

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ИВАНОВСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ МЕДИЦИНСКАЯ АКАДЕМИЯ»
МИНИСТЕРСТВА ЗДРАВООХРАНЕНИЯ И СОЦИАЛЬНОГО РАЗВИТИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Кафедра нормальной физиологии

НОРМАЛЬНАЯ ФИЗИОЛОГИЯ В ВОПРОСАХ И ОТВЕТАХ

ОБМЕН ВЕЩЕСТВ И ЭНЕРГИИ

Учебно-методические разработки
для иностранных студентов

Иваново 2008

Составители: А.Н.Булыгин
И.Г.Колодина
С.Б.Назаров

Научный редактор – зав. кафедрой нормальной физиологии ГОУ ВПО ИвГМА Минздравсоцразвития России, доктор медицинских наук, профессор **С.Б.Назаров**

Настоящие методические разработки, как и предыдущие выпуски учебно-методических разработок (2001-2007 гг.), созданы специально для иностранных студентов, изучающих курс нормальной физиологии. Они составлены в строгом соответствии с типовой учебной программой по курсу нормальной физиологии для студентов высших медицинских учебных заведений (Москва, 2006). Настоящий выпуск продолжает блок информации, начатый нами с выпуска «Физиология выделения» и рассматривающий в целом обмен веществ в организме.

В этом выпуске мы рассматриваем собственно обмен веществ (метаболизм) с точки зрения физиологии и связанный с ним обмен энергии. Мы рекомендуем данные методические разработки как дополнительный материал к учебнику по нормальной физиологии, который поможет при подготовке к занятию по разделу «Физиология обмена веществ и энергии». Обращаем внимание читателя, что вопросы этого раздела тесно связаны с вопросами, рассматривающимися в курсе биологической химии (обмен белков, углеводов и др.). Поэтому при подготовке к занятию следует вспомнить соответствующие вопросы из курса биохимии.

Как и в предыдущих выпусках, мы рассчитывает не только на иностранных, но и на отечественных студентов, которым, судя по предыдущему опыту, импонирует подобная форма изложения учебного материала.

Как всегда авторы будут благодарны за конструктивную критику, которую мы, безусловно, будем иметь в виду при последующих выпусках подобных учебно-методических разработок.

Обмен веществ и энергии

Из раздела «Общая физиология» Вы помните, что наиболее общей характеристикой живой материи является наличие обмена веществ и энергии, а наиболее общим свойством ее является раздражимость, то есть способность изменять интенсивность этого обмена при всевозможных воздействиях на организм. Под обменом веществ понимают обмен различными химическими веществами между организмом и внешней средой, в процессе которого происходит изменение структуры этих веществ, использование их на построение и обновление различных элементов клетки, синтез различных биологически активных веществ. При этом следует иметь в виду, что в химических связях таких веществ, как белки, жиры и углеводы содержится потенциальная энергия, которая при их окислении в переходит в энергию АТФ. Сама же АТФ является универсальным энергетическим источником клетки, необходимым для реализации всех видов деятельности живой клетки. Поэтому обмен веществ в реальной жизни неотделим от обмена энергии и рассматривается всегда вместе.

В настоящих методических разработках мы поставили перед собой задачу раскрыть эту тесную взаимосвязь обмена веществ и обмена энергии, показать их связь с работой различных физиологических систем (прежде всего, нервной и эндокринной). Сам по себе обмен веществ достаточно глубоко рассматривается в курсе биологической химии, и мы лишь по необходимости будем касаться этих вопросов.

Обмен веществ и энергии представляет собой достаточно сложный процесс, который протекает в несколько этапов.

1. Какие этапы можно выделить в обмене веществ и энергии?

