار زیادی سدیم، بیکربنات و مواد مورد نیاز مانند گلوکز و اسید های آمینه در طی روز به کپسول بومن وارد می شوند. در لوله های کلیه در مرحله اول مقدار زیادی از سدیم و تقریباً تمامی مواد مورد نیاز که تصفیه شده اند به صورت ایزواسموتیک (همراه با مقدار کافی آب که اسمولالیته مایع تصفیه شده را پس از بازجذب باز هم در حد پیش از بازجذب نگه می دارد) بازجذب می شود. این مرحله در بخشی از لوله های کلیه انجام می شود که در نزدیکی کپسول بومن قرار دارد. از این رو به آن لوله پروگزیمال (نزدیک به گلومرول) گفته می شود. (شکل ۲)

در مرحله بعد باز جذب آب و سدیم از هم جدا شده به این شکل اسمولالیته مایع موجود در لوله های کلیه در عبور از این بخش و اسمولالیته فضای انترستیسیل اطراف این بخش از لوله تغییر می نماید. به این صورت سدیم بدون همراهی با آب در این بخش از لوله جابجا شده در فضای انترستیسیل اطراف لوله به شکلی ته نشین می شود که در صورت نیاز می تواند حجم متناسبی از آب را بر اساس نیاز بدن جابجا کند. در واقع در این محل با توجه به اصل دوم (به بالا مراجعه کنید) امکان جابجایی مقدار زیادی آب فراهم می آید.

به عبارت دیگر در این محل با جابجایی آب که از جابجایی سدیم جدا شده است اسمولالیتته محیط لوله و درون آن نیز تغییر می یابد. این مکانیسم امکان بازجذب یا دفع آب براساس نیاز اسموتیک بدن را فراهم می سازد. این مرحله در بخشی از لوله ها صورت می گیرد که به علت مکانیسم جالب آن در بخش های بعدی توضیح داده خواهد شد.

تا این مرحله مقدار زیادی از سدیم، حجم آب و مواد مورد نیاز تصفیه شده در گلومرول بازجذب شده و در مرحله آخر با ترشح مواد دفعی (سدیم، پتاسیم، یون هیدروژن و ...) و زائد به ادرار غلظت این مواد به دقت در ادرار تنظیم و بازم مقدار باقی مانده از مواد مورد نیاز (سدیم) بازجذب و یا توسط سلول های این منطقه تولید (بیکربنات) می شوند. لوله های دیستال (دور از گلومرول) (شکل ۲) محل انجام این فرآیندها می باشد.

