

تنظیم کلیوی آب و الکترولیت‌ها

دکتر فرخ شادان

گروه فیزیولوژی دانشگاه علوم پزشکی تهران

ترکیب الکترولیتی بخش‌های مختلف مایعات بدن در جدول شماره ۱ آورده شده است. همانطور که در جدول مشاهده می‌شود، کاتیون اصلی پلاسما و مایع میان بافتی، «سدیم» است و «پتاسیم»، کاتیون اصلی مایع داخل سلولی است. «کلروبیکنات» آنیونهای اصلی پلاسما و مایع میان بافتی و «فسفات‌ها و پروتئین‌ها» آنیونهای اصلی مایع داخل سلولی هستند.

ماده	پلاسما	مایع میان بافتی	مایع داخل سلولی
سدیم	۱۴۲	۱۴۲	۱۴
پتاسیم	۴/۲	۴/۲	۱۴۰
کلسیم (کل)	۲/۴	۲/۴	حدود صفر
کلسیم (یونیزه)	۱/۲	۱/۲	حدود صفر
منیزیوم	۱/۲	۱/۲	۵/۸
کلر	۱۰۳	۱۰۳	۴
بیکربنات	۲۸	۲۸	۱۰
فسفات‌ها	۴	۴	۷۵
سولفات‌ها	۱	۱	۲
پروتئین‌ها	۷*	۲*	۱۶*

* برحسب گرم در دسی لیتر

جدول ۱ - ترکیب الکترولیتی بخش‌های مختلف مایع بدن (برحسب میلی مول در لیتر)

بطور متوسط شصت درصد وزن بدن انسان را آب تشکیل می‌دهد. چهل درصد باقیمانده وزن هر فرد شامل مواد زیر است: پروتئین ۱۵٪، چربی ۱۷٪، کربوهیدرات ۱٪ و مواد معدنی ۷٪. املاح معدنی بیشتر بصورت نمک‌های کلسیم در استخوانها دیده می‌شوند (۶٪) و مقداری نیز املاح مختلف (۱٪) در آب کل بدن وجود دارد.

آب کل بدن توسط غشاهای سلولی به دو بخش «داخل سلولی» و «خارج سلولی» تقسیم می‌شود. مایع خارج سلولی نیز به نوبه خود توسط جدار مویرگها به دو بخش «داخل رگی» (یا پلاسما) و «خارج رگی» (یا مایع میان بافتی) تقسیم شده است. همان طور که ذکر شد حدود ۶۰٪ وزن بدن آب است. از این مقدار، حدود دو سوم آن (۴۰٪ وزن بدن) در بخش داخل سلولی و یک سوم آن (۲۰٪ وزن بدن) در بخش خارج سلولی قرار دارد. از ۲۰٪ مایع خارج سلولی حدود یک چهارم آن (۵٪ وزن بدن) بصورت پلاسما در داخل رگهای خونی و سه چهارم آن (۱۵٪ وزن بدن) بصورت مایع میان بافتی در فضاها بین سلولی قرار دارد (۱).

مایع داخل سلولی به روشهای مختلف، از طریق غشاهای سلولی در حال مبادله با مایع میان بافتی بوده، تعادل بین دو سوی غشا برقرار است. از طرف دیگر، مایع میان بافتی نیز به روشهای مختلف، از طریق جدار مویرگها در حال مبادله با پلاسما بوده، تعادل بین دو سوی جدار مویرگ برقرار است. بنابراین، ترکیب مایع داخل سلولی تنها در صورتی طبیعی باقی می ماند که ترکیب پلاسما - و بدنبال آن، ترکیب مایع میان بافتی - طبیعی باقی بماند.

مواد غذایی مورد مصرف انسان (مانند انواع سبزیجات و گوشتها) از سلولهای گیاهی و حیوانی تشکیل شده اند و لذا محتوی پتاسیم زیاد و سدیم اندک هستند. به همین دلیل، انسان (برحسب عادت یا سلیقه) کلرورسدیم (نمک طعام) به غذای خود می افزاید. چنانچه انسان از نمک اضافی استفاده نکند، موضوع مهم دفع پتاسیمی است که از طریق غذا وارد بدن می شود. در صورت مصرف نمک طعام اضافی، دفع سدیم نیز (افزون بر پتاسیم حاصل از مصرف سلولهای گیاهی و حیوانی) اهمیت پیدا خواهد کرد.