В обмене веществ и энергии выделяют три этапа:

1 этап – поступление питательных веществ в желудочно-кишечный тракт, их гидролиз до мономеров, которые затем всасываются во внутреннюю среду организма;

2 этап – промежуточный (межуточный) обмен или метаболизм (см. вопросы № 2, 3);

3 этап – выделение конечных продуктов обмена веществ из организма во внешнюю среду;

Задачи первого этапа реализуются пищеварительной системой. На этом этапе освобождается не более 1% энергии, сосредоточенной в химических связях различных органических веществ; поэтому часто говорят, что на первом этапе энергия не освобождается (!); вместе с тем на процессы секреции, моторики, всасывания затрачивается определенное количество энергии;

На втором этапе происходит освобождение значительного количества энергии, которая, в частности, затрачивается на синтез сложных биоорганических соединений;

Третий этап реализуется выделительной системой (см. «Физиология выделения», учебно-методические разработки для иностранных студентов, Иваново, 2007). На этом этапе вместе с продуктами обмена веществ в окружающую среду выде-

ляется тепловая энергия, являющаяся конечным видом превращения различных видов энергии в целостном организме (2-й закон термодинамики – см. вопрос №9); следует иметь в виду, что на процессы выделения также затрачивается определенная энергия.

2. Что понимают под метаболизмом?

Метаболизм – это внутриклеточный обмен веществ. Именно на этом этапе реализуется его тесная взаимосвязь с обменом энергии. Метаболизм состоит из **анаболизма** и **катаболизма** – двух разнонаправленных процессов, одновременно существующих в клетке.

Анаболизм – это процесс синтеза сложных соединений из простых мономеров, попавших в клетку из крови. Эти соединения идут как на строительство внутриклеточных структур (например, поверхностная мембрана и мембраны различных внутриклеточных структур), так и на «экспорт» (например, синтез белков, участвующих в свертывании крови, в иммунных реакциях организма и др.). Таким образом, анаболические процессы обеспечивают в организме пластический обмен. На его реализацию необходимы затраты энергии, которая поставляется за счет катаболических процессов.

Катаболизм – это процесс расщепления (окисления) сложных соединений на простейшие конечные продукты метаболизма: воду и углекислый газ. В результате этого расщепления освобождается энергия. Эта энергия освобождается или прямо, или через предварительное образование АТФ. АТФ используется в работе клетки и в процессе реализации этой работы происходит выделение тепловой энергии. Следовательно, катаболические процессы обеспечивают в организме энергетический обмен.

*Анаболические и катаболические процессы в организме тесно и неразрывно связаны друг с другом и объединяют пластический и энергетический обмен в целостное понятие **метаболизм**.*

3. Каково соотношение анаболических и катаболических процессов в различные периоды жизни человека?

В зрелом возрасте в период от 20 до 45 лет анаболические и катаболические процессы идут с одинаковой интенсивностью. В детском возрасте в связи с ростом, с увеличением массы органов и тканей, массы тела, анаболические процессы преобладают над катаболическими. После 45 лет *постепенно* интенсивность катаболических процессов начинает преобладать, что особенно заметно становится после 60 лет.

При различных заболеваниях, связанных с разрушением клеточных элементов, преобладают катаболические процессы, в то время как при выздоровлении во время активации восстановительных процессов преобладают анаболические процессы. Преобладание анаболических процессов имеет место во время беременности, так как идет построение структур развивающегося зародыша, а потом и плода. У спортсменов в течение периода систематических дозированных тренировок также преобладают анаболические процессы.

Не затрагивая глубоко вопросы биохимии обмена питательных веществ, рассмотрим лишь некоторые особенности обмена белков, жиров и углеводов, поступающих в наш организм в составе пищи животного и растительного происхождения

4. Каковы особенности обмена белков?

В желудочно-кишечном тракте белки подвергаются гидролизу протеолитическими ферментами до аминокислот, которые всасываются в кровь и поступают непосредственно в клетки различных тканей.

Первой особенностью белкового обмена является то, что они не откладываются в депо и используются в основном как строительный материал для построения различных клеточных структур. Кроме того, они идут на синтез различных биологически активных веществ.

