

ФОРМИРОВАНИЕ ФУНКЦИИ ПОЧЕК И ВОДНО-СОЛЕВОГО ОБМЕНА В ОНТОГЕНЕЗЕ

Айзман Р.И.

Новосибирский государственный педагогический университет

1. МОРФОЛОГИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ ПОЧЕК В ОНТОГЕНЕЗЕ.

Почки являются полифункциональным органом в организме человека и высших животных. Обеспечивая выделение до 80% растворимых в воде продуктов, образующихся в процессе метаболизма, и экзогенных веществ, они участвуют в регуляции стабильности концентрации осмотически активных веществ (осморегуляция), объема жидких сред организма (волюморегуляция), концентрации отдельных ионов (ионорегуляция) и кислотно-щелочного равновесия, являясь таким образом основным гомеостатическим органом. Наряду с этим, показана метаболическая роль почек в обмене белков, жиров и углеводов, а также их значение в синтезе биологически активных веществ и гормонов, влияющих на эритропоэз, регуляцию кровяного давления, метаболизм кальция и т.д. [8; 13].

В настоящей статье будет обсуждена только одна функция почки – ее участие в регуляции водно-солевого гомеостаза у детей разного возраста и взрослых.

Почки плода начинают функционировать уже на 9-й неделе внутриутробной жизни. С 22-й до 41-й недели беременности прогрессивно нарастает продукция мочи (с 2,2 до 26,7 мл/час), увеличиваются скорость клубочковой фильтрации (с 1,8 до 4,1 мл/мин) и реабсорбция жидкости (с 72,5 до 89,8%) [1]. Изменение потребления воды и солей матерью вызывает адекватное изменение почечной функции у плода и практически не сказывается на их содержании в организме эмбриона. Тем не менее, основным органом регуляции гомеостаза во внутриутробном периоде является плацента, поэтому при недоразвитии почек никаких признаков нарушения водно-солевого баланса у эмбриона не наблюдается [10].

К моменту рождения масса почек у детей составляет примерно 0,66 г/100 г массы тела. Наиболее интенсивно их рост наблюдается в первые 1,5–2 года жизни, в 8–10 и 14–18 лет, достигая к 22–25 годам 270 г (0,45 г/100 г массы тела). Почки новорожденного имеют дольчатое строение, которое обычно исчезает к 2–5 годам. Коровый слой в 4 раза уже мозгового (соответственно 2 и 8 мм), тогда как у взрослых это отношение равно 1:2 (8 и 16 мм). К 5–6 годам иннервация почек приобретает строение, характерное для взрослых. Микроанатомия почек особенно хорошо изучена у новорожденных. В этот период жизни в корковом слое много недифференцированных почечных телец, клубочки которых имеют малый диаметр и меньшую фильтрующую поверхность, сосудистые петли гломерулы покрыты кубическим и даже цилиндрическим эпителием, который является препятствием для обмена между капиллярами и капсулой нефрона. Зато количество клубочков на единицу поверхности у новорожденных достигает 50, у ребенка 7–8 месяцев – около 20, тогда как у взрослого – только 7–8. Еще менее сформирован канальцевый аппарат. Если диаметр почечных клубочков новорожденных по сравнению со взрослыми меньше в 2,5 раза, то длина проксимальных

канальцев меньше в 10 раз. К 20-му дню постнатальной жизни практически завершается образование новых нефронов, и дальнейший рост почки и ее развитие происходят за счет дифференцировки и нарастания массы уже существующих элементов.

Основными тенденциями дальнейшего развития паренхимы почек являются: формирование корковых нефронов; увеличение диаметра почечных телец, длины и диаметра канальцев, особенно тонкого отдела петли Генле; изменение формы и структуры эпителиальных клеток различных сегментов нефрона и зоны межклеточных контактов; возрастание удельного объема канальцев (с 70 до 87% – к 7 годам) и уменьшение доли клубочков (с 12 до 6,8%). К 7–9 годам жизни эпителий клубочков и канальцев уже практически не отличается от взрослого, а к 15–16 годам формируется дефинитивное распределение нефронов в корковой и мозговой зонах. На основании интегральной оценки структурных преобразований почки, ее сосудов и количественных методов морфологического анализа выделены следующие периоды интенсивного роста и дифференцировки почечных элементов в онтогенезе человека: от рождения до 7 лет; от 8 до 12 лет; от 13 до 16 лет и от 17 до 21 года, когда наступает относительная стабилизация [4].

Таким образом, в целом морфогенез почки заканчивается к 22 годам, хотя отдельные внутриорганные структуры завершают свое развитие в основном к 8–12 годам.