مایع داخل سلولی به روشهای مختلف، از طریق غشاهای سلولی در حال مبادله با مایع میان بافتی بوده، تعادل بین دو سوی غشا برقرار است.

آب و الکترولیتهای خورده شده، از راه دهان وارد معده و سپس روده می شوند و در آنجا جذب می گردند. افزون بر این، مقداری مایع و الکترولیت نیز بصورت شیرۀ معده، شیرۀ

لوزالمعده و شیرههای روده و صفرا به آب و الکترولیت خورده شده اضافه می گردند و قسمت عمده این مایعات حاوی الکترولیت نیز مجدداً در روده جذب می شوند. مقداری آب و الکترولیت از طریق ششها، پوست، روده بزرگ و کلیه ها (همراه با هوای بازدمی، عرق، مدفوع و ادرار) از بدن دفع می شوند (۱).

روشهای مختلف انتقال مواد از غشاهای عبارتند از انتشار یا دیفوزیون ساده، تصفیه یا فیلتراسیون، انتقال الکتریکی در مورد یونها، اسمز، انتشار تسهیل شده توسط منتقل کننده یا ترانسپورتر، هم انتقالی یا کوترانسپورت، انتقال در دو جهت مخالف یا آنتی پورت، آندوسیتوز ساده، آندوسیتوز توسط گیرنده، اگزوسیتوز، انتقال فعال و سرانجام پمپ تعویض سدیم با پتاسیم یا به اختصار پمپ سدیم.

پردازش آب در بدن

چنانچه انسان آب ننوشد، بازهم مقداری آب در بدن تولید و دفع می شود. تولید اجباری آب ناشی از اکسیداسیون هیدروژن موجود در چربیها، کربوهیدراتها و پروتئینهای رژیم غذایی است و آن را «آب ناشی از متابولیسم» می نامند. مقداری نیز دفع اجباری آب از بدن وجود دارد به این معنی که آب از راه ششها، انتشار از راه پوست، تعرق، مدفوع و ادرار از بدن دفع می شود. در مورد دفع آب از کلیه ها باید توجه داشت که یک میزان حداقل برای حجم ادرار وجود دارد و چنانچه حجم ادرار دفع شده کمتر از این مقدار باشد، دفع فرآورده های حاصل از متابولیسم با اشکال مواجه می شود و این مواد به حالت فوق اشباع درآمده، رسوب می کنند و موجب اختلال

۲۲۰۰	غذا و آشامیدنیها
۲۰۰	متابولیسم
۲۴۰۰	مقدار کل ورودی
	خروج
۲۵۰	ششها
۲۵۰	انتشار از پوست
۱۰۰	تعریق
۱۰۰	مدفوع
۱۵۰۰	ادرار
۲۴۰۰	مقدار کل خروجی

جدول ۳- میزان ورود و خروج آب در یک شخص متوسط با رژیم عادی در مناطق معتدله (میلی لیتر در ۲۴ ساعت)

لیتر آب بیش از حد مورد نیاز برای حفظ تعادل می‌نوشد و این مقدار به حداقل حجم ادرار افزوده می‌شود. در مناطق گرم یا هنگام انجام کار عضلانی، مقداری از گرما بوسیله تعریق دفع می‌گردد. در جریان این امر مقداری آب توسط غدد عرق بر سطح پوست ترشح می‌شود و به همین نسبت باید آب بیشتری مصرف شود (۴، ۵).

نقش کلیه‌ها در پردازش آب

برون‌ده قلبی یا مقدار خونی که در هر دقیقه از بطن چپ وارد سرخرگ آئورت می‌شود، بطور متوسط، ۵۶۰۰ میلی لیتر است که حدود ۲۱٪ آن (تقریباً ۱۲۰۰ میلی لیتر در دقیقه) از کلیه‌ها عبور می‌کند. چون پلاسما اندکی بیش از نصف حجم خون را تشکیل می‌دهد، لذا مقدار جریان پلاسمایی که در هر دقیقه از کلیه‌ها عبور می‌کند،

عمل کلیه‌ها می‌شوند. میزان تولید و دفع اجباری آب در یک شخص متوسط با رژیم غذایی معمولی در مناطق معتدله، در جدول شماره ۲ آورده شده است. همان گونه که از این جدول بر می‌آید، چنانچه فردی هیچ‌گونه آبی با غذایش ننوشد، به اجبار، حدود ۱۲۰۰ میلی لیتر در ۲۴ ساعت، آب از دست می‌دهد. برای جلوگیری از بروز کم آبی ناشی از این امر، انسان باید بطور متوسط حداقل ۱۲۰۰ میلی لیتر در ۲۴ ساعت آب بنوشد تا تعادل آب بدن او به هم نخورد.