Второй особенностью обмена белков является то, что синтезируемые в клетках белки обладают высокой видовой и индивидуальной специфичностью.

Как энергетический материал белки используются в последнюю очередь после жиров и углеводов. Калорический коэффициент белков составляет 17,17 кДж (4,1 ккал).

Калорический коэффициент – это количество тепловой энергии, которое освобождается при окислении 1 г вещества

О характере белкового обмена судят по балансу азота, так как азот поступает в организм только в составе белков (1 г азота содержится в 6,25 г белка), а выводятся белки из организма в виде азотсодержащих соединений. В норме у здорового взрослого человека (в связи с тем, что белок не депонируется) отмечается **азотистое равновесие**: то есть из организма за сутки выводится такое же количество белка, как и поступает в организм. У здоровых детей отмечается **положительный азотистый баланс**, то есть количество белка, поступающего в организм, больше, чем выводящегося из организма. А у пожилых людей отмечается **отрицательный азотистый баланс**: при том же количестве поступающего в организм белка (как и у взрослого человека), из организма его выводится больше.

5. Каковы особенности обмена жиров?

В желудочно-кишечном тракте жиры подвергаются гидролизу липолитическими ферментами до глицерина и жирных кислот, которые всасываются в лимфу, а затем попадают в кровь. В обмене жиров имеются свои особенности.

В отличие от белков, часть жиров, поступающих в организм, откладывается в депо (подкожная и околоорганная клетчатка), а другая часть поступает непосредственно в клетки и используется как пластический и энергетический материал. Калорический коэффициент жиров составляет 38,94 кДж (9,3 ккал).

Синтезируемые в клетках организма человека жиры также обладают специфичностью, но менее выраженной, чем у белков

6. Каковы особенности обмена углеводов?

В желудочно-кишечном тракте углеводы подвергаются гидролизу гликолитическими ферментами до моносахаридов, которые всасываются в кровь.

Часть углеводов откладываются в депо (гликоген печени), а другая часть поступает непосредственно в клетки, где используется как строительный материал для пластического обмена и как энергетический материал, который расходуется в первую очередь (наряду с жирами!). Калорический коэффициент углеводов составляет 17,17 кДж (4,1 ккал).

Синтезируемые клеточные полисахариды также обладают достаточно выраженной видовой и индивидуальной специфичностью. Достаточно напомнить, что специфичность агглютиногенов определяется их углеводной составляющей.

7. Каким образом осуществляется регуляция обмена веществ?

В основе обмена веществ лежат различные биохимические реакции. Регуляция этих реакций, а значит, и регуляция обмена веществ осуществляется на разных уровнях, и, по крайней мере, за счет следующих механизмов:

- **автоматическая регуляция**; это биохимическая регуляция, осуществляющаяся по принципу фермент-субстратного реагирования **на местном уровне**;
- **гуморальная регуляция**; это регуляция за счет гормонов на системном уровне, а также за счет биологически активных веществ, способных оказать воздействие на клетки **паракринно** (то есть, эндокринная клетка выделяет гормональные вещества, которые оказывают влияние на рядом расположенные клетки-мишени, используя для этого межклеточное пространство, а не сосудистую систему);

*В зависимости от влияния на метаболизм все гормоны делятся на **анаболические** (усиливают анаболические процессы – например, половые гормоны и соматотропный гормоны) и **катаболические** (усиливают катаболические процессы – например, адреналин и глюкокортикоиды)*

- **нервная регуляция**; это регуляция обмена веществ опосредованно через контролирование работы желез внутренней секреции (например, гипоталамо-гипофизарная система), а также неспецифическое трофическое влияние нервной системы на контролируемые ею ткани.

На основании выше сказанного можно сделать вывод, что **причиной изменения обмена веществ, прежде всего, может быть нарушение его регуляции.**

8. Каким образом можно составить представление об интенсивности обмена веществ?