2. ПОЧЕЧНАЯ ФУНКЦИЯ В ПЕРИОД НОВОРОЖДЕННОСТИ И МЛАДЕНЧЕСТВА

Почки ребенка позволяют ему, несмотря на незрелость аппарата, поддерживать устойчивые параметры водно-солевого гомеостаза только в условиях относительного покоя организма при сбалансированном питании и водопотреблении, однако в экстремальных ситуациях детская почка функционирует значительно менее надежно, чем взрослый орган, что нередко приводит к гомеостатическим сдвигам.

2.1. КЛУБОЧКОВАЯ ФИЛЬТРАЦИЯ

Исходным условием для эффективной деятельности почек является адекватный уровень их кровоснабжения. В условиях покоя у новорожденных в почки поступает всего 5% минутного объема крови, тогда как у взрослых – 20–25%. Значительное увеличение почечного кровоснабжения наблюдается в течение 8–10 недель после рождения. Полагают, что уже к 3-м годам жизни суммарный почечный кровоток достигает дефинитивного уровня, хотя современными методами показано увеличение эффективного плазмотока в почках до 13–15 лет.

В период перехода от эмбриогенеза к внеутробному существованию параллельно приросту почечного плазмотока происходит повышение скорости клубочковой фильтрации (СКФ), что связано с резким возрастанием нагрузки на почки как экскреторный орган. У новорожденного гломерулярная фильтрация в расчете на 1м² поверхности тела в 3–4 раза ниже (примерно 22–45 мл/мин), чем у взрослых [2; 8]. Это является следствием меньшей величины фильтрующей поверхности, низкой проницаемости гломерулярного фильтра, низкого уровня

почечного кровотока, и более низкого гидростатического давления в капиллярах клубочка [9]. По мнению ряда авторов, скорость клубочковой фильтрации достигает уровня, характерного для взрослого организма, к 2–3-м годам жизни, хотя имеются факты о повышении СКФ в течение всего периода онтогенеза до юношеского возраста [1].

2. 2. КАНАЛЬЦЕВАЯ РЕАБСОРБЦИЯ И СЕКРЕЦИЯ

Процессы реабсорбции у детей раннего возраста снижены по сравнению со взрослыми. Так, канальцевая реабсорбция жидкости у новорожденных составляет 78–89%, а у взрослых – 98–99,5% [5]. Сопоставление показателей интенсивности реабсорбции глюкозы у детей показало, что в расчете на поверхность тела или его массу она возрастает в онтогенезе, но даже в 5–6 лет остается ниже взрослого уровня. В то же время, под влиянием высокой активности ренин-ангиотензин-альдостероновой системы в младенческом возрасте реабсорбция натрия даже выше [12]. Малая способность почек ребенка выводить натрий (очищение от натрия составляет $1/5$ – $1/6$ взрослой нормы), видимо, является основной причиной склонности к задержке этого иона, отекам и другим проявлениям гиперсалиемии [8].

Учитывая существование клубочково-канальцевого баланса и более низкий уровень СКФ у детей, оценку величины реабсорбции жидкости, глюкозы, ионов и т.д. следует проводить в расчете на 1 мл клубочкового фильтрата. Оказалось, что это отношение у детей равно или даже несколько выше, чем у взрослых, и составляет, соответственно: для воды – 0,97 и 0,99, для натрия – 144 и 135, для глюкозы – 2,17 и 2,19 [2]. Таким образом, к моменту рождения у детей имеется уже эффективная система реабсорбции воды, электролитов и глюкозы, соответствующая уровню развития их фильтрационных процессов. В то же время реабсорбция аминокислот снижена, что приводит к аминоацидурии. Особенно выражена потеря пролина, оксипролина, глицина в первый месяц жизни. Это связывают с недостаточным развитием системы транспорта аминокислот и ее регуляции в клетках.

Канальцевая секреция зависит от природы секретируемого вещества. У новорожденных отмечается низкий уровень секреции органических кислот и оснований. Так, парааминогиппуровая кислота в первые месяцы жизни выводится у ребенка в 2 раза медленнее, чем у взрослого. Активная секреция пенициллина проявляется у ребенка лишь после 6-го месяца жизни. Полагают, что секреторная способность почек созревает в возрасте от 4 до 14 лет ([6].

2.3. ВОДОВОДЕЛИТЕЛЬНАЯ И КОНЦЕНТРИРУЮЩАЯ ФУНКЦИИ

Новорожденные при любом водном режиме выводят гипотоническую мочу. В основе низкой концентрирующей способности почек лежат: 1) незрелость поворотно-противоточной системы (короткие петли Генле); 2) положительный азотистый баланс, в связи с чем образуется меньшее количество мочевины, которое поступает из собирательных трубок в мозговое вещество почки и таким образом создается незначительный осмотический градиент, необходимый для реабсорбции воды; 3) нечувствительность почек к антидиуретическому гормону. Поэтому при искусственном вскармливании коровьим молоком, содержащим больше

солей и белков по сравнению с женским, концентрирующая способность развивается раньше, чем при грудном питании.