انسان معمولاً - برحسب عادت یا سنت - بیش از این مقدار آب (بصورت چای و سایر مایعات) می‌نوشد. بدیهی است که مقدار اضافی آب نوشیده شده نیز بصورت ادرار دفع خواهد شد. میزان ورود و خروج آب در یک شخص متوسط با رژیم غذایی عادی در مناطق معتدله در جدول شماره ۳ نشان داده شده است. همان طور که در جدول مشاهده می‌گردد، انسان معمولاً حدود یک

۲۰۰	تولید متابولیسم
	دفع
۲۵۰	ششها
۲۵۰	انتشار از پوست
۱۰۰	تعریق
۱۰۰	مدفوع
۵۰۰	حداقل حجم ادرار
۱۴۰۰	دفع کل
۱۲۰۰	تفاوت

جدول ۲- میزان تولید و دفع اجباری آب در یک شخص متوسط با رژیم عادی در مناطق معتدله (میلی لیتر در ۲۴ ساعت)

می‌شود، بستگی به غلظت وازوپرسین (هورمون ضد ادراری) در خون دارد.

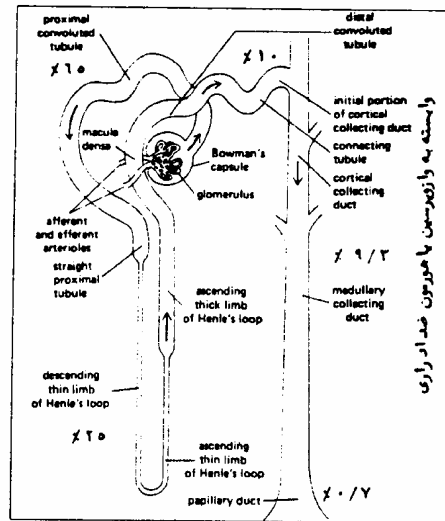
وازوپرسین در هیپوتالاموس ساخته می‌شود. مقدار کل آن در هسته‌های فوق بصری (Supraoptic) و حدود $\frac{1}{6}$ باقیمانده در هسته‌های جنب بطنی (Paraventricular) ساخته شده، با انتقال در طول فیبرهای عصبی در غده هیپوفیز خلفی ذخیره می‌شود و در صورت لزوم از این ناحیه به داخل خون آزاد می‌شود.

وازوپرسین رسپتور V_2 در سلولهای مجاری جمع‌کننده را فعال می‌کند و این رسپتور فعال شده از طریق فعال کردن پروتئین G تحریکی و آنزیم آدنیلات سیکلاز موجب افزایش «آدنوزین مونوفسفات حلقوی» (cAMP) در این سلولها شده، در نهایت سبب افزایش نفوذپذیری این سلولها نسبت به آب می‌شود (۳).

در صورتیکه غلظت وازوپرسین درخون، حدود صفر باشد، تقریباً تمامی 10% فیلترای باقیمانده در مجاری جمع‌کننده، بصورت ادرار رقیق (با غلظت حدود یک چهارم پلاسما) دفع

● برون ده قلبی با مقدار خونی که در هر دقیقه از بطن چپ وارد سرخرگ آئورت می‌شود، بطور متوسط 5600 میلی‌لیتر است که حدود 1200 میلی‌لیتر در هر دقیقه از کلیه‌ها عبور می‌کند. ●

خواهد شد. این حالت «دیابت بی‌مزه» خوانده می‌شود. اما در حضور هورمون وازوپرسین، بسته به غلظت این هورمون در خون، مقادیر مختلفی از آب در مجاری جمع‌کننده بازجذب می‌شود. در صورت وجود