!Error

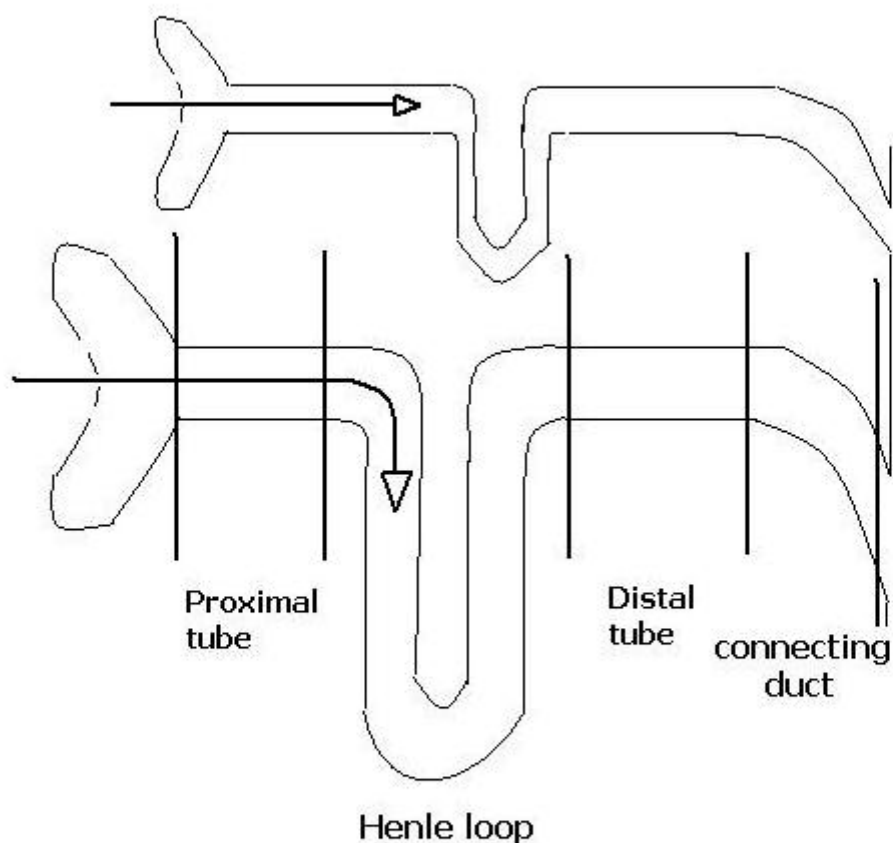


شکل ۲- شمایی از لوله های کلیه به چهار بخش آن (لوله پروگزیمال، H یا بخش هنله، لوله دیستال، لوله رابط) توجه کنید.

مکانیسم های تغییر و تحول ادرار در لوله های پروگزیمال و دیستال در جهت حفظ و یا دفع مواد و جابجایی حجم عمل نموده و در بخش میان لوله های پروگزیمال و دیستال (شکل ۲ بخش H) ارتباط میان باز جذب سدیم و آب شکسته شده و مکانیسم های به کار گرفته شده در تنظیم اسمولالیتیه در این محل انجام می شود. به همین علت این بخش باید در ضمن حفظ ارتباط با لوله پروگزیمال و دیستال به شکلی از آن ها جدا شده تا همسایگی این بخش و محیط اطراف آن بر عملکرد لوله های پروگزیمال و دیستال تاثیر نکند. برای این منظور در آفرینش، این بخش حالت حلقه مانند پیدا کرده و از دو بخش پیش و پس از خود دور می گردد. (شکل ۳) به این بخش از لوله های کلیه قوس هنله گفته

می شود.

!Error



شکل ۳- قوس هنله و رابطه آن با دیگر بخش های نفرون

بنا بر این قوس هنله دارای یک مسیر پائین رونده و یک مسیر بالارونده و حلقه ارتباطی این دو مسیر است. در واقع با عبور ادرار از این قوس حرکت مایع دورن بخش پائین و بالا

رونده قوس در جهت عکس یکدیگر صورت می گیرد (counter current). قوس

هنله خود در کنار لوله های جمع آوری کننده قرار می گیرد. (شکل ۳)

باید توجه داشت که برای بازجذب آب و مواد محلول، لوله های کلیه باید به آن ها اجازه

دهند تا از عرض دیواره خود و به سوی بافت انترستیسیل عبور کرده و یا به عبارت دیگر

به آن ها نفوذپذیر باشند. نفوذپذیری مسیر پائین رونده و بالا رونده قوس هنله نسبت به آب

از یک سو و سدیم از سوی دیگر متفاوت است. مسیر پائین رونده نسبت به آب نفوذپذیر

بوده و نسبت به سدیم غیر قابل نفوذ است. مسیر بالارونده برعکس نسبت به آب غیر قابل

نفوذ و نسبت به سدیم نفوذ پذیر است. به این شکل در این بخش حرکت سدیم و آب از

یکدیگر جدا می شود. (شکل ۴)

