

ОСНОВЫ РАЦИОНАЛЬНОГО ПИТАНИЯ

Учебное пособие

Под редакцией профессора М.М. Лапкина

Министерство образования и науки РФ

Рекомендовано ФГАУ «Федеральный институт развития образования»
в качестве учебного пособия для использования в учебном
процессе образовательных учреждений, реализующих программы
высшего образования по специальностям 31.05.01 «Лечебное дело»,
31.05.02 «Педиатрия», 32.05.01 «Медико-профилактическое дело»,
31.05.03 «Стоматология»

Регистрационный номер рецензии 434 от 27.12.2016 года



Москва
ИЗДАТЕЛЬСКАЯ ГРУППА
«ГЭОТАР-Медиа»
2017

Глава 2

ОБМЕН, ПРЕВРАЩЕНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭНЕРГИИ В ОРГАНИЗМЕ ЧЕЛОВЕКА

В процессе обмена веществ постоянно происходит превращение энергии. Энергия сложных органических соединений, поступивших с пищей, превращается в тепловую, механическую и электрическую энергию клеток. Человек и животные получают энергию из окружающей среды в виде потенциальной энергии, заключенной в химических связях молекул жиров, белков и углеводов. В живых организмах, жизнь которых протекает при сравнительно постоянной температуре, образуются два вида энергии:

- свободная энергия, служащая для совершения работы в организме;
- тепловая энергия, которая может быть использована только для поддержания температуры тела.

Освобожденная при расщеплении различных органических соединений свободная энергия не используется сразу на месте ее образования. Большая часть ее преобразуется в богатые энергией макроэргические соединения, главным образом богатые энергией фосфаты (АТФ и КФ), из которых в случае необходимости она снова может быть извлечена.

Энергия макроэргических связей используется для биосинтетических процессов, создания и поддержания электрических потенциалов клеточных мембран, мышечного сокращения. Важнейшие метаболические пути катаболизма для углеводов — гликолиз, гликогенолиз, цикл Кребса (цикл трикарбоновых кислот), для жиров — β -окисление жирных кислот, для белков — пути распада аминокислот.

Процессы окислительного фосфорилирования с образованием энергии протекают в митохондриях клеток.

Все процессы жизнедеятельности обеспечиваются энергией за счет анаэробного и аэробного метаболизма. Получение энергии без участия кислорода называется анаэробным обменом.

В ходе анаэробного расщепления глюкозы (гликолиза) или ее резервного субстрата гликогена (гликогенолиза) превращение 1 моля глюкозы

в 2 моля лактата (молочной кислоты) приводит к образованию 2 молей АТФ. Энергии, образующейся в ходе анаэробных процессов, недостаточно для активной жизни.

Реакции, происходящие с участием кислорода, энергетически более эффективны. Все процессы, генерирующие энергию с участием кислорода, называются аэробным обменом. Как анаэробный, так и аэробный процессы превращения глюкозы имеют одинаковый механизм вплоть до образования пировиноградной кислоты. Далее пируват транспортируется в митохондриях, где происходит его декарбоксилирование до ацетил-КоА.

При окислении сложных молекул химические связи разрываются; сначала органические молекулы распадаются до трехуглеродных соединений, которые включаются в цикл Кребса (цикл лимонной кислоты), а далее окисляются до углекислого газа и воды. Высвободившиеся в этих реакциях протоны и электроны вступают в цепь переноса, в которой кислород служит конечным акцептором электронов. Биологическое окисление в сущности представляет собой «сгорание» вещества при низкой температуре.

Часть энергии, высвобождающейся при окислении, запасается в высокоэнергетических фосфатных связях АТФ. Согласно хемиосмотической теории П. Митчелла (1978), в результате переноса электронов и протонов по дыхательной цепи создается градиент протонов по обеим сторонам внутренней мембраны митохондрий. Энергия этого градиента — движущая сила процесса синтеза АТФ. АТФ служит аккумулятором химической энергии и средством ее переноса, диффундируя в те места, где она требуется.

Дыхательная цепь может быть ингибирована в нескольких местах барбитуратами и антибиотиками. Повреждающее действие на дыхательную цепь оказывает также внутриклеточное закисление, возникающее, например, при усилении гликолиза. В этих случаях электроны ускользают из дыхательной цепи на уровне убихинона и прямо взаимодействуют с кислородом, генерируя свободные радикалы кислорода. Свободные радикалы, обладая повышенной реакционной способностью, могут вызывать так называемый окислительный стресс, оказывающий повреждающее действие на различные клеточные структуры. Грубые нарушения окислительного фосфорилирования, как правило, несовместимы с жизнью. Такое состояние может наблюдаться при отравлении цианидами.

Одна молекула глюкозы при аэробном окислении образует 38 молекул АТФ, при окислении одной молекулы жирной кислоты образуется

до 129 молекул АТФ, а выход АТФ при окислении аминокислот примерно соответствует выходу АТФ при окислении глюкозы.

При полном окислении 1 г глюкозы до углекислого газа и воды образуется 0,13 моля АТФ, что соответствует 4,1 ккал.

Лишь 0,92 ккал энергии запасается в синтезированной АТФ, а остальные 3,09 ккал будут рассеяны в виде тепла.

Теплота, которая выделяется сразу в процессе биологического окисления питательных веществ, называется первичной теплотой.

Этот первый гидролитический этап проходит в желудочно-кишечном тракте и лизосомах без участия кислорода и освобождает 1% энергии субстратов. Эта энергия не запасается и полностью уходит в тепло.

Второй этап — бескислородное цитоплазматическое расщепление — представлен в клетках гликолизом и аналогичными процессами распада липидов. В результате получается универсальный катаболит — активный двууглеродный фрагмент ацетил-коэнзима А. Это приводит к освобождению не менее 30% всего теплосодержания субстратов, при этом запасается около 45%, а остальная часть тоже рассеивается.

$$\text{КПД синтеза АТФ} = (0,91/4,0) \times 100 = 22,7\%$$

где КПД — коэффициент полезного действия.

Часть энергии химических связей (22,7%) используется на синтез АТФ и вновь запасается в виде химической макроэргической связи, а 77,3% энергии химических связей глюкозы превращается в первичную теплоту и рассеивается в тканях.

Количество синтезированных молей АТФ на моль окисленного субстрата зависит от его вида и от величины коэффициента фосфорилирования. Этот коэффициент, обозначаемый как Р/О, равен количеству синтезированных молекул АТФ в расчете на 1 атом кислорода, потребленный при окислении восстановленных соединений в процессе дыхания. Эти соотношения Р/О отражают энергетические траты на синтез АТФ в митохондриях и транспорт макроэрга против химического градиента из митохондрий к местам потребления.