شکل ۱- پردازش آب در کلیه‌ها

حدود 650 میلی‌لیتر در دقیقه است. حدود 19% از این مقدار پلاسما (تقریباً 125 میلی‌لیتر در دقیقه) در گلومرولهای کلیوی فیلتره شده، بداخل لوله‌های ادراری می‌ریزد. این مقدار، موسوم به «میزان فیلتراسیون گلومرولی» (GFR) است و حدود 180 لیتر در 24 ساعت شبانه‌روز محاسبه می‌شود. فیلترای گلومرولی در لوله‌های ادراری، به شرح زیر، پردازش می‌شود (شکل ۱): حدود 65% آن در لوله پیچیده ابتدایی، حدود 25% در قوس هنله و حدود 10% در لوله‌های پیچیده انتهایی بازجذب می‌شود و در نهایت تنها 10% از فیلترای بداخل مجاری جمع‌کننده کلیه می‌ریزد. سلولهای مفروش‌کننده مجاری اخیر نسبت به آب نفوذناپذیرند اما «وازوپرسین» یا «هورمون ضد ادراری» (ADH) می‌تواند باعث القای نفوذپذیری به آب در این سلولها شود. به این ترتیب، بازجذب آبی که وارد مجاری جمع‌کننده

حداکثر غلظت هورمون وازوپرسین، بیشتر حجم فیلتر با جذب می‌شود و ادرار کم حجم و غلیظ (با غلظتی حدود چهار برابر پلاسما) دفع می‌گردد. در حال عادی غلظت هورمون وازوپرسین در خون چنان تنظیم می‌شود که حدود ۹/۲٪ فیلتر در مجاری جمع‌کننده بازجذب می‌شود و فقط حدود ۰/۸ درصد از فیلتر (حدود یک میلی‌لیتر در دقیقه) بصورت ادرار دفع می‌گردد. این مقدار، برابر با حدود ۱/۵ لیتر ادرار در شبانه‌روز است.

پردازش سدیم توسط کلیه‌ها

حدود ۱۶۰ میلی‌مول سدیم بطور متوسط در هر روز از راه غذا وارد بدن می‌شود که تقریباً ۱۰ میلی‌مول آن سدیم اندک موجود در خود مواد غذایی و باقیمانده آن (۱۵۰ میلی‌مول)، سدیم موجود در کلرورسدیم (نمک طعام) اضافه شده به غذا است. دفع سدیم از بدن در حال عادی از سه راه عرق، مدفوع و ادرار انجام می‌شود. حدود ۵ میلی‌مول سدیم از راه عرق و حدود ۵ میلی‌مول سدیم از راه مدفوع دفع می‌گردد که مجموع این دو مقدار برابر با سدیم موجود در خود مواد غذایی است. باقیمانده سدیم (۱۵۰ میلی‌مول) از راه ادرار دفع می‌شود. به عبارت دیگر، تقریباً تمامی سدیم اضافه شده به غذا توسط نمک طعام در حال طبیعی از راه ادرار دفع خواهد شد. بدیهی است که دفع زیاد سدیم از راه مدفوع در انواع اسهالها و نیز دفع سدیم از راه عرق در هنگام تعریق شدید، موجب دفع بیش از اندازه آن از بدن و لذا کمبود سدیم خواهد شد که باید توسط خوردن کلرورسدیم یا

تزریق محلول آن جبران گردد (۴).

بطور کلی می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که اولاً، اگر انسان در حال عادی هیچگونه نمک طعامی به غذای خود اضافه نکند کماکان تا حدود زیادی در حال تعادل سدیمی باقی خواهد ماند و ثانیاً، اضافه کردن نمک طعام به غذا، در صورت سالم بودن کلیه‌ها، اشکالی ایجاد نخواهد کرد. اما اگر کلیه‌ها دچار آسیب باشند و نتوانند سدیم اضافی را دفع کنند تجمع سدیم و بدن‌بال آن احتباس آب در بدن پیش خواهد آمد.