وجود این حالت حلقه مانند به عملکرد این بخش که تنظیم آب و اسمولالیت می باشد

کمک می کند. چرا که با ایجاد یک مکانیسم سیفون مانند امکان ته نشین شدن املاح را

درست در محل حلقه قوس خود فراهم آورده غلظت سدیم در فضای انترستیسیل در

اطراف قوس افزایش می یابد. از طرف دیگر قوس هنله دو مسیر را در کنار هم به شیوه ای

قرار می دهد که جریان در آن ها در عکس هم بوده و اضافه شدن لوله های جمع آوری

کننده مسیر سومی را در کنار دو بخش بالا و پائین رونده قرار می دهد که می تواند اثر

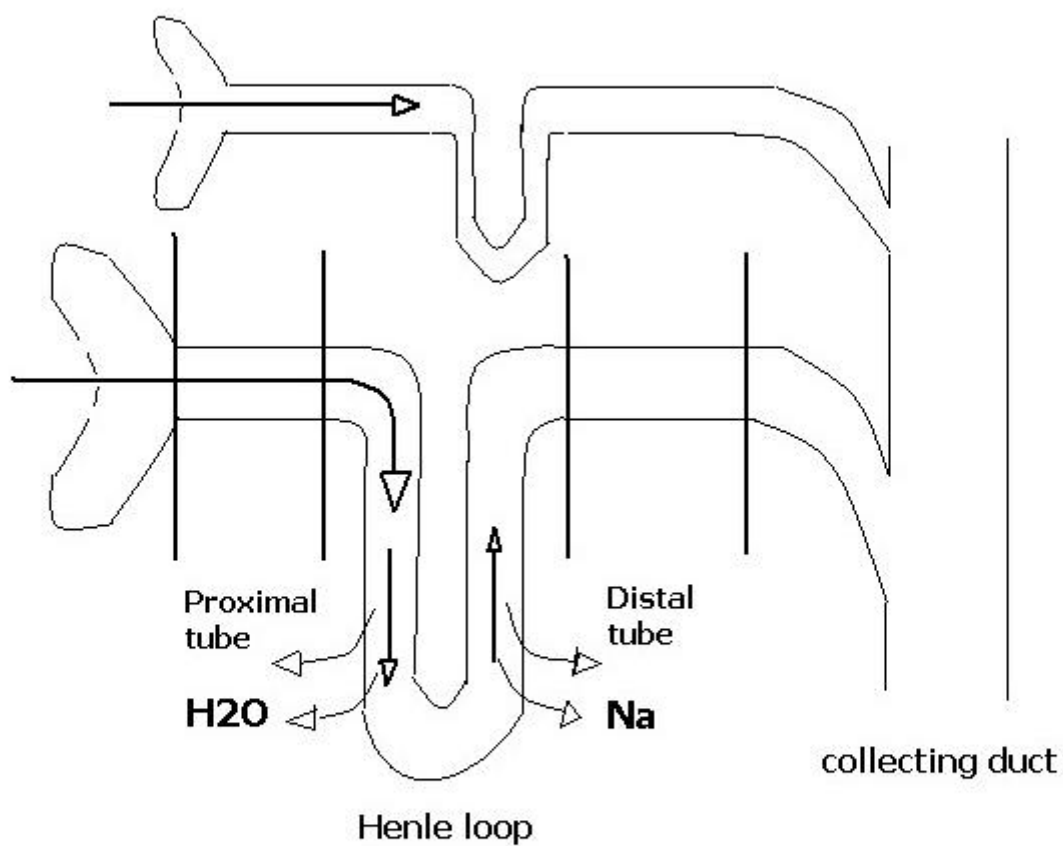
ناشی از جریان معکوس در دو بخش را تشدید کرده با توجه به تفاوتی که در دو بخش

قوس هنله در نفوذپذیری نسبت به آب و سدیم وجود دارد موجب تشدید در ته نشین شدن

سدیم در محل حلقه قوس و جابجایی آب گردد (multiplier counter-current)

(system). بحث در رابطه با این مکانیسم در فصل های بعد ادامه خواهد یافت.

!Error



www.kandocn.com

شکل ۴- به جدایی باز جذب آب و سدیم توجه کنید.

تا حال مشخص شد که ادرار در واحدهای نفرون تولید شده و در طی مسیر از کپسول بومن تا لگنچه کلیه تغییر و تحول می یابد. پرسش مهم آن است که چه مکانیسم هایی موجب بازجذب سدیم و مواد تصفیه شده در گلومرول و ترشح مواد زائد به درون لوله های کلیه می شوند.