

УДК 612.015.3-053.2:577.3

ОСОБЕННОСТИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБМЕНА У ДЕТЕЙ

А.А. Масловская, доцент, к.м.н.

Кафедра биохимии

УО «Гродненский государственный медицинский университет»

В обзоре обобщены данные литературы о биохимических и функциональных особенностях обмена веществ у детей и, в частности, энергетического обмена на разных этапах онтогенеза.

Ключевые слова: обмен веществ, ребенок, детский возраст, онтогенез, энергетический обмен.

The review presents analysis of the literature sources on biochemical and functional features of metabolism in a child, and in particular energy metabolism, in different steps of ontogenesis.

Key words: metabolism, child, childhood, ontogenesis, energy metabolism.

Метаболическое благополучие в организме ребенка определяет адекватность его развития и созревания. В сформировавшемся, взрослом организме метаболизм находится в состоянии относительно устойчивого равновесия с внешней средой. У детей в процессе роста и развития происходят значительные изменения морфологических характеристик тканей, их химического состава и метаболизма, поэтому детский организм нельзя рассматривать как уменьшенную копию взрослого.

Целью настоящего обзора явилось обобщить и систематизировать данные литературы о биохимических особенностях детского организма, что может оказаться полезным для врачей-педиатров в понимании некоторых закономерностей патогенеза и отличительных черт симптоматики целого ряда заболеваний детского возраста.

Наблюдаемые в детском возрасте качественные и количественные изменения обменных процессов происходят в соответствии с генетической программой развития и потребностями организма ребенка. В связи с этим наблюдается целый ряд особенностей, отличающих обмен веществ ребенка от взрослого.

1. Для детей характерна **высокая напряженность** отдельных сторон **метаболизма**. Это в первую очередь касается бурно протекающих *анаболических* процессов, которые включают в себя разнообразные виды синтезов и высокой активности *энергетического обмена*, обеспечивающей биосинтетические реакции энергией АТФ.

От момента оплодотворения яйцеклетки до момента рождения доношенного новорожденного масса увеличивается в 650 миллионов раз, а длина тела плода за весь внутриутробный период возрастает приблизительно в 5 тысяч раз. Это свидетельствует об интенсивно протекающих процессах обмена веществ, при которых анаболические реакции преобладают над катаболическими; у взрослых скорости этих двух фаз метаболизма выравниваются.

В связи с приростом массы тела и развитием органов в организме возникают **специфические потребности в пластическом материале**, что и обуславливает высокую интенсивность анаболизма. У детей, особенно в ранние возрастные перио-

ды, с высокой скоростью протекает синтез белков, расходуемых на обеспечение процессов роста, обновления и дифференцировки тканей; постоянно увеличивается синтез белков, выполняющих специфические функции в организме (например, транспорт различных соединений). Активно происходит синтез нуклеиновых кислот и обмен азотистых оснований. В частности, мочевиная кислота, характеризующая состояние пуринового обмена, образуется у детей в 220 раз быстрее, чем у взрослых. Интенсивно осуществляется потребление клетками и обмен аминокислот, что вызвано их ускоренным использованием в метаболизме.

2. **Качественные перестройки ряда метаболических путей** в зависимости от возраста ребенка.

В процессе роста детей происходит физическое и нервно-психическое развитие организма, становление функциональных систем и метаболизма. Деятельность любого органа складывается из совокупности метаболических процессов, происходящих в клетке, причем каждому конкретному периоду жизни ребенка свойственны свои особенности обмена веществ. Важно подчеркнуть, что на каждом этапе развития ребенка имеется то состояние метаболизма, которое обеспечивает оптимальное для роста соотношение пластических и биоэнергетических процессов и обладает наибольшей целесообразностью (таблица).