Составить непосредственное представление об интенсивности обмена веществ достаточно сложно. Для этого надо проводить химический анализ пищи, ежедневно попадающей в организм человека, проводить полный химический анализ веществ, выделяемых организмом с потом, мочой, калом и др. Такой **валовый анализ** обмена веществ под силу лишь мощным лабораториям и проводится исключительно в научных целях.

На практике характер обмена веществ оценивают косвенно по целому ряду признаков, среди которых можно назвать следующие:

- содержание белков, аминокислот, липидов, глюкозы в сыворотке крови;
- содержание аминокислот, глюкозы в моче;
- содержание гормонов, имеющих отношение к регуляции обмена веществ, в сыворотке крови;

- активность всевозможных ферментов, участвующих в химических превращениях белков, липидов и углеводов;
- измерение внутренней температуры тела и др.

Измерение внутренней температуры тела собственно относится уже к оценке энергетического обмена. ***То есть по интенсивности энергообмена мы можем составить представление об интенсивности обмена веществ!*** Однако для того, чтобы судить непосредственно об энергообмене, существуют более точные и общепринятые методы. К ним относятся ***прямая и непрямая калориметрии.***

9. В чем заключается сущность метода прямой калориметрии?

Теоретическим обоснованием метода прямой калориметрии являются 1-й и 2-й законы термодинамики.

1-й закон термодинамики (закон сохранения энергии) говорит о том, что энергия не исчезает и не возникает из ничего, она лишь превращается из одного вида в другой

2-й закон термодинамики о том, что все самопроизвольные превращения энергии идут по градиенту, то есть все более сложные виды энергии, в конечном счете, превращаются в тепловую энергию

На базе этих законов и разработан ***метод прямой калориметрии.*** Он заключается в том, что испытуемого помещают в специальную термоизолированную комнату (биокалориметр), в стенках которой вмонтирована сеть тонких трубочек (из теплоемкого материала), по которым протекает вода (рис. 1). Человек, находясь в биокалориметре, выделяет тепловую энергию, за счет которой нагревается вода, протекающая по трубочкам, вмонтированным в стенки этой камеры. О количестве выделенного человеком тепла судят по степени нагрева воды.

Этот метод очень точный, но весьма трудоемкий и поэтому имеет лишь теоретическое значение.