Об уровне развития водовыделительной и концентрирующей функции почек можно судить по степени осмотического разведения и концентрирования после водных нагрузок или водной депривации. Почка новорожденного уже на 5-й день жизни способна экскретировать гипоосмотическую мочу в ответ на водную нагрузку, причем, степень разведения может достигать величин, сопоставимых со взрослой почкой. Прием 10мл/кг водно-молочной смеси вызывал у новорожденных увеличение диуреза, однако реакция развивалась медленно, в связи с чем за 2ч наблюдения было выведено всего $47,8 \pm 10,8$ % от введенной нагрузки [7]. Увеличение гидроуреза обусловлено главным образом повышением скорости клубочковой фильтрации – СКФ (с $23,4 \pm 4,3$ до $38,5 \pm 4,5$ мл/мин.м², $p < 0,01$), в то время как реабсорбция осмотически свободной воды оставалась в пределах фона, соответственно $0,37 \pm 0,10$ и $0,36 \pm 0,08$ мл/мин.м². Гидроуретическая реакция не сопровождалась биологически целесообразной задержкой натрия в организме (выведение катиона возрастало с $9,2 \pm 1,8$ до $16,8 \pm 3,6$ мкмоль/мин.м²). Это свидетельствует о том, что в первые дни после рождения, по-видимому, осуществляется не осмо-, а волюморегуляция. Тем не менее, функциональные возможности почки в этом периоде оказываются уже достаточными для противодействия умеренным нагрузкам, вследствие чего осмолярность плазмы крови не изменялась. Однако прием водной нагрузки в 2 раза большей по величине уже выявил неспособность системы сохранить константы крови. Так, у новорожденных при гипергидратации отмечалась значительная гидремия, которая сохранялась до 3 ч [11].

Возможность новорожденных противодействовать дегидратации и экскретировать солевые нагрузки весьма ограничена, в связи с чем осмолярность мочи при водной депривации у детей первого года жизни не превышает 700 мосм/л, тогда как у взрослых при тех же условиях она достигает 1500 мосм/л. Поэтому диапазон колебаний осмотической концентрации мочи у детей раннего возраста значительно меньше (50–700 мосм/л), чем у взрослых (50–1500 мосм/л).

В связи с ограничением способности концентрировать мочу, ребенок затрачивает примерно вдвое больше воды, чем взрослый, на выведение одного и того же количества осмотически активных веществ. Вместе с высокими экстраренальными потерями воды, это создает известную напряженность водного баланса ребенка. При ограничении потребления жидкости у новорожденных обнаруживалось сгущение крови, увеличение ее осмолярности и повышение концентрации натрия [8]. Указанные факты позволили заключить, что осмотическое концентрирование созревает позднее, чем разведение, и достигает дефинитивных значений к 4–5 годам жизни.

Относительно сроков созревания осморегулирующих механизмов у человека данные весьма противоречивы: одни считают, что осморегуляция полностью развивается к 7–8 месяцам постнатального развития [11], другие – к 2–3 годам [10], третьи – к 10–11 годам жизни [7]. Тем не менее, большинство исследователей отмечает относительную напряженность водно-солевого обмена, особенно в экстремальных ситуациях, в течение всего периода детства [6].

2.4. ПОЧЕЧНАЯ РЕГУЛЯЦИЯ КИСЛОТНО-ЩЕЛОЧНОГО РАВНОВЕСИЯ

Участие почки в поддержании кислотно-щелочного равновесия базируется на ее способности секретировать водородный ион, однако эта способность у новорожденных ниже, чем у взрослого. Так, почка взрослого выводит за 8 часов 20% от общего количества введенной кислоты, а детская – только 10%. Другие механизмы поддержания кислотно-щелочного равновесия у новорожденных изучены слабо, хотя почки ребенка способны удовлетворительно поддерживать это равновесие, особенно при грудном вскармливании.

Итак, наиболее выраженные изменения основных почечных процессов (фильтрации, реабсорбции и секреции) выявляются у детей в интервале от периода новорожденности до 4–5 лет. На этом этапе онтогенетического развития существенно увеличивается экскреция электролитов и осмотически активных веществ, повышается способность к осмотическому концентрированию, регуляции объема и осмолярности внутренней среды организма. Однако водно-солевые нагрузки в раннем онтогенезе вызывают более существенные сдвиги констант внутренней среды по сравнению со взрослыми [1].