Стандартная свободная энергия гидролиза АТФ имеет среднее значение 7 ккал/М, КФ — 10,5 ккал/М.

Аккумулированная в АТФ энергия в последующем используется для осуществления в организме химических, осмотических, транспортных, электрических процессов, производства механической работы и в конечном итоге превращается тоже в теплоту. Эта теплота получила название вторичной.

В названии «первичная и вторичная теплота» отражено представление о двухступенчатости полного превращения всей энергии химических связей питательных веществ в тепло.

Физическая нагрузка совершается с нарастанием доли анаэробного метаболизма, что приводит к быстрому уменьшению запасов гликогена и нарастанию в крови молочной кислоты. Потребление кислорода при физической нагрузке не отражает общего расхода энергии, так как часть ее тратится на гликолиз (анаэробный) и не требует кислорода.

Разность между потребностью в кислороде и его потреблением способствует образованию энергии, получаемой в результате анаэробного распада, и называется кислородным долгом. Потребление кислорода и после окончания мышечной работы остается высоким, так как в это время происходит возвращение кислородного долга. Кислород затрачивается на превращение главного побочного продукта анаэробного метаболизма — молочной кислоты — в пировиноградную, на фосфорилирование энергетических соединений (КФ) и восстановление запасов кислорода в мышечном миоглобине. Потери воды при работе в жару резко возрастают. При гипоксии сердечной мышцы происходит превращение макроэргов в пурины. Они попадают в системный коронарный кровоток, активируют продукцию монооксида азота и расширяют венечные (коронарные) сосуды.

Динамику химических превращений, происходящих в клетках, изучает биологическая химия.

Задача физиологии — определение общих затрат веществ и энергии организмом и того, как их следует восполнять с помощью полноценного питания.

Энергетический обмен служит показателем общего состояния здоровья, физической и умственной работоспособности, физиологической активности организма.

2.1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСХОДА ЭНЕРГИИ

Единица измерения энергии, обычно применяемая в биологии и медицине, — калория (кал). Калория — это количество энергии, необходимое для повышения температуры 1 г воды на 1 °С. В Международной системе единиц (СИ) при измерении энергетических величин используется джоуль (1 ккал = 4,19 кДж).

Джоуль (Дж): 1 джоуль = 1 ватт в 1 секунду = $2,39 \times 10^{-4}$ ккал. Если целая клетка совершает внешнюю работу, то часть вырабатываемой при этом энергии обязательно выделяется в виде тепла (второй закон термодинамики).

КПД активной клетки представляет собой ту часть вырабатываемой энергии, которая затрачивается на внешнюю работу, и всегда меньше 100%:

$$\text{КПД} = (\text{ВР}/\text{ВЭ}) \times 100\%,$$

где ВР — внешняя работа; ВЭ — вырабатываемая энергия.

КПД изолированной мышцы достигает в лучшем случае 35%. В случае мышечной работы целого организма эта величина редко превышает 25%.

Если человек не совершает работу, то практически вся генерируемая им энергия теряется в форме тепла (например, у человека, лежащего в постели).

Следовательно, величина теплопродукции служит точным выражением величины обмена в организме человека.

Для определения количества затрачиваемой организмом энергии в физиологии применяют методы прямой и непрямой калориметрии.

Прямая калориметрия заключается в непосредственном измерении всех теплопотерь организма в теплоизолированной камере в единицу времени.

Для этого животное или человека помещают в специальную герметичную камеру, по трубам, проходящим через нее, протекает вода. Для вычисления теплопродукции используют данные о теплоемкости жидкости, ее объеме, протекающем через камеру за единицу времени, и разности температур поступающей в камеру и вытекающей жидкости. При измерении количества тепла, выделенного мышцами в водяном калориметре, учитывают массу и удельную теплоемкость различных частей камеры и воды.

$$Q = c \times m \times \Delta t$$

$$Q = (c_1 \times m_1 + c_2 \times m_2 + c_3 \times m_3 + \dots + c_n \times m_n),$$

где Q — количество тепла, выделенного организмом в теплоизолированную камеру; c — удельная теплоемкость воды (теплопоглотителя) и материалов, из которых изготовлены все составляющие элементы камеры; m — масса воды и всех составляющих элементов камеры; Δt — разность температур воды, вытекающей из камеры и поступающей в нее.

Расход энергии за 1 час на 1 кг веса тела определяют по формуле и данным в прилагаемых таблицах для каждого калориметра.

Первые прямые измерения энергетического обмена провели А. Лавуазье и П. Лаплас в 1788 г. Первая калориметрическая камера (ледяной калориметр) была создана ими в 1780 г. Они впервые измерили количество тепла, выделенного организмом морской свинки, по количеству воды, полученной от таяния льда в этой камере. Этот ледяной калориметр

применяли недолго, так как низкая температура, в которой пребывало животное, резко ускоряло обменные процессы в организме. Точная калориметрическая камера была построена в 1884 г. русским ученым В.В. Пашутиным, она представляла собой удачное сочетание водяного калориметра с респирационной камерой. В 1893 г. была сконструирована калориметрическая камера и для человека, которая характеризовалась высокой точностью измерения энергетического обмена. Однако за пределами России создание первого точного калориметра для измерения теплопродукции животного приписывают М. Рубнеру в 1890 г.

Метод прямой калориметрии дает возможность изучить теплопродукцию организма в состоянии покоя и при выполнении элементарных трудовых процессов, но не в обычных условиях жизни и трудовой деятельности.

Вследствие сложности метода прямой калориметрии значительно более широкое распространение получил другой сравнительно простой метод определения энерготрат — метод непрямой калориметрии. Непрямая калориметрия может быть представлена несколькими вариантами — методом пищевых рационов и методом газового анализа.

Метод пищевых рационов

В 1843 г. русский физиолог В.Я. Данилевский методами термохимии определил различное количество тепла, образующегося при сгорании пищевых веществ. Эти работы затем были развиты немецким физиологом М. Рубнером и американским физиологом Ф. Бенедиктом. Один из выводов закона сохранения энергии, установленного членом Петербургской академии Г. Гессом, гласит: энергетический итог любой химической реакции не зависит от путей, по которым эта реакция протекала. Если 1 г сахара целиком окислен до углекислого газа и воды, то количество освободившейся при этом энергии совершенно одинаково как при сжигании сахара, так и при его окислении под действием ферментов. Определяя теплоту сгорания пищевых веществ вне организма, можно установить количество тепла, освобождаемого в организме при окислении там такого же количества пищевых веществ. Зная весовые количества окисленных организмом пищевых веществ (при неизменном весе тела) и теплотворную способность каждого грамма усвоенного вещества, можно произвести расчет энергетических затрат организма человека и животных. Для исследования теплотворной способности пищевых веществ их сжигают в калориметрической бомбе Бергло.