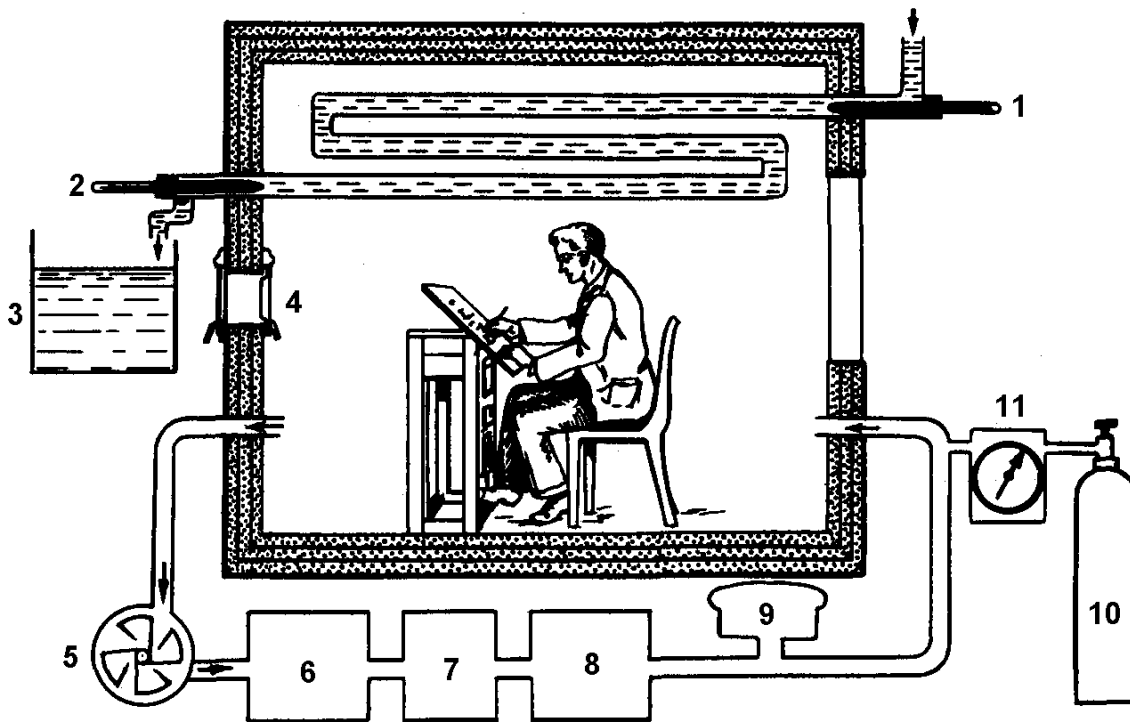


Рис. 1. Испытуемый в биокалориметре при определении энергообмена

1, 2 – термометры для измерения температуры воды, протекающей по трубкам в камере; 3 – бак с водой; 4 – окно для подачи пищи и удаления экскрементов; 5 – насос для извлечения воздуха из камеры; баки с серной кислотой (6 и 8) для поглощения воды и с натронной известью (7) для поглощения CO_2 из воздуха; 10 – баллон с O_2 , который подают в камеру через газовые часы (11)

10. В чем заключается сущность метода непрямой калориметрии?

Теоретическим обоснованием *метода непрямой калориметрии* является тот факт, что в клетках организма белки, жиры и углеводы подвергаются окислению, в результате чего освобождается энергия, а в качестве конечных продуктов образуются углекислый газ и вода. Следует отметить, что *существуют четкие количественные соотношения между кислородом, затраченным на окисление, диоксидом углерода, образовавшимся в результате этого, и количеством освободившейся энергии:*



Соотношение между объемом выделившейся углекислоты и объемом потребленного кислорода называется *дыхательным коэффициентом (ДК)*:

$$\text{ДК} = \frac{V(\text{CO}_2)}{V(\text{O}_2)}$$

Важно отметить, что ДК зависит от окисляемого субстрата. Так, для углеводов он составляет – **1**, для белков – **0,85**, а для жиров – **0,7**. При расчетах энергообмена часто используют *средний ДК (0,85)*, составляющий среднюю величину между ДК для углеводов и жиров, являющихся основными источниками энергии клетки.

Сущность метода непрямой калориметрии заключается в следующем: у испытуемого (за определенное время) определяют количество потребленного им кислорода и выделившегося углекислого газа. Затем, по соотношению объемов углекис-

лого газа и кислорода (то есть по дыхательному коэффициенту), косвенно оценивают энергетический обмен!

Существуют две методики непрямой калориметрии:

- с полным газовым анализом;
- с неполным газовым анализом.

11. В чем заключается методика непрямой калориметрии с полным газовым анализом?

Суть методики *непрямой калориметрии с полным газовым анализом* заключается в том, что у испытуемого определяют и количество потребленного им кислорода и количество выделенного за это же углекислого газа. Обычно эту методику используют при определении *рабочего обмена* (см. вопрос 16). Для этого используют мешок Дугласа, который крепится на спине испытуемого, как рюкзак, и не мешает ему совершать работу. В этот мешок собирается воздух, выдыхаемый испытуемым во время работы (рис.2).