3. ПОЧЕЧНАЯ ФУНКЦИЯ У ДЕТЕЙ ШКОЛЬНОГО ВОЗРАСТА И ВЗРОСЛЫХ

3.1. ОСОБЕННОСТИ ОСМОРЕГУЛЯЦИИ

В процессе онтогенеза водовыделительная функция почек возрастает. Умеренная водная нагрузка вызывает развитие полиурии, характер которой зависит от возраста обследуемых (Табл.1).

Таблица 1

Процент выведения жидкости за 3 часа после приема водно-солевых нагрузок ($M \pm m$)

Возраст, лет	1%-ная водная нагрузка	1%-ная водная нагрузка + 100мг/кг NaCl	1%-ная водная нагрузка + 50 мг/кг KCl
2–3	77,0±10,6	73,1±13,2	103,8±11,7
4–5	77,8±10,0	69,9±9,5	67,9± 9,1
7–8	76,8±7,7	69,4±9,3	86,0±10,1
10–11	76,9±8,3	51,9±5,2**	95,6±9,3
13–15	79,5±9,8	61,5±5,7	78,7±5,8
18–25	85,7±11,4	46,4±8,4**	83,9±7,6

Примечание: ** – достоверные отличия от водной нагрузки

Механизм гидроуреза имел также существенные возрастные отличия. С возрастом вклад клубочковой фильтрации в диуретическом ответе почек снижался, тогда как торможение реабсорбции приобретало более значимое влияние. Только к 10–11 годам соотношение клубочковых и канальцевых механизмов в диурети-

ческой реакции почек сопоставимо с уровнем у взрослых. Однако у подростков эта закономерность нарушалась, и степень выраженности водного диуреза была больше, чем у мальчиков конца второго периода детства и взрослых. Эти факты, вероятно, свидетельствуют о том, что в подростковом возрасте повышается реактивность осморегулирующей функции почек.

У взрослых восстановление осмотического гомеостаза при гипоосмии осуществляется не только путем увеличения диуреза, но и благодаря задержке осмотически активных веществ, в первую очередь натрия. Сопоставление экскреции катиона у детей разных возрастных групп показало, что если у детей 2–5 лет диурез сопровождался тенденцией к увеличению натриуреза, то у детей 7–8 и особенно 10–11 лет проявилось уже отчетливое уменьшение выведения катиона. Так, у детей 7–8 лет средняя экскреция катиона по сравнению с фоном снизилась на $4,9 \pm 3,8$ мкмоль/мин.м², у ребят периода второго детства – на $11,7 \pm 5,1$, а у взрослых – на $17,7 \pm 6,2$ мкмоль/мин.м² (Рис. 1). У подростков, однако, экскреция натрия повышалась так же, как в детском возрасте.

По большинству исследованных показателей реакция почек на 1%-ную водную нагрузку приобретала дефинитивный характер к 10–11 годам. Однако в подростковом возрасте наблюдалось повышение реактивности, что выражалось в усилении функции разведения, повышенной экскреции натрия и более выраженных изменениях фильтрационных процессов по сравнению с детьми предыдущей возрастной группы и взрослыми, т.е. наблюдался как бы «возврат» ряда параметров на более ранний онтогенетический уровень.

Прием гипертонического раствора хлористого натрия оказывал неодинаковое влияние на функцию почек детей разного возраста. У обследуемых 2–5 лет NaCl не вызывал торможения диуреза. Отчетливая антидиуретическая реакция на введение соли проявилась с 7 лет, а ее глубина и длительность увеличивалась с возрастом (Табл.1). К 10–11 годам антидиурез достигал уровня взрослых, хотя у подростков имела тенденция к его уменьшению. Степень задержки жидкости у подростков по величине соответствовала реакции детей 7–8 лет, а эффективность концентрирующей функции почек на гиперосмотический стимул в 13–15-летнем возрасте была выражена меньше, чем у детей предыдущей возрастной группы и юношей.

Если у детей младших возрастных групп и подростков большую роль в реакции играло уменьшение клубочковой фильтрации, то у старших детей и взрослых торможение мочеотделения было обусловлено только повышением канальцевой реабсорбции. Так, разность между изменениями EFH₂O после приема водных и солевых нагрузок у детей 4–5 лет составила 45,1%, а у 10–11-летних мальчиков и взрослых соответственно 121,3 и 172,9%, а у подростков – 89,2%. Следовательно, с возрастом при гиперосмии увеличивается объем реабсорбированной жидкости.