Таблица. Динамика метаболических процессов в соответствии с периодами развития ребенка

Периоды	Особенности обмена веществ
Внутриутробный а) I триместр беременности б) III триместр беременности Перинатальный	Максимальная интенсивность дифференцировки тканей, формирование органов и систем. Интенсивный прирост массы тела. Переход на внеутробное существование: метаболическая и функциональная адаптация новорожденного. Активный метаболизм липидных компонентов. В первый месяц жизни в тканях активен анаэробный гликолиз, это обеспечивает повышенную устойчивость организма к гипоксии, но утилизация глюкозы сопровождается низким энергетическим выходом.
Грудной возраст	Интенсивный синтез структурных белков для роста, активный энергетический обмен, возрастание роли аэробного гликолиза, активный синтез функциональных белков, переход на независимое от материнского организма питание, развитие функциональных систем и иммунитета. Завершение процессов миелинизации нервной системы.
Ранний детский возраст (до 3 лет) Дошкольный возраст (до 6 - 7 лет) Пубертатный период	Относительная стабилизация обмена веществ и энергии. Влияние половых гормонов на обмен веществ, окончательное формирование фенотипа.

Указанные в таблице периоды являются критическими в отношении тех биохимических процессов, которые происходят преимущественно на данном этапе онтогенеза. В эти периоды изменяется интенсивность реакций обмена или происходит его качественная перестройка. Поэтому именно **в критические стадии развития ребенка особенно легко нарушаются наиболее интенсивно функционирующие звенья метаболизма**, и организм оказывается наиболее чувствительным к действию повреждающих факторов.

3. **Увеличение энергетических резервов организма** в процессе роста (депо гликогена и жира); относительное уменьшение объема внеклеточной жидкости за счет увеличения клеточной массы.

4. **Неустойчивость (лабильность) обменных процессов.** Она обусловлена *морфологической незрелостью и функциональной неполноценностью регуляторных механизмов* (ЦНС, эндокринные железы), а также связана с *незрелостью целого ряда ферментных систем* ребенка. В частности, у детей раннего возраста имеется недостаточная активность ферментов, осуществляющих гидролитическое расщепление пищевых веществ в желудочно-кишечном тракте; ферментных реакций, связанных с тканевым дыханием; несовершенство системы глюкозилтрансферазы, участвующей в конъюгации билирубина. Определенную роль в неустойчивости метаболизма ребенка играет также *лабильность барьерных функций* (состояние гистогематических барьеров), заключающаяся в *повышенной проницаемости мембран*, призванных регулировать относительное постоянство состава и свойств клеток. Все перечисленные обстоятельства приводят к *несовершенству биохимической адаптации* ребенка, *снижают резервные возможности организма* и делают его легко уязвимым, *высоко чувствительным к действию различных неблагоприятных факторов* (гипоксия, неправильное питание, инфекции и т.д.). Кроме того, лабильность системы гомеостаза и несовершенство регуляторных механизмов обуславливают возникновение *своеобразных черт* в клинике того или иного *заболевания* у детей по сравнению с клиническим течением той же патологии у взрослых. Мощнейшим фактором, изменяющим метаболизм ребенка, является характер питания, качественный и количественный состав потребляемой пищи. При нерационально составленной диете чрезвычайно легко возникает дефицит того или иного витамина либо другого незаменимого фактора питания.

5. Неустойчивость обменных процессов в детском возрасте проявляется **лабильностью биохимических показателей** (колебания глюкозы крови, появление сахара в моче, легкость возникновения протеинурии, накопление кетоновых тел и т.д.). Для здоровых детей, особенно в раннем возрасте, характерно влияние приема пищи на целый ряд биохимических показателей; кроме того, суточные колебания биохимических констант у них имеют значительно больший размах, чем у взрос-

лых. Патологические изменения в обмене веществ возникают у ребенка с особой легкостью, что незамедлительно отражается на биохимических показателях. Например, кетоз у детей легко развивается вследствие самых разнообразных причин (кратковременный недостаток углеводов в пище, рвота, перерыв в кормлении, повышенная двигательная активность и др.). При нарушении обменных процессов у ребенка в связи с развитием патологических состояний биохимические показатели также характеризуются большей амплитудой, чем при аналогичных заболеваниях у взрослых, что иногда затрудняет правильную трактовку лабораторных анализов у детей.

Большинство биохимических показателей зависит от возраста ребенка. Яркий тому пример – возрастная вариабельность уровня глюкозы в крови. Все вышесказанное указывает на необходимость учета особенностей обмена веществ детского организма при оценке метаболического статуса, диагностике и лечении заболеваний у ребенка.