По окончании работы этот воздух анализируют с помощью газоанализаторов, и, зная состав атмосферного воздуха, рассчитывают количество потребленного кислорода и выделившегося углекислого газа. Далее последовательно совершают следующие действия:

- рассчитывают дыхательный коэффициент (см. вопрос 10);
- используя специальные таблицы (см. «Физиология человека» под ред. Г.И. Косицкого, 1985, стр. 387), находят КЭК – калорический эквивалент кислорода, соответствующий данному дыхательному коэффициенту;

Калорический эквивалент кислорода (КЭК) – это количество энергии, которое освобождается при окислении субстрата одним литром кислорода

- находят энергообмен (ЭО), умножая калорический коэффициент (КЭК) на объем потребленного кислорода ($V O_2$);

$$\text{ЭО} = \text{КЭК} \times V O_2$$



Рис. 2. Испытуемый с мешком Дугласа при определении рабочего обмена

12. В чем заключается методика непрямой калориметрии с неполным газовым анализом?

Суть методики непрямой калориметрии с неполным газовым анализом заключается в том, что у обследуемого определяется только объем потребленного кислорода и расчет энергообмена осуществляется *без учета объема освободившейся углекислоты*. Так как при этом нет возможности получить представление об истинном дыхательном коэффициенте, то в дальнейших расчетах используют средний дыхательный коэффициент. Подобным образом определяют *основной обмен* (см. вопрос 14). При этом объем поглощенного испытуемым кислорода определяют *методом спирографии* (с использованием спирографа закрытого типа). Суть этого метода заключается в том, что испытуемый в течение 2-3 минут дышит чистым кислородом и по мере его потребления спирограмма равномерно сдвигается вверх (рис. 3), так как пишущее устройство присоединено к цилиндру с кислородом через блок.

Расчет потребленного кислорода производят по спирограмме следующим образом:

1) находят фрагмент спирограммы, соответствующий записи в течение 1 минуты (для этого следует знать скорость движения лентопротяжного механизма);

2) в соответствии со спирограммой строят прямоугольный треугольник, гипотенузу которого проводят через нижние (можно через верхние или срединные) точки спирограммы, один катет (а) строится строго параллельно оси времени (его длина составляет продолжительность одной минуты), а другой (б) – перпендикулярно к нему;

3) измеряют длину катета (б), выраженную в миллиметрах, и умножают ее на переводной коэффициент, который для отечественных спирографов составляет величину **20** или **40** (в зависимости от конструкции прибора 1 мм высоты катета соответствует 20 или 40 мл поглощенного кислорода) и получают количество кислорода (в миллилитрах!), поглощенное испытуемым за 1 минуту.

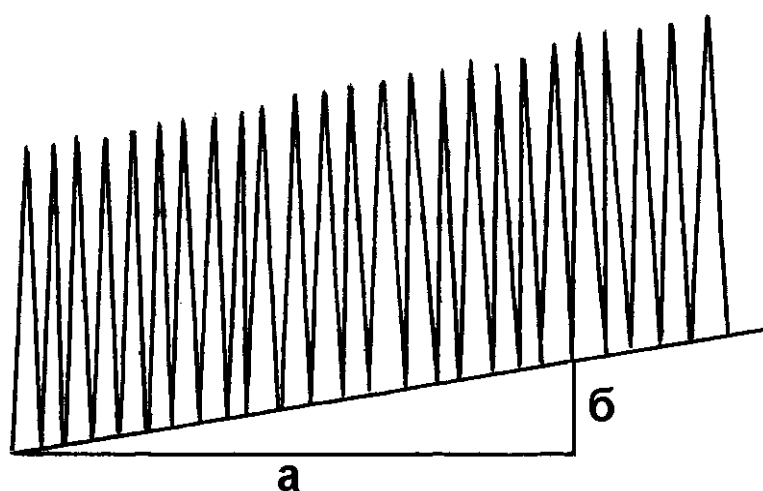


Рис. 3. Вид спирограммы, записанной для определения количества потребленного кислорода (пояснение в тексте)

13. Какие показатели энергообмена можно определить методами прямой и непрямой калориметрии?