Метод газового анализа

Сущность этого метода заключается в исследовании легочного газообмена. Он может быть методом полного и неполного газового анализа. При полном газовом анализе измеряют количество потребленного организмом кислорода и выделенного углекислого газа с последующим расчетом энергозатрат с использованием данных о величинах дыхательного коэффициента и калорического эквивалента кислорода.

Теоретические основы метода газообмена были заложены А. Лавуазье и П. Лапласом (1780), которые установили, что дыхание, как и горение, сопровождается поглощением кислорода и выделением углекислого газа. При этом потребление животным определенного количества кислорода ведет к образованию довольно постоянного количества тепла.

Опытами А.А. Лихачева (1893) и М. Рубнера было доказано, что все тепло, образующееся в организме, есть результат окисления пищевых веществ — белков, жиров и углеводов, которое происходит за счет кислорода вдыхаемого воздуха. При этом образуется углекислый газ и вода, а в случае окисления белков — азотсодержащие вещества.

Опираясь на положение закона о сохранении энергии (выделение тепла при химических процессах зависит только от начального и конечного состояния вещества, каковы бы ни были промежуточные реакции) можно оценить характер энергетического обмена организма человека. Поскольку между количеством освобожденного организмом тепла, выделенного углекислого газа и поглощенного кислорода существуют точные соотношения, то для оценки расхода энергии можно пользоваться данными газового анализа. Исследователи сочли возможным определить величину утилизируемой организмом энергии по количеству выделенной им углекислоты либо по количеству поглощенного кислорода, который находится в прямой зависимости от интенсивности окислительных процессов и характера окисляемых веществ. Установлено, что при окислении белков, жиров и углеводов поглощение равных объемов кислорода выделяется неодинаковое количество тепла. Для определения освободившейся энергии необходимо знать и характер окисляющихся в организме веществ. Его устанавливают по дыхательному коэффициенту — отношению количества выделенного углекислого газа к поглощенному кислороду за этот же промежуток времени.

Наиболее распространен способ Дугласа—Холдейна, при котором в течение 10–15 мин собирают выдыхаемый обследуемым человеком воздух в мешок из воздухонепроницаемой ткани (мешок Дугласа). По этому методу испытуемый дышит через маску, снабженную клапанами. Клапаны

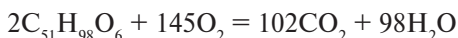
устроены так, что наружный воздух свободно вдыхается, а весь выдыхаемый воздух поступает в мешок. Затем определяют объем выдыхаемого воздуха и объем и процентное содержание в нем кислорода и углекислого газа. По соотношению между количеством выделенного углекислого газа и количеством потребленного за данный период времени кислорода — дыхательному коэффициенту — можно установить, какие вещества окисляются в организме. Умножая объем потребленного кислорода на тепловой эквивалент кислорода, который соответствует определенному дыхательному коэффициенту, находят энергетический обмен в калориях:

$$\text{ДК} = V \times \text{CO}_2 / V \times \text{O}_2.$$

Дыхательный коэффициент при окислении белков равен 0,82, при окислении жиров — 0,7, углеводов — 1,0.



$$\text{ДК} = 6 \text{ г} - \text{моль. CO}_2 / 6 \text{ г} - \text{моль. O}_2 = 1 \text{ (для глюкозы)}$$



$$\text{ДК} = 102 / 145 = 0,703 \text{ (для жиров).}$$

Белки принимают незначительное участие в энергетическом обмене (15–20%).

Величина дыхательного коэффициента довольно точно указывает на природу окисляемых веществ в организме. Если дыхательный коэффициент приближается к 1,0, значит, в организме подвергаются окислению углеводы или преимущественно углеводы.

При нормальных условиях дыхательный коэффициент практически не бывает равен 0,7, так как в организме идет одновременно окисление какого-то количества углеводов, жиров и белков. В условиях основного обмена коэффициент равен 0,85–0,90, при ходьбе и в течение дня колеблется от 0,75 до 0,85 и лишь при тяжелой физической нагрузке достигает 1,0.

Каждому значению дыхательного коэффициента соответствует определенный калорический эквивалент кислорода — количество тепла, которое выделяется при окислении какого-либо вещества на каждый литр поглощенного при этом кислорода.

Количество энергии на единицу потребляемого кислорода зависит от типа окисляющихся в организме веществ.

Калорический эквивалент кислорода при полном окислении углеводов равен 21 кДж (5 ккал), белков — 18,7 кДж (4,5 ккал), жиров — 19,8 кДж (4,74 ккал) на 1 л кислорода.

Знание величины калорического эквивалента кислорода позволяет точно устанавливать величину энерготрат путем определения количества кислорода, которое за данный промежуток времени потреблено организмом. Для косвенного определения интенсивности обмена могут быть использованы некоторые физиологические параметры, связанные с потреблением кислорода: частота дыханий и вентиляционный объем, частота сокращений сердца и минутный объем кровотока — все они отражают затраты энергии. Однако эти показатели недостаточно точны.

В настоящее время для более точного определения энерготрат используют метод оценки с использованием воды, меченой стабильными изотопами ($^2\text{H}_2^{18}\text{O}$).

В методе двоякомеченой воды используют воду, содержащую стабильные изотопы $^2\text{H}_2^{18}\text{O}$. Ошибка определения энерготрат при использовании индивидуальных калибровочных кривых зависимости составляет около 5%.

Кинетика выведения меченой воды из организма позволяет определить расход энергии. Принцип метода заключается в следующем: [^{18}O] выводится из организма не только с водой, но и с выдыхаемым углекислым газом, а дейтерий [^2H] — только в виде воды. При этом различие скоростей выведения меченого водорода и меченого кислорода определяется скоростью выведения углекислого газа, величина которой напрямую связана с энергопродукцией.

Как правило, для измерения суточных энерготрат используют введение меченой воды внутрь. Любую физиологическую жидкость можно использовать для анализа содержания [^2H] и [^{18}O]: плазму, слюну, мочу, влагу выдыхаемого воздуха и пр. В большинстве наблюдений, проводимых на людях, моча — наиболее предпочтительный материал для изотопного анализа.

Количество вводимой метки должно быть достаточно для обеспечения необходимой чувствительности измерений на протяжении всего эксперимента. При длительности эксперимента 10–14 сут оптимальная доза для взрослых составляет 0,3 г $\text{H}_2^{18}\text{O}^{\text{кр-1}}$ и 0,12 г $^2\text{H}_2\text{O}^{\text{кр-1}}$. Для расчетов кинетики выведения необходимо иметь как минимум три временные точки измерения: до введения $^2\text{H}_2^{18}\text{O}$, в начале и в конце измерения. Для получения достоверных результатов суточных энерготрат период кинетического анализа должен составлять 2–3 нед.