Особенности энергетического обмена у детей

В функционировании различных органов и систем ведущая роль принадлежит энергетическому обмену. Все процессы, лежащие в основе жизнедеятельности организма, требуют энергетических затрат. Каждый возрастной период имеет свои особенности энергетического метаболизма.

Внутриутробный период

В период **эмбриогенеза** с высокой скоростью происходит формирование тканей, их рост и дифференцировка, что требует образования значительного количества пластического материала, синтеза функционально активных белков - ферментов. Искключительная напряженность процессов роста обуславливает существование **интенсивного энергетического метаболизма** еще до рождения ребенка. Плацентарное кровообращение, функционирующее во внутриутробном периоде, характеризуется относительно невысоким поступлением кислорода в организм плода. Вследствие этого в тканях развивающегося эмбриона и плода достаточно активно протекает **анаэробный гликолиз**. Этот метаболический путь по сравнению с аэробным гликолизом дает меньше энергии, глюкоза расходуется неэкономично, и высокий уровень энергообразования обеспечивается **повышенным потреблением глюкозы трансплацентарно из крови матери**.

Метаболические реакции пластического и энергетического обмена у плода направлены на подготовку к его существованию вне организма матери. Родовой акт является сильнейшим стрессом для рождающегося ребенка. Эффективность приспособления плода к этому стрессу непосредственно сопряжена с накоплением в организме субстратов, используемых для получения энергии. У плода в тканях (печень, мышечная ткань, надпочечники и другие) интенсивно накапливается гликоген, в основном за счет глюкозы, поступающей

из крови матери. Это раннее накопление гликогена в печени дает возможность выжить недоношенным детям. В организме плода также образуются жиры, источником которых являются кетовые тела, переходящие свободно через плацентарный барьер. В последние 3 месяца внутриутробной жизни в теле плода депонируется 600-700 г жира. Наряду с обычной жировой тканью в организме плода образуется бурая жировая ткань, которая, сыграв свою роль непосредственно после рождения, постепенно исчезает. Значение этой ткани состоит в процессах терморегуляции новорожденных.

Внутриутробный период

Попадание ребенка во внеутробную среду обитания сочетается с переходом от плацентарного к легочному газообмену, изменением питания, воздействием на новорожденного более низкой, чем в организме матери, окружающей температуры. Этот температурный перепад может составлять 15-18°. Он в значительной степени влияет на обмен веществ новорожденного, а также вызывает ответную реакцию со стороны мышечной системы ребенка - возникновение мышечного тонуса, обеспечивающего высокий уровень терморегуляции. Поэтому в первые часы жизни новорожденного, когда еще сохраняются особенности метаболизма внутриутробного периода, но условия внешней среды уже совершенно иные, отмечается существенное напряжение всех систем организма, что находит свое отражение в отличительных чертах энергетического обмена ребенка.

Общими закономерностями энергетических процессов у детей являются следующие.

1) **Высокая потребность тканей в энергии.** В расчете на 1 кг массы тела у ребенка первого и второго полугодия жизни **расходуется** соответственно в 3 и в 2,4 раза больше АТФ, чем у взрослого; особенно высокий уровень энергозатрат характерен для организма новорожденного. Наибольшее количество макроэргов используется на активно протекающие процессы анаболизма, связанные с интенсивным ростом организма и дифференцировкой тканей. Значительная часть энергии расходуется на функционирование системы поддержания температурного гомеостаза и работу двигательного аппарата.

2) Своеобразие теплообмена у детей.

Постоянство температуры тела (температурный гомеостаз) зависит от равновесия между потерями тепла и его продукцией. Для поддержания температурного гомеостаза организм ребенка даже в покое тратит много энергии, и соответственно, освобождается большое количество тепла. Новорожденный имеет ограниченную способность регулировать теплоотдачу, которая при расчете на единицу массы тела может в 4 раза превышать теплоотдачу у взрослого. Главной причиной этого является большая, чем у взрослого, поверхность тела по отношению к его массе, а также тонкий слой подкожного жира, выполняющего роль теплоизоляции. Вместе с тем новорожденный имеет значительную способность повышать теплопродук-

цию, поскольку система терморегуляции у детей зависит от температуры окружающей среды.