Наряду с антидиуретической реакцией, наблюдалось увеличение экскреции натрия (Рис.1). Однако латентный период и длительность натриуретической реакции зависели от возраста: у 4–5-летних детей эти параметры были равны 135 и 30 мин, а у 10–11-летних – 75 и 90 мин. Возрастало и суммарное количество выводимого катиона, составив соответственно $2,7 \pm 0,6$ ммоль в 4–5 лет и

$22,5 \pm 1,8$ ммоль – у взрослых. Такое увеличение было обусловлено снижением относительной и валовой реабсорбции натрия в почечных канальцах, на что указывало повышение его экскретируемой фракции (EFNa). Среднее изменение EFNa после приема соли составило в 10–11 лет – $1,2 \pm 0,2\%$, в 13–15 лет – $2,0 \pm 0,3\%$, а у взрослых – $1,1 \pm 0,1\%$. Следовательно, наибольшие изменения натрийуретической реакции наблюдались у подростков 13–15 лет, свидетельствующие о высокой реактивности натрийуретической функции почек

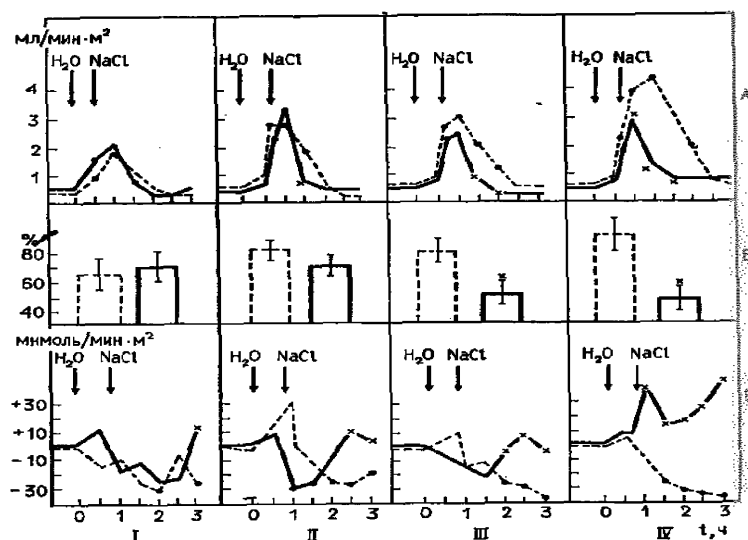


Рис. 1. Изменение функции почек у детей первого и второго периодов детства и взрослых после приема водных и солевых нагрузок

А – диурез в мл/мин·м²; Б – процент выведения водной нагрузки за время реакции; В – изменение экскреции натрия в ммоль/мин·м² (по сравнению с фоном)

Обозначения: по оси абсцисс – время в часах, по оси ординат – показатели почечной реакции. Пунктирная линия – реакция на водную нагрузку H₂O; сплошная линия – реакция на солевую нагрузку (NaCl). Точками обозначены результаты, достоверно отличающиеся от фона, крестиками – от водной нагрузки. I – 4–5 лет; II – 7–8 лет; III – 10–11 лет; IV – взрослые

Одним из критериев осморегулирующей функции почек является способность к концентрированию мочи после водной депривации. На рис.2 приведены основные показатели почечной реакции в различные сроки сухоядения. Можно видеть, что в этих условиях деятельность почек направлена на сохранение объема жидких фаз организма и осмолярности. Это выражалось в том, что у детей 4–5 лет после 20 ч водной депривации диурез и натрийурез снижались почти в 2 раза, сохраняясь на этом уровне до конца наблюдения. У детей более старших возрастных групп и особенно у взрослых максимальное снижение мочеотделения происходило в конце водного голодания, а экскреция натрия в первые 20 час. возрастала, и

только к концу наблюдения выведение катиона снижалось параллельно антидиурезу (рис. 2).

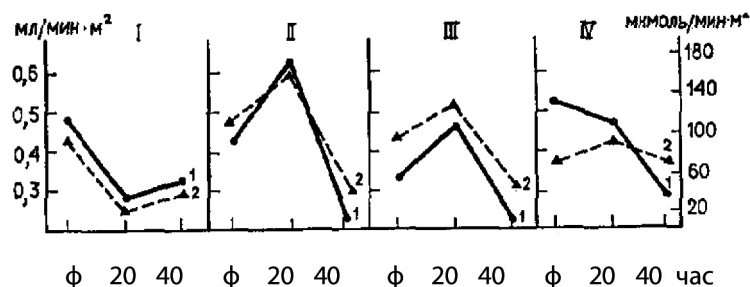


Рис. 2. Изменение диуреза и натриуреза у детей первого и второго периодов детства и у взрослых при сухоядении

Обозначения: по оси абсцисс – время водной депривации в ч, по оси ординат: слева – изменение диуреза в мл/мин·м² (сплошная линия); справа – натриуреза в ммоль/мин·м² (пунктирная линия).