В целом процедура не относится к инвазивным методам, практически не имеет ограничений применения и позволяет проводить исследования в свободном образе жизни и даже в таких видах физической активности, которые недоступны для других методов измерений. $^2\text{H}_2^{18}\text{O}$ -метод, наряду с методом прямой калориметрии, часто применяют в качестве стандарта

для оценки точности, надежности и достоверности новых способов измерения энерготрат.

Однако указанный $^2\text{H}_2^{18}\text{O}$ -метод имеет некоторые ограничения.

Расчет энерготрат по кинетике выведения метки предполагает, что содержание воды в организме за период измерений не меняется. В большинстве случаев данное допущение выполняется. Изменение размера пула воды бывает, например, у растущих детей. В таких случаях ошибка метода не превышает 1% от величины энерготрат.

Ошибка $^2\text{H}_2^{18}\text{O}$ -метода при условии постоянства потоков H_2O и CO_2 находится в пределах 2% от величины суммарных энерготрат.

У пациентов с острыми и хроническими заболеваниями, после хирургических операций или в процессе изнуряющих физических нагрузок постоянство потоков H_2O и CO_2 может не соблюдаться. Однако даже в этих случаях изотопный метод дает расхождение не более чем на 10% от калориметрических измерений.

Акселерометрия

Инструментальные методы измерения двигательной активности позволяют дать количественную характеристику физической активности и избежать субъективных ошибок, связанных с проведением хронометража. Среди методов кинематических измерений есть достаточно специфичные, которые применяют в условиях ограниченного пространства.

Благодаря успехам развития технологии были получены портативные высокочувствительные акселерометры с большим объемом памяти и совершенным программным обеспечением. На смену одномерным акселерометрам пришли трехмерные, обеспечивающие максимально точную регистрацию практически всех возможных видов движений, начиная от малоподвижного сидячего образа жизни до высокоинтенсивных видов деятельности. Большинство электронных акселерометров содержат пьезоэлектрический сенсор и сейсмическую массу. Во время измерения двигательной активности сейсмическая масса обеспечивает механический отклик, а пьезоэлемент преобразует его в электрический сигнал, величина которого пропорциональна активности движения. Большое преимущество также дает оснащение частотными фильтрами, позволяющими отсечь помехи, которые возникают, например, при пользовании общественным транспортом.

Современные технологические чипы используют в новом поколении приборов, что в сочетании с адекватным программным обеспечением

позволяет достигать высокой точности и воспроизводимости измерений, в результате чего можно получить исчерпывающую информацию о тонких различиях двигательной активности, например возможность отличить активность в положении сидя от активности во время сна.

Пульсометрия (Heart Rate)

Между энергоемкостью физической нагрузки и активностью сердечной деятельности существует прямая зависимость. В основе ее лежит необходимость энергетического обеспечения физической деятельности, источником которого служит энергия метаболического окисления белков, жиров и углеводов. Интенсивность физической нагрузки задает темпы поставки кислорода, которые обеспечиваются рефлекторной регуляцией активности дыхания и сердечной деятельности. Пульс является определяющим показателем скорости кровотока и транспорта кислорода к мышцам.

Зависимость между частотой сердцебиений и энергозатратами можно использовать для оценки энергозатрат. В настоящее время используют HR-мониторы, которые позволяют регистрировать измерения на протяжении достаточно длительного времени — до нескольких суток и, что очень важно, при соблюдении обычных условий поведения как в быту, так и в профессиональной деятельности. Немаловажное значение имеет программное обеспечение, в котором предусмотрено использование индивидуальных HR-EE-калибровочных зависимостей для обсчета суточных энергозатрат.

Преимущества использования пульсометрии для измерения энергозатрат следующие. Во-первых, это абсолютно неинвазивный метод. Во-вторых, метод позволяет проводить измерения в естественных условиях практически без ограничений. Простота измерений и расчета энергозатрат, отсутствие необходимости хронометража физической активности обеспечивают относительно высокую точность оценки суточных энергозатрат. Однако зависимость пульса от энергозатрат не является линейной. Требуется проведение индивидуальных калибровок. Калибровка нужна еще и потому, что на характер зависимости могут влиять положение тела, группа мышц, задействованных в выполнении физической активности, и даже осанка. На характер зависимости влияют физическая подготовка, тренированность, усталость и физическая активность в предшествующий период. На пульс также могут существенно влиять эмоциональное состояние, некоторые заболевания, гормональный фон и медикаментозные воздействия. Регистрацию пульса

может исказить воздействие электромагнитного излучения, например мощные электромоторы в метро, электричке, трамвае, троллейбусе и других видах общественного транспорта. К недостаткам метода следует также отнести ощущение дискомфорта при использовании клеящихся электродов и электродфиксирующих ремней, необходимость контроля надежности фиксации электродов на теле и достоверности регистрации кардиопульса.

Таким образом, все методы измерения суточных энергозатрат имеют свои достоинства и недостатки. Преимущества определяются главным образом возможностью проводить измерения в условиях обычной жизни, не нарушая привычный распорядок дня, не внося дискомфорт, не влияя на психическое и физическое состояние. Недостатки чаще всего обусловлены ограничениями использования, недостаточным обеспечением точности, повторяемости, воспроизводимости.

Большое значение имеет соотношение возможностей и стоимости осуществляемых исследований, возможности проводить исследования в полевых условиях с привлечением значимого количества основных групп населения, позволяющих сделать статистически достоверные выводы. В настоящее время наиболее информативными, по всей видимости, являются исследования энергозатрат, выполняемые с помощью комбинированных методов, которые сочетают в себе такие легкодоступные подходы измерений, как, например, непрямая калориметрия, пульсометрия, акселерометрия. Существенным является то обстоятельство, что при оценке пищевого статуса сочетание результатов биоимпедансных исследований и непрямой калориметрии позволяет с высокой степенью индивидуализации рассчитать удельную скорость окисления белков, жиров и углеводов и соотнести их с данными фактического питания и привычных энергозатрат.

2.2. СУТОЧНЫЙ РАСХОД ЭНЕРГИИ (ВАЛОВЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ОБМЕН)

Потребность в энергии, необходимой для обеспечения нормальной жизнедеятельности, может значительно колебаться и зависит от ряда факторов: величины основного обмена, расхода энергии на специфическое динамическое действие (СДД) пищи и расхода энергии на активную мышечную деятельность.