چون حدود ۱۸۰ لیتر پلاسما در شبانه‌روز در گلو مرولها فیلتر می‌شود و هرلیتر پلاسمانیز محتوی ۱۴۰ میلی‌مول سدیم است لذا مقدار زیادی سدیم (حدود ۲۵۲۰۰ میلی‌مول) در ۲۴ ساعت شبانه‌روز وارد لوله‌های ادراری می‌گردد. از این مقدار حدود ۶۵٪ در لوله پیچیده ابتدایی، ۲۷٪ در بخش ضخیم شاخه بالا و قوس هنته و ۷/۴٪ در لوله پیچیده انتهایی و لوله جمع‌کننده باز جذب می‌شود و ۰/۶ درصد باقیمانده (حدود ۱۵۰ میلی‌مول) که تقریباً برابر با مقدار سدیم اضافه شده به غذا است از راه ادرار دفع می‌گردد. باز جذب سدیم در بخشهای

❖ کلسیم علاوه بر نقش مهمی که در استحکام بخشیدن به استخوانها بازی می‌کند، در کنترل و تنظیم تمامی اعمال بدن و بویژه تحریک پذیری اعصاب محیطی دخالت دارد. ❖

مختلف لوله‌های ادراری به روشهای متعددی شامل انتشار تسهیل شده، هم انتقالی با گلوکز و اسیدهای آمینه، هم انتقالی با پتاسیم و ۲ کلر،

آنتی پورت با مواد مختلف و نیز انتقال فعال توسط پمپ سدیم انجام می‌شود.

مهمترین هورمون‌هایی که در باز جذب و دفع سدیم توسط کلیه‌ها دخالت دارند عبارتند از آلدوسترون، آنژیوتانسین II و «پپتید دهلیزی دفع کننده سدیم» (ANP). داروهای زیادی وجود دارند که با جلوگیری از باز جذب سدیم در لوله‌های ادراری موجب دفع سدیم همراه با آب از راه ادرار می‌شوند. این داروها یا دیورتیکها با مکانیسمهای متفاوتی در قسمت‌های مختلف لوله‌های ادراری عمل می‌کنند.

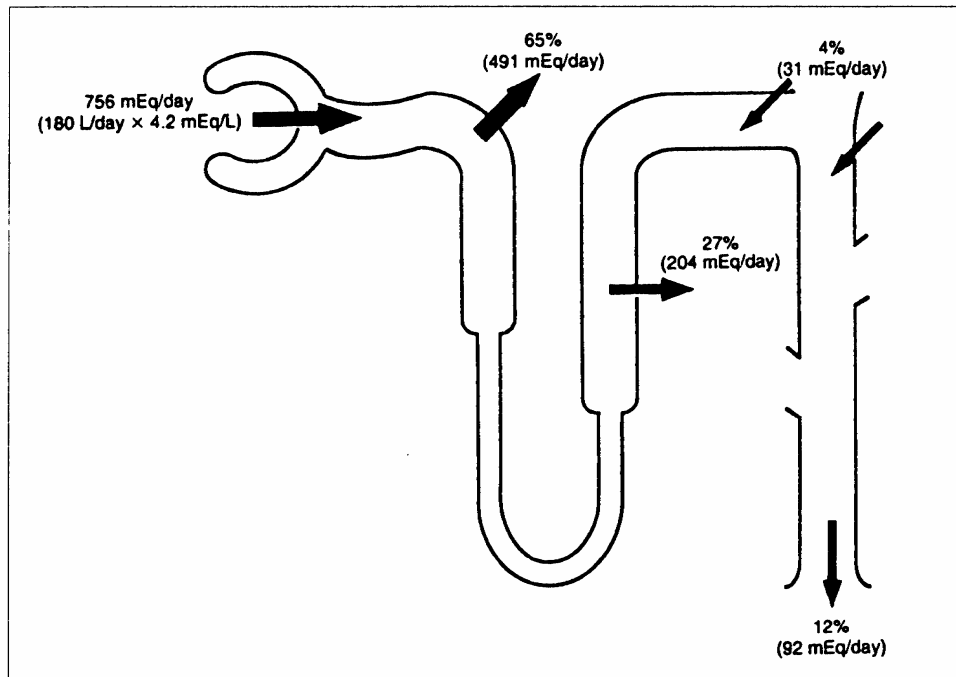
پردازش پتاسیم توسط کلیه‌ها

همان‌طور که در بالا ذکر شد مواد غذایی مورد مصرف انسان دارای پتاسیم زیاد و سدیم اندک هستند. مقدار پتاسیمی که بطور متوسط با رژیم غذایی عادی وارد بدن می‌شود حدود ۱۰۰ میلی‌مول (یا میلی‌اکی و الان) در روز است. به علت کم بودن غلظت پتاسیم در مایع خارج سلولی (پلاسما و مایع میان بافتی)، هرگونه اختلالی در دفع پتاسیم می‌تواند موجب بروز تغییرات شدید در غلظت آن در مایع خارج سلولی شده و اثرات زیان‌باری بر اندامهای بدن به ویژه