I – 4–5 лет, II – 7–8 лет, III – 10–11 лет, IV – взрослые

Анализ полученных данных позволяет думать, что у детей 4–5 лет водное голодание уже в первые часы вызывало включение волюморегулирующей системы, обеспечивающей задержку воды и натрия, даже в ущерб осморегуляции. У детей следующих возрастных групп в первый период водной депривации наблюдался парадоксальный ответ – увеличение выделения воды и натрия. По мнению Л.К.Великановой и Р.И.Айзмана [7], это связано с тем, что в субэкстремальных ситуациях у детей этого возраста проявляется еще недостаточная согласованность механизмов интеграции экскреции воды и электролитов, которая обычно имеет место при осморегуляции. Вероятно, в первый период сухоядения у них включается осморегулирующая система, а при углублении водного голодания наблюдались биологически целесообразные антидиуретическая и антинатриуретическая реакции, обеспечивающие сохранение объема циркулирующей жидкости. Только у взрослых людей проявляется достаточно эффективное для организма согласование осмо- и волюморегуляции.

Полученные данные свидетельствуют о доминировании механизмов объемной регуляции над осмотической, которое у детей обнаруживается сразу, а у взрослых – только при углублении дегидратации. Высказанные соображения подтверждаются тем, что у детей периода первого детства к концу сухоядения отмечались гомеостатические сдвиги во внутренней среде (увеличение концентрации натрия в плазме и эритроцитах, повышение осмолярности плазмы), а у детей периода второго детства и у взрослых совокупность почечных и внепочечных процессов обеспечивала сохранение ионо-осмотического баланса, хотя и разной «ценой». Так, у 10–11-летних детей, по сравнению с подростками и взрослыми, происходило

достоверно большее увеличение концентрирующей функции почек и существенное перераспределение натрия между плазмой и эритроцитами.

Таким образом, несмотря на сформированность осморегулирующих механизмов у детей периода второго детства, выявленную в условиях оптимальных водно-солевых нагрузок, функциональные резервные возможности исследуемой системы еще ограничены, что может привести к быстрому их истощению в экстремальных ситуациях.

3.2. ВОЗРАСТНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ИОННОЙ РЕГУЛЯЦИИ

В определенной степени представление о возрастных особенностях ионной регуляции дал анализ результатов исследований с применением натриевых нагрузок. Однако более адекватным стимулом для оценки этих механизмов являются ионные раздражители, не вызывающие осмотического сдвига. В качестве такого стимула использовался изотонический раствор хлорида калия. Эта нагрузка у 2–5-летних детей, не изменяя осмолярности, приводила к увеличению концентрации калия в общем кровотоке с $3,86 \pm 0,10$ до $4,13 \pm 0,05$ ммоль/л. У обследуемых остальных возрастных групп концентрация катиона в большом кругу кровообращения не изменялась. Можно полагать, что описанный феномен связан с недостаточной калийдепонирующей способностью органов-депо в раннем онтогенезе [1]. Существенные возрастные отличия выявились и в ионэксcretирующей функции почек. Прием KCl, по сравнению с водными нагрузками, вызывал достоверное увеличение экскреции катиона (Рис.3). Однако у детей раннего и первого периодов детства калийурез возрастал незначительно, тогда как у старшей группы выведение катиона в 2–3 раза превышало исходный фон. К 10 годам калийуретическая реакция по своим параметрам достигала уровня взрослых. В пубертатном возрасте, так же как и в возрасте 7–8 лет, когда отмечается интенсивный рост организма, процент выведения катиона от принятой нагрузки был достоверно ниже, чем в другие периоды онтогенеза.

Диуретическая реакция почек под влиянием KCl изменялась фазно по сравнению с водными нагрузками: в первые 30 мин после приема раствора наблюдался антидиурез, а затем развивалась более продолжительная по времени и интенсивности полиурия. В результате за 3 ч наблюдения процент выведения жидкости при водно-калиевых нагрузках существенно не отличался от водных (Табл.1).