Суточный расход энергии — это совокупность энергозатрат организма на все виды жизнедеятельности, обеспечивающих сохранение постоянства внутренней среды организма, самообновление его морфологических

структур, приспособление организма к изменяющимся условиям окружающей среды, трудовую деятельность, активный отдых и продолжение рода.

Суточный расход энергии у здорового человека складывается из следующих компонентов:

- основного обмена;
- специфически-динамического действия пищи;
- рабочей прибавки;
- энергии, затрачиваемой на терморегуляцию.

Суточный расход энергии (валовый обмен) = основной обмен + СДД пищи + рабочая прибавка + энергия на терморегуляцию.

2.2.1. Основной обмен

Основной обмен (ОО) — это минимальные для бодрствующего организма затраты энергии, связанные с основами жизнедеятельности, определяемые в строго контролируемых стандартных условиях:

- при температуре комфорта (18–21 °С);
- утром, в положении лежа (но обследуемый не должен спать);
- в состоянии полного физического и психического покоя;
- натощак, то есть через 12–16 ч после последнего приема пищи.

Результаты следует экстраполировать на сутки по данным, полученным не менее чем за 15 мин, а лучше за 1 ч.

Эта энергия расходуется на выполнение всех видов полезной работы, а именно:

- механической (работу гладких мышц, деятельность сердечно-сосудистой, дыхательной и выделительной систем, тонуса нервной системы, термогенез);
- осмотической (для создания и поддержания градиента ионов);
- электрической (поддержание и формирование мембранных потенциалов клетки, работу ионных насосов);
- химической (поддержание постоянно идущего синтеза веществ и теплопродукцию).

В связи с индивидуальными росто-весовыми показателями испытуемых основной обмен нормируют в расчете на 1 кг массы тела.

Величина основного обмена у взрослого человека составляет в среднем 1 ккал в 1 ч на 1 кг массы тела.

Работа только одного фермента, присутствующего во всех клетках — натрий-калиевой АТФазы, — требует около 30% энергозатрат организма при полном покое. При энергодефиците функция этого фермента

нарушается в первую очередь, что ведет к деполяризации клеточных мембран возбудимых тканей организма и нарушению возникновения процессов возбуждения и торможения.

Основной обмен человека зависит от пола, возраста, роста, массы тела и индивидуальных особенностей механизмов регуляции обменных процессов (табл. 2.1, 2.2).

У среднестатистического мужчины массой 70 кг при росте 175 см основной обмен в сутки приблизительно равен 1700 ккал, у женщин основной обмен на 1 кг массы тела примерно на 5–10% меньше, чем у мужчин. Это связано с различным соотношением мышечной и жировой ткани на 1 кг веса у мужчин и женщин. Мышечная ткань характеризуется более выраженным энергетическим обменом, чем жировая.

Величина основного обмена зависит от соотношения в организме процессов анаболизма и катаболизма. Преобладание в детском возрасте анаболических процессов над катаболическими обуславливает более высокие значения величины основного обмена у детей — 1,8 ккал/кг в час и 1,3 ккал/кг в час у детей 7 и 12 лет соответственно. К 10–12 годам жизни основной обмен приближается к величинам, характерным для взрослого. Основной обмен повышается к 30 годам на 0,4% в год, а после 30 лет жизни понижается на ту же величину.

Высокий уровень основного обмена в детском возрасте объясняют большим количеством протоплазматической массы, высокой активностью клеток, а также усиленным ростом тканей. В старческом возрасте, наряду со снижением количества и активности клеток, снижением уровня окислительных процессов, уменьшается масса печени, мозга, сердца и почек — органов, в которых обмен веществ происходит наиболее интенсивно.

Интенсивность основного обмена более тесно связана с массой и размерами поверхности тела, что обусловлено прямой зависимостью величины отдачи тепла от площади поверхности тела. Еще в прошлом столетии немецкий физиолог М. Рубнер показал, что у теплокровных организмов, имеющих разные размеры тела, с 1 м² поверхности тела в окружающую среду рассеивается одинаковое количество тепла. На этом основании М. Рубнер сформулировал закон поверхности тела, согласно которому энергетические затраты теплокровного организма пропорциональны величине поверхности тела. Однако этот закон весьма относителен, поскольку не учитывает степень развития волосяного покрова и перестает действовать в условиях относительно высоких температур окружающей среды.

Таблица 2.1. Средние величины основного обмена у взрослого населения России (ккал/сутки)

Масса тела, кг	Мужчины (основной обмен)				Женщины (основной обмен)				
	18–29 лет	30–39 лет	40–59 лет	Старше 60 лет	Масса тела, кг	18–29 лет	30–39 лет	40–59 лет	Старше 60 лет
50	1450	1370	1280	1180	40	1080	1050	1020	960
55	1520	1430	1350	1240	45	1150	1120	1080	1030
60	1590	1500	1410	1300	50	1230	1190	1160	1100
65	1670	1570	1480	1360	55	1300	1260	1220	1160
70	1750	1650	1550	1430	60	1380	1340	1300	1230
75	1830	1720	1620	1500	65	1450	1410	1370	1290
80	1920	1810	1700	1570	70	1530	1490	1440	1360
85	2010	1900	1780	1640	75	1600	1550	1510	1430
90	2110	1990	1870	1720	80	1680	1630	1580	1500

Таблица 2.2. Средние величины основного обмена у детского населения

Возраст	Основной обмен, ккал/кг массы тела	Основной обмен, ккал/сутки
1 мес	60	250
до года	55	550
от 1 до 3 лет	52	660
от 3 до 7 лет	48	900
от 7 до 11 лет	25	650
от 11 до 18 лет	24	>690

Основной обмен — следствие непрекращающегося функционирования всех органов и тканей, поэтому с увеличением массы тела увеличивается и основной обмен. Значение имеет не только масса тела, но и ее состав, так как величина отдельных органов, развитие костной, мышечной ткани, жировых отложений неодинаковы у разных лиц. Степень поглощения кислорода более значительна в мозговой ткани, мышцах и органах брюшной полости. У мужчин атлетического сложения основной обмен выше на 5%, чем у мужчин со слаборазвитой мускулатурой того же роста и массы тела. Около 25% основного обмена в покое приходится на потребление кислорода мышцами, а остальная, большая часть энергии, тратится на работу внутренних органов. Доля участия отдельных органов и тканей в основном обмене в убывающем порядке такова: печень, мозг, сердце, почки, мышечная ткань, жировая ткань.