❖ بیکربنات یکی از بافرهای عمده‌ای است که در تنظیم pH خون دخالت مؤثر داشته و تنظیم غلظت بیکربنات پلاسما بطور کامل توسط کلیه‌ها انجام می‌شود. ❖

بر عمل قلب داشته باشد. بنابراین، تمامی پتاسیم خورده شده باید از بدن دفع گردد. پتاسیم به

مقدار اندک (بطور متوسط حدود ۸ میلی‌مول) از راه مدفوع دفع می‌شود و دفع عمده آن بر عهده کلیه است. پردازش پتاسیم توسط کلیه‌ها در شکل ۲ نشان داده شده است. میزان تصفیه گلومرولی پتاسیم حدود ۷۵۶ میلی‌مول در روز است که حدود ۶۵٪ آن در لوله پیچیده ابتدایی و حدود ۲۷٪ آن در بخش ضخیم شاخه بالارو قوس هنله باز جذب می‌شود و حدود ۸٪ آن (۶۱ میلی‌مول در روز) در لوله‌های ادراری باقی‌مانده و در ادرار دفع می‌شود. اما باید توجه داشت که بطور طبیعی تحت تأثیر هورمون آلدوسترون حدود ۴٪ پتاسیم (۳۱ میلی‌مول در روز) در لوله پیچیده انتهایی و لوله جمع کننده از خون بداخل ادرار دفع می‌شود. به این ترتیب، مقدار دفع پتاسیم در ادرار حدود ۹۲ میلی‌مول در روز است که همراه با پتاسیم دفع شده در مدفوع، برابر با مقدار خورده شده است. در غیاب آلدوسترون، دفع پتاسیم در لوله پیچیده انتهایی و لوله جمع‌کننده انجام نخواهد شد و غلظت پتاسیم خون بالا خواهد رفت (حالت هیپوکالمی). برعکس، در زیادی ترشح آلدوسترون، دفع پتاسیم افزایش یافته و غلظت پتاسیم خون کاهش می‌یابد (حالت هیپوکالمی). در واقع، آلدوسترون نقش اصلی را در تنظیم غلظت پتاسیم پلاسما بازی می‌کند. افزایش یا کاهش غلظت پتاسیم خون منجر به افزایش یا کاهش ترشح آلدوسترون از بخش گلومرولوزای قشر غده فوق کلیوی می‌شود که با افزایش یا کاهش دفع پتاسیم در ادرار، اختلال اولیه را جبران می‌کند. دیورتیکهایی که موجب افزایش دفع سدیم و آب در ادرار می‌شوند می‌توانند بر روی پردازش پتاسیم



شکل ۲ - پردازش پتاسیم توسط کلیه‌ها

عمده از طریق جذب و دفع کلسیم موجود در رژیم غذایی در لوله گوارش تحت تأثیر ویتامین D انجام می‌شود و کلیه‌ها نقش ناچیزی در پردازش کلسیم دارند. از کلسیمی که در گلوامرولها فیلتره می‌شود حدود ۶۰٪ در لوله پیچیده ابتدایی و ۳۹٪ در سایر لوله‌ها باز جذب می‌شود و فقط حدود یک درصد در ادرار دفع می‌گردد که آن نیز توسط رژیم غذایی مجدداً تأمین می‌شود. در صورت بالا بودن میزان ترشح هورمون پاراتیروئید که موجب افزایش غلظت کلسیم در خون می‌شود با وجود افزایش بازجذب لوله‌ای کلسیم تحت تأثیر این هورمون، مقداری کلسیم اضافی در ادرار دفع می‌شود که می‌تواند منجر به تشکیل سنگهای کلیوی از نوع

در کلیه‌ها نیز تأثیر داشته باشند. بر این پایه، دیورتیکها را معمولاً به دو دسته «حفظ کننده پتاسیم» و «دفع کننده پتاسیم» تقسیم می‌کنند.