Одним из критериев функционального развития почек и механизмов ионной регуляции является способность почек к селективной экскреции ионов в зависимости от вида нагрузки [13]. Формирование ионорегулирующей функции почек проходит в 3 этапа: первый этап характеризуется отсутствием ионоуреза на натриевые и калиевые нагрузки (до 2–3-х лет жизни); на втором этапе появляются недифференцированные ионоуретические реакции (период раннего и первого детства); и только с 10–11 лет включаются механизмы, обеспечивающие специфичность экскреции ионов почками. Как видно, у детей второго периода детства и юношей проявилась селективная ионорегулирующая реакция – преимущественное увеличение калийуреза в ответ на прием хлорида калия (Табл.2). Оценка интенсивности прироста экскреции ионов в зависимости от вида нагрузки и возраста обследуемых, позволила заключить, что специфичность ионоуретиче-

ской функции почки на калиевую нагрузку, так же как и на натриевую, формируется к 10–11 годам. Однако в подростковом периоде в связи с уменьшением экскреции калия и повышенной реактивностью натрийрегулирующих механизмов селективность калийуретического ответа уменьшалась.

Таблица 2

Выведение натрия и калия у детей разного возраста и взрослых после приема КС1 (% от фона)

Возраст, лет	Экскреция натрия	Экскреция калия	Р
2–3	91±14	145±31	>0,1
4–5	115±9	125±4	>0,1
7–8	102±18	160±24	>0,05
10–11	93±6	223±36	<0,01
13–15	149±16	187±34	>0,1
18–25	140±12	23±19	<0,001

Таким образом, показатели функциональной активности ионорегулирующих механизмов, так же как и осморегулирующих, свидетельствуют о созревании гомеостатической системы водно-солевого обмена у детей к концу периода второго детства.

Изменение характера почечной деятельности при использовании нагрузочных проб дает основание судить не только об уровне развития эффектора, но и всей гомеостатической системы в целом. Вышеприведенные факты позволяют считать, что с возрастом происходит увеличение ее функциональных резервов. Это повышает адаптивные возможности и обеспечивает более надежную защиту констант внутренней среды организма от возмущающих воздействий. Описанные возрастные отличия особенно наглядно выявляются в суб- и экстремальных ситуациях [7].

* * *

Обобщая сведения о морфофункциональном развитии почек в онтогенезе человека, мы провели расчет их интегральной функции методом морфокинетического синтеза [14] (рис. 4).

Оказалось, что наибольшая интенсивность развития почечных функций отмечается от периода новорожденности до 4–5 лет, следующий скачок проявляется в 10–11 лет и окончательная стабилизация происходит в юношеском возрасте. В периоды 7–8 и 13–15 лет наблюдается снижение величины коэффициента связи между показателями парциальных функций почек. Это, вероятно, может быть как следствием десинхронизации их развития, так и результатом гетерохронного соз-

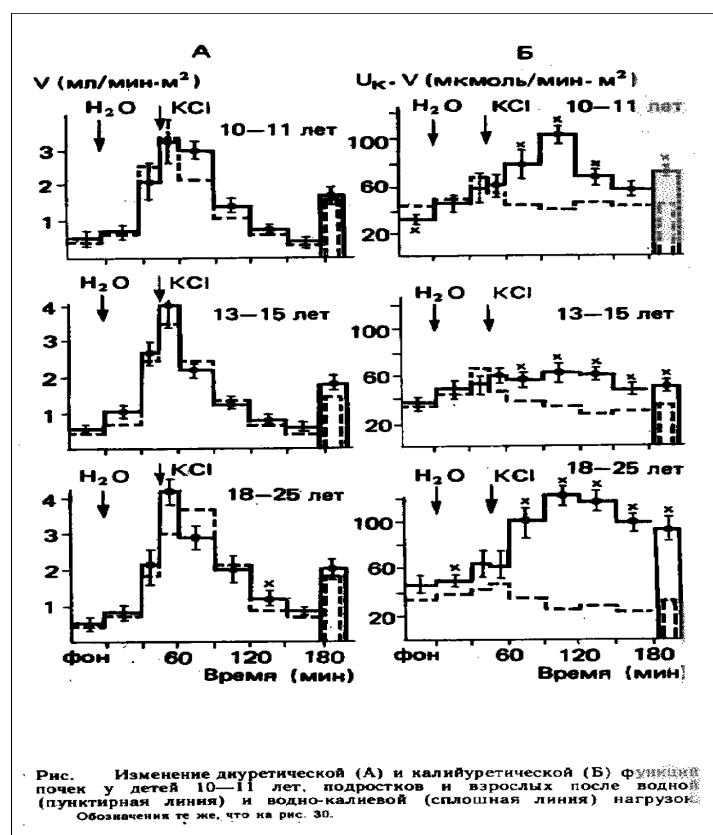


Рис. 3. Изменение диуретической (А) и калийуретической (Б) функций почек у детей разного возраста и взрослых после водно-калиевой нагрузки