На основной обмен большое влияние оказывает состояние органов внутренней секреции. При гиперфункции щитовидной железы основной обмен может повышаться на 150%, а при гипофункции — понижаться на 35–40%. Это связано с тем, что тиреоидные гормоны — самые сильные активаторы работы калий-натриевой АТФазы практически во всех тканях, особенно в печени, скелетных мышцах, почках, жировой ткани. Этот механизм составляет основу несократительного термогенеза у теплокровных животных.

Понижение скорости основного обмена происходит при недостаточности функций половых желез и гипофиза, которые также участвуют в регуляции окислительных процессов в тканях.

На величину основного обмена влияют климатические условия. Во время пребывания человека в условиях жаркого климата на него оказывают влияние высокая температура, ультрафиолетовое и тепловое излучение, крайняя сухость воздуха, к которой добавляются ветер с пылью в условиях пустынь или высокая влажность в условиях тропиков и субтропиков. Основной обмен у аборигенов тропиков (африканцев, индейцев, индусов и др.) характеризуется меньшими значениями, чем у жителей умеренного климата. Снижение основного обмена тем больше, чем выше величина среднегодовой температуры среды обитания. Причины снижения основного обмена следующие: высокая температура окружающей среды, угнетающая окислительные процессы в тканях внутренних органов, низкая калорийность и, как правило, слабое развитие мышечной ткани. По сравнению с жителями умеренного пояса население тропических широт характеризуется пониженной плотностью

тела, уменьшением массы тела, увеличением длины конечностей и туловища, малой выраженностью жировой складки, большим отношением поверхности тела к его весу, что увеличивает испаряющую способность поверхности тела и выведения тепла из организма. Для коренных жителей тропиков характерна наследственно закрепленная избирательная способность метаболизма к диете с избытком углеводов и дефицитом белка. У них выявлено низкое содержание триглицеридов. У европейцев, пребывающих в тропических и субтропических странах, наблюдали незначительное снижение основного обмена, это снижение не превышало 10% и со временем становилось еще меньше.

Во время пребывания человека в высоких широтах (территории, лежащие севернее 66°33 северной широты, Крайний Север) на организм воздействуют отрицательные факторы внешней среды: низкие температуры и гипоксия, колебания геомагнитного и электрического полей, атмосферного давления, ритмы светового и сезонных режимов. В ранний период адаптации к Северу в течение полярного дня основной обмен повышается на 13–17%. Это связано с повышением обмена липидов. В период полярной ночи обмен понижается не только из-за уменьшения степени освещенности, являющейся сильным стимулятором гипоталамуса, но и из-за ограничения активности и сокращения времени пребывания человека на морозе. Длительное проживание мигрантов в Заполярье приводит к понижению основного обмена независимо от сезона. В условиях высоких широт возрастает роль жиров и понижается вклад углеводов в энергетический обмен организма. Только в начальный период адаптации главным источником энергии являются углеводы, мобилизующиеся из печени, а уровень сахара в крови в это время повышается. В последующие сроки проживания в Заполярье понижаются как скорость обмена глюкозы на конечных этапах гликолиза, так и уровень сахара в крови (на 40–50%). Нарушения углеводного обмена связаны с дефицитом витамина B_1 — кофактора фермента пируватдегидрогеназы, участвующего в углеводном обмене. Отмечают и дефицит других водорастворимых витаминов (C , B_2 , B_6 , PP) в связи с их усиленной экскрецией с калом и мочой. Одна из причин дефицита витаминов в организме — недостаток минеральных элементов, в частности магния, участвующего во всасывании водорастворимых витаминов. Употребление витаминов приводит к их еще большему выведению. Дефицит витаминов наиболее выражен в период полярного дня, что и приводит к сдвигу углеводного обмена. Одновременно в крови возрастает содержание глюкокортикоидов, повышается активность гормоночувствительной липазы жировой ткани,

что приводит к увеличению в крови общих липидов, фосфолипидов, свободных жирных кислот и активных транспортных форм липидов — липидов низкой и очень низкой плотности. У людей, адаптирующихся к условиям Севера, растет потребность в жирной пище, жирорастворимых витаминах А и Е. По мере увеличения продолжительности проживания в Заполярье артериовенозная разница по свободным жирным кислотам растет, а по глюкозе — падает, что свидетельствует о большем поглощении тканями липидов, нежели углеводов. Процесс переключения энергетического обмена с углеводного на жировой продолжается 5–10 лет.

Интенсивность основного обмена в средних широтах зависит от смены сезонов года. При падении температуры воздуха на 10 °С зимой основной обмен повышается на 2,5%. Установлено, что переход на новый уровень основного обмена при изменении температуры внешней среды происходит не сразу, а в течение 8–15 дней. Сезонные изменения основного обмена зависят не только от воздействия на организм человека температуры внешней среды, но и от сезонных колебаний деятельности желез внутренней секреции. Весной в средних широтах основной обмен незначительно повышается.

2.2.2. Специфическое динамическое действие пищи (теплопродукция, индуцированная диетой)

Специфически-динамическое действие пищи — это расход энергии, связанный с процессами пищеварения и превращения пищевых веществ в организме. Говоря другим языком, специфически-динамическое действие пищи — это энергия, которая тратится организмом на утилизацию поступающей в него пищи.

Еще в 1789 г. учеными было отмечено увеличение потребления воздуха и нарастание продукции тепла после приема пищи. Более детально влияние различных пищевых веществ на энергетический обмен изучил М. Рубнер (1902). Употребление белков, жиров и углеводов приводило к увеличению энергетического обмена в случае приема жиров на 4–14%, углеводов — на 4–17% (крахмала — на 10,2%), белков — на 30–40%. Повышение энергетического обмена при приеме различных пищевых веществ Рубнер назвал специфическим динамическим действием пищи.

Продолжительность и интенсивность повышения энергетического обмена при приеме пищи может значительно колебаться в зависимости от индивидуальных особенностей организма, а также от количества и качества принимаемой пищи. Наибольшее повышение обмена вызывают

белковые вещества, достигая максимума на 3–5-м часу, затем он постепенно снижается, приходя к исходному уровню через 8–12 ч. Потребление белков малыми порциями в течение длительного времени дает больший рост обмена, чем однократный прием всего количества сразу.

Углеводы также дают значительное, но менее продолжительное повышение энергетического обмена. Большое значение здесь имеет количество и качество принятых углеводов (глюкоза, фруктоза, сахароза, галактоза). Наибольший рост энерготрат приходится на первые 1–2 ч после приема, обмен возвращается к исходному уровню через 6 ч.