پردازش کلسیم توسط کلیه‌ها

کلسیم علاوه بر نقش مهمی که در استحکام بخشیدن به استخوانها بازی می‌کند در کنترل و تنظیم تقریباً تمامی اعمال بدن و به ویژه تحریک پذیری اعصاب محیطی دخالت دارد و لذا غلظت پلاسمایی آن در محدوده بسیار باریکی بین ۹/۵ تا ۱۰/۵ میلی‌گرم در دسی‌لیتر (حدود ۵ میلی‌اکی والان یا ۲/۴ میلی‌مول در لیتر) حفظ می‌شود. تنظیم غلظت کلسیم خون بطور

کلیمی شود (۷).

پردازش فسفات‌ها توسط کلیه‌ها

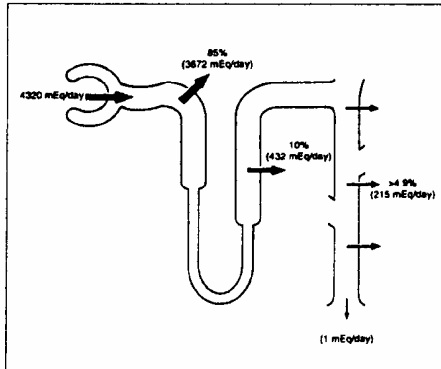
همان‌طور که در ابتدا ذکر شد مواد غذایی بیشتر از سلولهای گیاهی و حیوانی تشکیل شده‌اند که محتوی مقدار زیادی از فسفات‌ها هستند (جدول ۱). مقداری از این فسفات‌ها روده جذب خون می‌شوند. دفع این فسفات‌های اضافی توسط کلیه‌ها انجام می‌شود به این ترتیب که لوله‌های کلیوی یک حداکثر انتقال طبیعی برای باز جذب فسفات‌ها حدود یک دهم میلی‌مول در لیتر دارند. هنگامیکه کمتر از این مقدار فسفات در فیلترای گلومرولی وجود داشته باشد عملاً تمام آن باز جذب می‌شود و هنگامیکه بیشتر از این مقدار فسفات در فیلترای گلومرولی وجود داشته باشد مازاد آن در ادرار دفع می‌گردد. هورمون پاراتیروئید با کاهش دادن حداکثر انتقال لوله‌ای فسفات، دفع آن را در ادرار افزایش می‌دهد (۷).

پردازش بیکربنات توسط کلیه‌ها

بیکربنات یکی از بافرهای عمده‌ای است که در تنظیم pH خون دخالت مؤثر دارد. تنظیم غلظت بیکربنات پلاسما بطور کامل توسط کلیه‌ها انجام می‌شود. روزانه حدود ۴۳۲۰ میلی‌مول بیکربنات در گلومرولها فیلتره شده و وارد لوله‌های ادراری می‌گردد. حدود ۸۵٪ بیکربنات فیلتره شده در لوله ابتدایی و حدود ۱۰٪ در بخش ضخیم شاخ بالای قوس هنله و باقیمانده آن در لوله پیچیده انتهایی و مجرای جمع‌کننده باز جذب می‌شود (شکل ۳).

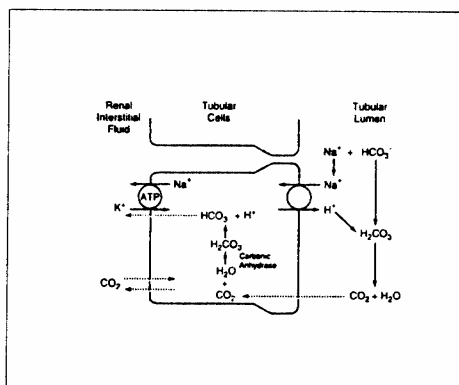
غشای داخل مجرای سلولهای اپیتلیال لوله‌ای نسبت به بیکربنات نفوذ ناپذیر است و

بیکربنات نمی‌تواند به این صورت باز جذب شود اما بازجذب آن در ارتباط با ترشح یونهای هیدروژن به انجام می‌رسد. سلولهای اپیتلیال لوله‌ای محتوی آنزیم انهدرارکربنیک هستند که موجب ترکیب کربن دی‌اکسید و آب و تشکیل اسیدکربنیک در داخل سلول می‌شود که آن نیز به بیکربنات و یون هیدروژن تجزیه می‌گردد.