При охлаждении тела ребенка усиление теплообразования происходит в результате сократительной работы мышц (холодовая мышечная дрожь и холодовой мышечный тонус). Такая мышечная деятельность является мощным источником тепла и называется **дрожательный термогенез**.

Кроме того, у новорожденного и ребенка раннего возраста (до 1 года) в процессах теплопродукции особое значение имеет так называемый **недрожательный, или химический, термогенез**, связанный с непосредственным окислением жира в бурой жировой ткани. У новорожденных эта ткань составляет 2 % от массы тела. Под влиянием холода в бурой жировой ткани выделяется норадреналин, являющийся в ней главным стимулятором липолиза. Следовательно, бурая жировая ткань служит не только источником неэтерифицированных жирных кислот (НЭЖК), но и местом их сгорания с образованием тепловой энергии, т.е. является важным органом теплопродукции.

3) **Высокая чувствительность энергетического обмена к регуляторным воздействиям.** Функционально незрелая система терморегуляции у детей раннего возраста отличается лабильностью и весьма чувствительна к регуляторным воздействиям, например, к влиянию веществ, разобщающих цепь тканевого дыхания (ЦТД) и окислительное фосфорилирование (тироксин, НЭЖК, токсины микроорганизмов). Под действием разобщителей значительная часть энергии дыхательной цепи не запасается в виде АТФ, а рассеивается в виде тепла. В связи с этим легко может возникать несоответствие между теплоотдачей и теплопродукцией, что проявляется в повышении температуры тела и перегревании организма. Термолабильность в организме детей сохраняется до 2 лет.

4) **Большая интенсивность энергообразования.** Для обеспечения значительных энергетических потребностей ребенка необходимы относительно большие энергетические резервы организма. Следствием повышенного расходования АТФ является высокая интенсивность биоэнергетических процессов, наиболее выраженная у детей раннего возраста (особенно у новорожденных); в дальнейшем она постепенно снижается.

5) **Переключение путей наработки энергии с эмбрионального типа на тип, характерный для взрослого человека.** На протяжении первого года жизни ребенка происходят качественные изменения в характере энергообеспечения тканей: снижается удельный вес анаэробного гликолиза и нарастает интенсивность процессов окислительного фосфорилирования. У новорожденных в тканях еще сохраняются особенности метаболизма внутриутробного периода, поэтому преобладают процессы анаэробного расщепления углеводов, что обеспечивает высокую устойчивость организма к гипоксии, но продуцирует небольшое количество макроэргов. В первые три месяца после рождения интенсивность анаэробного гликолиза у детей наиболее высока и остается на протяжении первого года

жизни на 30-35 % выше, чем у взрослых.

К 3-4-месячному возрасту у ребенка наблюдается перестройка внутриклеточного метаболизма: параллельно снижению анаэробного гликолиза нарастает интенсивность окислительно-восстановительных процессов, увеличивается потребление кислорода, стабилизируется преобладание аэробного гликолиза над анаэробным, энергетические потребности растущего организма обеспечиваются высоким уровнем окислительного фосфорилирования. Эта общая закономерность изменения метаболизма в сторону аэробного пути наработки энергии дает возможность тканям более экономично использовать глюкозу.

б) Изменение субстратного обеспечения энергетических процессов.

Использование субстратов в качестве источников энергии изменяется на протяжении первых месяцев жизни ребенка. Поскольку у новорожденных преобладают процессы анаэробного гликолиза, которые дают относительно мало энергии, а уровень энергозатрат на единицу массы тела очень высокий, то для обеспечения энергией процессов жизнедеятельности в первые дни после рождения ребенок тратит запасы энергетических веществ, накопленные «впрок» во внутриутробном периоде. От наличия этих запасов зависит эффективность адаптации ребенка к внеутробному существованию.