Методом калориметрии (прямой и непрямой) определяют два показателя энергообмена:

- **основной обмен;**
- **рабочий обмен.**

Основной обмен – это минимальные энергозатраты организма, необходимые для поддержания жизнедеятельности. Они идут на активные физиологические процессы, связанные с работой ионных насосов, с созданием тонуса скелетных и гладких мышц, с работой сердца, дыхательных мышц и др. То есть, это затраты, без которых организм не может сохранять жизнеспособность. **По этим энергозатратам судят об интенсивности метаболических процессов, протекающих в организме!**

Рабочий обмен (общий энергообмен) – это реальные энергозатраты организма, необходимые человеку для реализации его повседневной деятельности (физической и умственной работы) как на производстве, так и в быту. **Эти энергозатраты необходимо знать для того, чтобы в соответствии с ними составлять суточный рацион питания** (см. вопрос 16).

14. Как проводится определение основного обмена? Каково его клиническое значение?

Определение основного обмена проводится при соблюдении специальных *стандартных условий*, в которых мы *реально* получаем минимальные энергозатраты (этот основной обмен называется **фактическим**). Это необходимо для того, чтобы получались сопоставимые результаты, которые можно было бы сравнивать у разных людей или у одного и того же человека в различные периоды его жизни (или болезни). **Стандартные условия** подразумевают, что исследование проводится:

- **в ранние утренние часы**, когда интенсивность метаболизма минимальная; согласно суточным биоритмам самый низкий уровень метаболизма отмечается в 5-6 утра, а самый высокий в 17-16 часов; *на практике ранние утренние часы – это время с 8 до 9 утра;*
- **в состоянии натощак**, чтобы исключить **специфическое динамическое действие пищи** (то есть дополнительные затраты энергии, идущие на секрецию и моторику желудочно-кишечного тракта, всасывание, анаболические процессы в клетках и др.). Наиболее выражено специфическое динамическое действие у белковой пищи (при ее приеме обмен веществ повышается на 30%) в связи с чем испытуемому за 2-3 суток не рекомендуют принимать пищу, богатую белками;
- **в состоянии полного физического покоя**; испытуемый должен лежать на спине в удобном положении, чтобы избежать дополнительного увеличения мышечного тонуса; например, достаточно испытуемому сесть и обмен веществ повышается на 15%, а в положении стоя он будет повышен на 30%;
- **в состоянии психоэмоционального покоя**, чтобы не вызывать напряжения симпатoadреналовой системы, активность которой усиливает катаболические процессы, а значит, увеличивает энергозатраты;
- **при температуре комфорта** в помещении, где проводится исследование (для обнаженного человека это 28⁰С, а для одетого 20-22⁰С); несоблюдение этого условия приводит к тому, что обмен веществ повышается, так как усиливаются

или процессы теплопродукции (при более низкой температуре) или процессы теплоотдачи (при более высокой температуре).

В этих условиях для определения основного обмена обычно используют метод непрямой калориметрии с неполным газовым анализом (см. вопрос 12). При этом следует осуществить следующий **алгоритм последовательных действий и сопутствующих им размышлений**:

1) в стандартных условиях провести у обследуемого спирографию и по спирограмме **определить количество потребленного им кислорода за 1 минуту**;

2) так как основной обмен чаще выражается в суточных затратах энергии, то следует **произвести перерасчет с целью определения количества потребленного испытуемым кислорода за сутки**;

3) **рассчитать фактический основной обмен**, умножив объем кислорода, потребленного испытуемым за сутки, на КЭК (см. вопрос 11);

4) **определить** по специальным таблицам **должный основной обмен** (см. «Практикум по нормальной физиологии» под ред. Н.А. Агаджаняна и А.В. Коробкова, 1983, стр. 279-280). Величина должного основного обмена должна быть одинакова у всех людей, имеющих одинаковые: пол, возраст, рост и массу (для этого необходимо знать пол, возраст, рост и массу тела испытуемого);