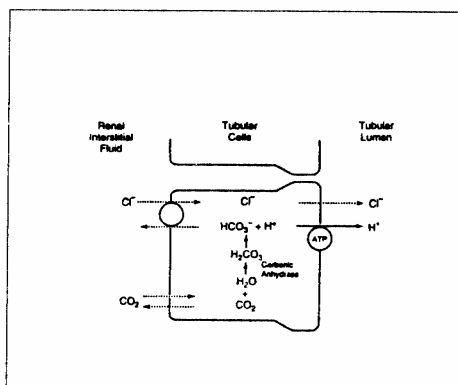


شکل ۳- پردازش بیکربنات توسط کلیه‌ها

یون بیکربنات از طریق غشای قاعده‌ای جانبی سلول لوله‌ای که نسبت به آن نفوذ پذیر است و یا توسط آنتی‌پورت با یون کلر وارد مایع میان بافتی کلیه شده و توسط خون مویرگهای دور لوله‌ای گرفته می‌شود. یون هیدروژن از سلول به داخل مجرای لوله ترشح می‌شود. مکانیسم این ترشح در لوله‌های مختلف با یکدیگر تفاوت دارد. در لوله پیچیده ابتدایی و بخش ضخیم شاخ بالای قوس هنله یون هیدروژن به روش آنتی‌پورت سدیم، به داخل لوله ترشح می‌شود (۸) در حالیکه در لوله پیچیده انتهایی و مجرای جمع‌کننده ترشح یون هیدروژن توسط سلولهای مخصوصی به نام سلولهای انترکاله به روش فعال یعنی توسط یک آدنوزین تری‌فسفاتاز



شکل ۴- روش باز جذب بیکربنات در لوله پیچیده ابتدائی و قوس هنله



شکل ۵- روش باز جذب بیکربنات در لوله پیچیده انتهائی و جمع کننده

انتقال دهنده هیدروژن با صرف انرژی به انجام می رسد (۶). این یون هیدروژن ترشح شده، در مجرای لوله با بیکربنات ترکیب شده و اسید کربنیک تشکیل می دهد که به کربن دی اکسید و آب تجزیه می گردد. کربن دی اکسید به راحتی از غشای سلولهای لوله ای به داخل سلول انتشار یافته و این چرخه یک بار دیگر تکرار می گردد. این واکنشها در مورد سلولهای لوله پیچیده ابتدائی و قوس هنله در شکل ۴ و در مورد سلولهای لوله های پیچیده انتهائی و جمع کننده در شکل ۵ نشان داده شده اند. نتیجه خالص این واکنشها آن است که به ازای هر یون هیدروژن ترشح شده بداخل مجرای لوله، یک یون بیکربنات وارد خون می شود یا به عبارت دیگر اثر خالص این واکنشها «بازجذب» یونهای بیکربنات از لوله ها است اگرچه یونهای بیکربناتی که در واقع وارد مایع خارج سلولی می شوند همانهایی نیستند که بداخل لوله ها فیلتره شده بودند. به این ترتیب، بازجذب بیکربنات تابع مقدار یون هیدروژن موجود است (۲).

منابع :

1. Ganong, W.F.: Review of medical physiology. 16th ed. Appleton and Lange. Norwalk. 1993: 1 - 3.
2. Guyton, A.C. and Hall, J.E.: Textbook of medical physiology. 9th ed. WB Saunders. Philadelphia. 1996: 393 - 397.
3. Harris, H.W. Jr. et al.: Current understanding of the biology and molecular structure of the antidiuretic hormone - stimulated water transport pathway J. Clin. Invest. 1991; 88: 1 - 5.
4. Schafer, J.A.: Salt and water homeostasis - is it just an matter of good book - keeping J. Am. Soc. Nephrol. 1994; 4: 1926 - 1938.
5. Schrier, R.W.: Body fluid regulation in health and disease: A unifying hypothesis. Ann. Intern. Med. 1990; 113: 155 - 168.
6. Schuster, V.L.: function and regulation of collecting duct intercalated cells. Annu. Rev. Physiol. 1993; 55: 267 - 288.
7. Vander, A.J.: Renal physiology. 4th ed. McGraw - hill. New York. 1991: 181 - 190.
8. Weinman, E.J. Shenolikian, S.: Regulation of renal brush border membrane $\text{Na}^+ - \text{H}^+$ exchanger. Am. Rev. Physiol. 1993; 55: 289 - 306.