Специфически-динамическим действием пищи обладают чай и кофе, вызывающие небольшое (до 8%), но продолжительное увеличение обмена. Этим свойством не обладает суррогатный кофе. Обычная пища человека состоит из набора более или менее разнообразной смеси питательных веществ. Именно поэтому и влияние ее на энергетический обмен бывает в среднем выше и продолжительнее, чем при приеме отдельных питательных веществ. Однако нужно заметить, что значение специфически-динамического действия пищи в энергетическом балансе организма не столь велико — не более 10–15% калорийности принятой пищи.

Специфически-динамическое действие пищи сопровождается усилением теплопродукции, и оно может быть использовано для поддержания температуры тела при охлаждении.

Расход энергии на мышечную работу после приема белковой пищи превышает сумму энергии специфически-динамического действия пищи и энерготрат при работе натошак. Природа этого повышения не выяснена — неясно, есть ли повышение специфически-динамического действия пищи при неизменных затратах на мышечную работу или же увеличивается энергетическая стоимость самой работы. В опытах на собаке (Ю. Майер, 1930) специфически-динамическое действие мясной пищи после работы оказалось в 2 раза бóльшим и было повышено 4 дня. Это говорит о том, что мышечная работа может привести к глубоким изменениям обмена веществ в организме.

Повышение обмена при пищеварении можно объяснить активизацией перистальтики кишечника и усилением работы пищеварительных желез, носящим рефлекторный характер, что было доказано еще И.П. Павловым и И.В. Рязанцевым в 1892 г. Кроме того, на ранних же стадиях после приема пищи включаются гормональный и нервный механизмы мобилизации гликогена печени. Большую роль в увеличении энергетического обмена играет повышение концентрации окисляемых веществ, возникающих при промежуточном обмене и оказывающих на него стимулирующее действие.

2.2.3. Рабочая прибавка

Рабочая прибавка (рабочий обмен) — это энерготраты организма, связанные с любым видом деятельности человека (работа по профессии, домашний труд, активный отдых, спорт, самообслуживание и т.д.).

Мышечная работа существенно изменяет интенсивность обмена. Чем интенсивнее выполняемая работа, тем выше затраты энергии. При экстремальной физической нагрузке энерготраты могут на секунды превысить уровень основного обмена в 200 раз, но лишь тренированные атлеты могут удерживать уровень энерготрат в 50 раз больше основного обмена на протяжении нескольких минут. Как правило, у тренированных спортсменов при кратковременных интенсивных упражнениях величина рабочего обмена может в 20 раз превосходить основной обмен.

Степень энергетических затрат при различной физической активности определяется коэффициентом физической активности — отношением общих энергозатрат на все виды деятельности в сутки к величине основного обмена.

По этому принципу мужское население делят на пять групп (табл. 2.3).

Таблица 2.3. Суточный расход энергии мужской группы населения в зависимости от выполняемого труда

Группа	Особенности профессии	Коэффициент физической активности	Суточный расход энергии, кДж (ккал)*
I	Умственный труд	1,4	8820–10 290 (2100–2450)
II	Легкий физический труд	1,6	10 500–11 760 (2500–2800)
III	Физический труд средней тяжести	1,9	12 390–13 860 (2950–3300)
IV	Тяжелый физический труд	2,2	14 280–16 170 (3400–3850)
V	Особо тяжелый труд	2,5	15 750–17 640 (3750–4200)

* 1 ккал = 4,2 кДж.

У людей, выполняющих легкую работу сидя (с низкой физической активностью), энерготраты составляют 1800–2000 ккал (женщины) и 2100–2450 ккал (мужчины) в сутки. У работающих с большей мышечной нагрузкой (с высокой физической активностью) расход энергии

составляет 2850–3050 ккал (женщины) и 3400–3850 ккал (мужчины). Лица, выполняющие тяжелую мышечную работу (очень высокая физическая активность), расходуют в сутки 3750–4200 ккал и больше.

Перечень основных профессий, относящихся к различным группам интенсивности труда

Потребность в энергии и пищевых веществах зависит от физической активности, характеризуемой коэффициентом физической активности, равным отношению энерготрат на выполнение конкретной работы к величине основного обмена.

В зависимости от величины энерготрат все взрослое население делят на пять групп для мужчин и четыре группы для женщин с учетом производственной физической активности и иных энерготрат.

I группа (очень низкая физическая активность; мужчины и женщины) — работники преимущественно умственного труда, коэффициент физической активности — 1,4 [государственные служащие административных органов и учреждений, научные работники, преподаватели вузов, колледжей, учителя средних школ, студенты, специалисты-медики, психологи, диспетчеры, операторы, в том числе техники по обслуживанию электронно-вычислительных машин (ЭВМ) и компьютерного обеспечения, программисты, работники финансово-экономической, юридической и административно-хозяйственной служб, работники конструкторских бюро и отделов, рекламно-информационных служб, архитекторы и инженеры по промышленному и гражданскому строительству, налоговые служащие, работники музеев, архивов, библиотекари, специалисты службы страхования, дилеры, брокеры, агенты по продаже и закупкам, служащие по социальному и пенсионному обеспечению, патентоведы, дизайнеры, работники бюро путешествий, справочных служб и других родственных видов деятельности].

II группа (низкая физическая активность; мужчины и женщины) — работники, занятые легким трудом, коэффициент физической активности — 1,6 (водители городского транспорта, рабочие пищевой, текстильной, швейной, радиоэлектронной промышленности, операторы конвейеров, весовщицы, упаковщицы, машинисты железнодорожного транспорта, участковые врачи, хирурги, медсестры, продавцы, работники предприятий общественного питания, парикмахеры, работники жилищно-эксплуатационной службы, реставраторы художественных изделий, гиды, фотографы, техники и операторы радио- и телевидения, таможенные инспекторы, работники милиции и патрульной службы и других родственных видов деятельности).

III группа (средняя физическая активность; мужчины и женщины) — работники средней тяжести труда, коэффициент физической активности — 1,9 (слесари, наладчики, станочники, буровики, водители электрокаров, экскаваторов, бульдозеров и другой тяжелой техники, работники тепличных хозяйств, растениеводы, садовники, работники рыбного хозяйства и других родственных видов деятельности).

IV группа (высокая физическая активность; мужчины и женщины) — работники тяжелого физического труда, коэффициент физической активности — 2,2 (строительные рабочие, грузчики, рабочие по обслуживанию железнодорожных путей и ремонту автомобильных дорог, работники лесного, охотничьего и сельского хозяйства, деревообработчики, физкультурники, металлурги, доменщики-литейщики и работники других родственных видов деятельности).

V группа (очень высокая физическая активность; мужчины) — работники особо тяжелого физического труда, коэффициент физической активности — 2,5 (спортсмены высокой квалификации в тренировочный период, механизаторы и работники сельского хозяйства в посевной и уборочный периоды, шахтеры и проходчики, горнорабочие, вальщики леса, бетонщики, каменщики, грузчики немеханизированного труда, оленеводы и работники других родственных видов деятельности).