В первые часы жизни новорожденный использует в качестве эндогенного источника энергии гликоген. Однако при рождении ребенок обладает недостаточными запасами гликогена. В момент рождения содержание сахара в крови ребенка соответствует концентрации его у матери. Гормоны стресса, выделяющиеся во время родов, быстро «опустошают» запасы гликогена в печени. Через 2-3 часа после рождения содержание глюкозы в крови у новорожденных понижается до гипогликемических величин. В таких условиях главным источником энергии становятся НЭЖК. Охлаждение тела ребенка, наступающее после рождения в связи с переходом из материнского организма в новую среду обитания, обеспечивает выброс гормонов (тироксина, в бурой жировой ткани – норадrenalина, при развитии гипогликемии – глюкагона), которые активируют расщепление триглицеридов с образованием жирных кислот. В крови повышается концентрация НЭЖК, которые потом используются на энергетические цели.

Поскольку у ребенка в первые сутки после рождения белки как источник энергии практически не используются, а углеводов крайне мало, то главным **эндогенным** источником энергии для новорожденных являются НЭЖК. Наиболее интенсивно процесс липолиза протекает на 3 - 4 день после рождения, что соответствует периоду максимальной потери массы у новорожденных. Все ткани, кроме мозга и эритроцитов, потребляют НЭЖК. Одновременно с НЭЖК нарастает использование тканями кетонных тел, которые также служат энергетическим ресурсом. Со второй недели жизни

уровень глюкозы в крови новорожденных постепенно повышается, а содержание НЭЖК снижается, однако до 3-месячного возраста остается выше, чем у старших детей.

В таких условиях, когда из-за гипогликемии ткани не могут эффективно использовать глюкозу крови, а интенсивно протекающий липолиз истощает запасы энергетических ресурсов в теле новорожденного, организм ребенка находится в течение первой недели жизни на пределе энергетического равновесия. Поэтому, с биохимической точки зрения, покрытие энергетических затрат в этот возрастной период должно осуществляться путем правильной организации питания детей.

Очень важно производить максимально ранее первое кормление ребенка, чтобы избежать усиления катаболических процессов в организме. Существенным моментом является также регулярность кормления, поскольку пропуск даже одного приема пищи неизбежно мобилизует жировые запасы для ликвидации резко выраженного дефицита энергии. Голодание ребенка в раннем возрасте считается недопустимым, так как оно сопровождается глубокими метаболическими изменениями в организме, притом тем более тяжелыми, чем моложе ребенок.

Экзогенными источниками энергии у детей являются углеводы и жиры (как и у взрослых), в меньшей степени белки. У ребенка раннего возраста за счет углеводов покрывается приблизительно 40 % энергетической потребности организма, за счет жиров - около 50 %, а в первые дни жизни жиры составляют 80-90 % энергетической ценности рациона. По мере роста ребенка соотношение меняется в пользу углеводов.

Литература

1. Биохимические нормы в педиатрии: Практический справочник / Сост. Д. Б. Сыромятников. - СПб.: СОТИС, 1994. - 94 с.
2. Иванов Н. Р., Рубин В. И. Обмен веществ у детей и способы его биохимической оценки. - Саратов: Изд. СГУ, 1984. - 256 с.
3. Камышников В. С. О чем говорят медицинские анализы: Справ. пособие. - Мн.: Беларуская навука, 1997. - 189 с.
4. Маркова И. В., Неженцев М. В. Фармакология: Учебник для педиатр. ф-тов мед. ин-тов / Науч. ред. В. В. Байков. - СПб.: СОТИС, 1994. - 456 с.
5. Обмен веществ у детей / Ю. Е. Вельтищев, М. В. Ермолаев, А. А. Ананенко, Ю. А. Князев. - М.: Медицина, 1983. - 464 с.
6. Полачек К. и др. Физиология и патология новорожденных детей: Пер. с чеш. - Прага: Авиценум, 1986. - 450 с.
7. Рачев Л., Тодоров И., Статева С. Обмен веществ в детском возрасте: Пер. с болг. - София: Медицина и физкультура, 1967. - 464 с.

Resume

SPECIFIC FEATURES OF ENERGY METABOLISM IN CHILD

A.A. Maslovskaya

The state of metabolism at any age of a child provides optimal proportion of synthetic and bioenergetic processes essential for growth. In children, the intensity of anabolism exceeds the intensity of catabolism; in adults both these sides of metabolism are getting equally expressed. High intensity of bioenergetic processes in children meets the considerable requirements of tissues in energy. Energy metabolism of children is very sensitive to regulatory influence. The substrate supply of energy processes changes during the child's life.