ревания почек и других систем, обеспечивающих их деятельность. Как бы то ни было, эти периоды, по-видимому, следует рассматривать как критические этапы в функциональном развитии органа. В целом, по сумме морфофункциональных признаков почки наиболее близки к дефинитивному состоянию в 10–11 лет. В подростковом возрасте отмечается снижение темпов развития и несоответствие коэффициента связи между показателями структуры и функции. Следовательно, на каждом этапе онтогенеза уровень развития почек соответствует степени созревания других функциональных систем, характеру метаболизма, и в условиях сбалансированного питания и водопотребления обеспечивает в организме сохранение относительного постоянства гомеостатических констант уже в 4–5 лет, а при необходимости использования резервных возможностей – только к 20–22 годам. Это заставляет признать, что «незрелость почки у детей и подростков находит выражение в значительно меньших ее резервных возможностях как гомеостатического органа» [9].

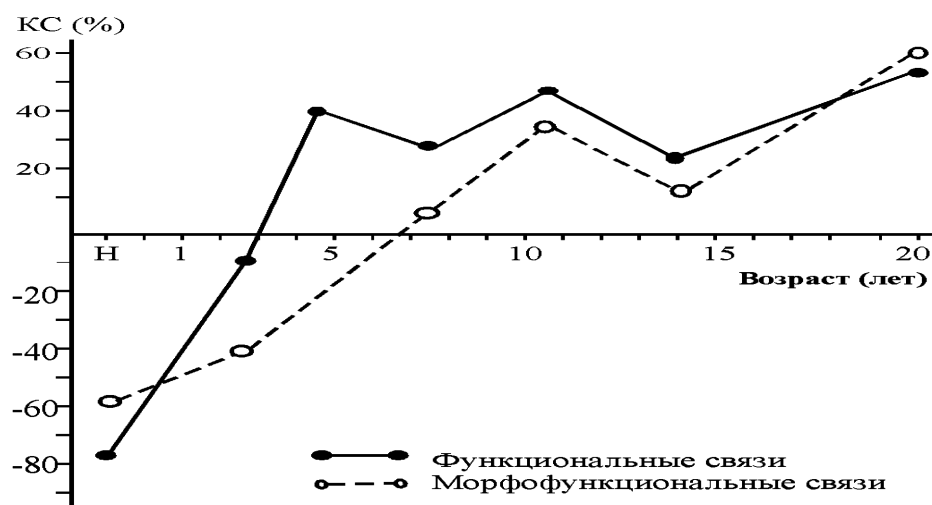


Рис. 4. Результаты морфокинетического синтеза возрастной динамики морфо-функционального созревания почки

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Айзман Р. И. Онтогенез водно-солевого обмена и функций почек. Новосибирск: Изд-во НГПИ, 1990. – 48 с.
2. Айзман Р. И. Морфофункциональное развитие почек и водно-солевого обмена в онтогенезе человека//Онтогенез почки. Новосибирск, 1984. – С. 73–99.
3. Айзман Р. И., Великанова Л. К. Возрастные преобразования функций почек//Физиология развития ребенка. М., 1983. – С. 177–195.
4. Васильева В. А. Становление и структурные преобразования сосудов почки человека в онтогенезе: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 1979. 24 с.
5. Вельтищев Ю. Е. Обмен веществ и энергии у детей//Справочник по функциональной диагностике в педиатрии. М., 1979. – С. 89–170.
6. Вельтищев Ю. Е. Водно-солевой, минеральный обмен, равновесие кислот и оснований //Обмен веществ у детей. – М.: Медицина, 1983. – С. 7–52.
7. Великанова Л. К., Айзман Р. И. Возрастные преобразования функции почек. – В кн.: Физиология развития ребенка. – М.: Педагогика, 1983. – С. 177–194.
8. Гинецинский А. Г. Физиологические механизмы водно-солевого равновесия. М.–Л.: Наука, 1964. – 324 с.
9. Длоуга Г., Кржечек З., Наточин Ю. В. Онтогенез почки. Л.: Наука, 1981. – 147 с.
10. Закс М. Г., Никитин В. Н. Онтогенез пищеварительной функции//Возрастная физиология. Л., 1975. С. 263–312.

11. Инчина В. И. Реакция на водную нагрузку и водное голодание в раннем постнатальном периоде.:Автореф.дисс...к.м.н. Новосибирск, 1955.–19с.
12. Наточин Ю. В. Ионорегулирующая функция почки. Л., 1976. – 267 с.
13. Наточин Ю. В. Проблемы эволюционной физиологии водно-солевого обмена. Л., 1984. – 38 с.
14. Стефанов С. Б. Измерения морфофункционального единства (метод и некоторые результаты). Пушино: Научный центр биологических исследований. 1974. – С. 78–83.