При умственном труде энерготраты работающих значительно ниже, чем при физическом. Даже очень интенсивный умственный труд, если он не сопровождается движениями, вызывает повышение затрат энергии лишь на 2–3% по сравнению с полным покоем. Однако если умственная активность сопровождается эмоциональным напряжением, энерготраты могут быть большими. Пережитое эмоциональное возбуждение может вызывать в течение нескольких последующих дней повышение энергетического обмена на 11–19%.

Во время сна интенсивность метаболизма почти на 10% ниже основного обмена. Речь идет о так называемой ортодоксальной фазе сна. Во время парадоксальной фазы сна энергетический обмен может значительно повышаться.

В последнее время четвертым компонентом, входящим в состав суммарных энергетических трат, являются энерготраты на терморегуляцию в организме. Отсюда и возникает требование к условиям при определении основного обмена: исследования необходимо проводить при температуре комфорта. Чем больше отклонение температуры окружающей среды от температуры комфорта (по разным оценкам, температура комфорта составляет 18–22 °С), тем больше энерготрат на терморегуляцию.

2.3. ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ РЕГУЛЯЦИИ ОБМЕНА ВЕЩЕСТВ В ОРГАНИЗМЕ

В процессе жизнедеятельности живой организм постоянно меняет интенсивность метаболических процессов, приспосабливаясь к меняющимся условиям окружающей среды. Сущность регуляции обмена веществ заключается в воздействии на скорость биохимических реакций, протекающих в клетках. Поскольку все реакции обмена веществ осуществляются ферментами, регуляция метаболизма сводится в конечном итоге к регуляции активности ферментов. Различают три уровня регуляции обмена веществ: саморегуляция на уровне клетки, нервная и гуморальная регуляция метаболизма.

В основе **саморегуляции** обмена веществ лежит принцип обратной связи. Это означает, что концентрация веществ в клетке регулирует направленность химического процесса. К примеру, фосфоорилаза печени катализирует как распад, так и синтез гликогена в печени в зависимости от концентрации глюкозы в притекающей крови. При избыточном поступлении глюкозы действие фермента направлено на синтез гликогена, а при недостатке глюкозы фосфоорилаза активирует распад гликогена.

В каждой клетке имеются специализированные ультраструктурные элементы, взаимодействие которых обеспечивает внутриклеточный метаболизм. Так, в митохондриях в процессе сопряженного фосфорилирования образуется АТФ и происходит окисление пировиноградной кислоты и жирных кислот в цикле Кребса. В лизосомах содержатся гидролитические ферменты, а в рибосомах и эндоплазматической сети происходит синтез белка. Ход любой реакции обмена веществ определяется активностью или количеством фермента и наличием субстрата, на который он действует, а также проницаемостью внутриклеточных мембран. Во время усиленной мышечной нагрузки происходит интенсивное дефосфорилирование АТФ и накопление в мышечной ткани неорганических фосфатов и АДФ. Повышение концентрации этих веществ автоматически усиливает окислительное фосфорилирование и ресинтез АТФ.

На уровне клеточного метаболизма регуляция происходит по принципу обратной связи, которая проявляется в снижении или усилении активности и синтеза ферментов.

Важное направление регуляции обменных процессов — **гормональный путь** регуляции. Выделяют три основных механизма действия гормонов

на метаболизм: влияние на активность ферментов, на синтез ферментов, на проницаемость биологических мембран.

Влияние гормона на активность ферментов обусловлено их воздействием на структуру молекулы фермента, переводом фермента из неактивной в активную форму. При этом гормоны активизируют одни ферменты и тормозят действия других. Влияние гормонов на синтез ферментов осуществляется путем воздействия на генетический аппарат клетки, приводящего к увеличению синтеза информационной и транспортной РНК (стероиды, гормон роста). В результате такого воздействия гормонов происходит синтез новых ферментов.

Многие гормоны обладают способностью активно воздействовать на проницаемость клеточных мембран и мембран клеточных органелл, в которых проходят отдельные фазы метаболизма. Гормон роста усиливает проницаемость клеточных мембран для аминокислот, инсулин — для глюкозы, тироксин влияет на мембраны митохондрий, кортикостероиды — на мембраны лизосом.

Влияние **нервной системы** на процессы обмена веществ называют трофическим. Учение о трофической функции нервной системы было развито И.П. Павловым и его учениками, в частности Л.А. Орбели. Основой этого учения было открытие трофических нервов миокарда, усиливающих и ослабляющих сокращение сердечной мышцы и влияющих на обмен веществ миокарда. В дальнейшем И.П. Павлов пришел к убеждению, что и другие органы и ткани снабжены трофическими нервами, влияющими на скорость химических реакций, протекающих на уровне клетки. Влияние нервной системы на метаболизм связывают в основном с деятельностью симпатического отдела автономной (вегетативной) нервной системы, с его адаптационно-трофической функцией (Л.А. Орбели). Примером адаптационно-трофического влияния симпатического отдела служит феномен Орбели–Гинецинского, который заключается в повышении работоспособности и возбудимости утомленной мышцы под влиянием раздражения симпатических волокон. При денервации органов нарушается метаболизм этих структур.

Наряду с этим центральная нервная система может оказывать влияние на обмен веществ, воздействуя на эндокринные железы. В этом отношении большая роль принадлежит гипоталамической области мозга. Согласно современным представлениям (А.Д. Ноздрачев), в гипоталамической области находятся высшие интегративные центры автономной (вегетативной) нервной системы, а также центры терморегуляции. Сигналы из гипоталамуса по симпатическим нервам могут доходить

к отдельным эндокринным железам, а также через либерины и статины, синтезирующиеся в гипоталамической области, влиять на выделение тропных гормонов в гипофизе, которые регулируют секрецию гормонов гипофиззависимыми эндокринными железами. Через гипоталамическую область лимбическая система мозга может реализовывать влияния коры больших полушарий на обмен веществ и энергии.

Четкое и целенаправленное регулирующее влияние нейрогуморальных механизмов основано на постоянной информации о состоянии метаболизма в тканях организма. По существу это и есть механизм обратной связи, который осуществляется путем воздействия продуктов обмена веществ на нервные окончания (интерорецепторы) и гуморальным путем — благодаря прямому влиянию продуктов обмена на нервные центры или эндокринные железы. Несколько уровней регуляции обмена веществ обеспечивают надежность биологической системы, придают ей высокую степень устойчивости, способствуют оптимальному приспособлению организма к изменяющимся условиям окружающей среды.