5) **сравнить величины фактического и должного основного обмена**: различие между ними не должно превышать 10%. Если различия больше, то делают вывод о повышении или понижении основного обмена;

6) **если основной обмен изменен** (повышен или понижен), то делают вывод о том, что **изменена интенсивность метаболических процессов** (повышена или понижена) в организме испытуемого;

7) на основании изменения интенсивности метаболизма **делают предположения о возможных нарушениях его регуляции**. Эти нарушения могут быть связаны с изменением активности желез внутренней секреции, вырабатывающих анаболические или катаболические гормоны (см. раздел «Железы внутренней секреции»). Другой возможной причиной может быть патология ЦНС и, прежде всего, гипоталамуса, являющегося высшим центром интеграции нервной и эндокринной регуляции физиологических процессов.

15. Что может повлиять на величину основного обмена?

Основной обмен достаточно стабилен в период от 20 до 40 лет и составляет 1 ккал (4,2 кДж) на 1 кг массы тела в 1 час, что для мужчины массой 70 кг составляет в сутки около 1700 ккал (7100 кДж). У женщин, в связи с более низким уровнем метаболизма и относительно меньшей средней массой тела, основной обмен составляет около 1500 ккал (6300 кДж) в сутки.

В современной учебной и научной литературе энергетический обмен выражают в джоулях (Дж):

1Дж = 1Вт в 1 сек или 0,239 кал;

1ккал = 4,19 кДж, в расчетах 1ккал часто принимают за 4,2 кДж

Основной обмен изменяется в следующих случаях:

- **в связи с изменением возраста**. У детей метаболические процессы протекают интенсивнее и величина основного обмена 6-месячного ребенка, рассчитан-

ная на 1 кг массы тела, в два раза выше, чем у взрослого. Так, у взрослого человека в возрасте 20-40 лет величина основного обмена составляет около 23-24 ккал/кг массы тела в сутки. Тогда как у ребенка первого года жизни эта величина составляет 46-48 ккал/кг в сутки или 2 ккал (8,4 кДж) на 1 кг массы тела в 1 час. После 40-45 лет основной обмен постепенно снижается. Особенно выраженным этот процесс становится после 60-ти лет, когда каждое 10-летие приводит к снижению основного обмена приблизительно на 10%;

- **у беременных женщин** по мере увеличения срока беременности возрастает основной обмен в связи с ростом плода и достаточно высоким уровнем метаболизма в его тканях;

- **в связи с изменением климатических условий.** Например, если человек из средней полосы переезжает на постоянное место жительства в страну с жарким тропическим климатом, то у него постепенно *по мере адаптации* к новым условиям жизни интенсивность метаболизма снижается, а значит, снижается и величина основного обмена. Наоборот, если человек из страны с теплым климатом переезжает жить в страну, расположенную в средних или высоких широтах, то у него основной обмен повышается.

16. Как проводится определение рабочего обмена? Каково его практическое значение?

Определение рабочего обмена чаще проводится методом непрямой калориметрии с полным газовым анализом (см. вопрос 11). При этом следует осуществить следующий **алгоритм последовательных действий и сопутствующих им размышлений:**

- 1) в реальных условиях совершения умственной или физической работы **строго за определенное время следует определить объем потребленного кислорода и выделившегося углекислого газа;**

- 2) на основании полученных данных рассчитывают дыхательный коэффициент;

- 3) по специальным таблицам **находят калорический эквивалент кислорода, соответствующий рассчитанному дыхательному коэффициенту** (см. вопрос 11);

- 4) **рассчитывают энергообмен испытуемого за тот период времени, на протяжении которого он совершал работу.** Для этого количество потребленного кислорода (за этот промежуток времени) умножают на калорический эквивалент кислорода;

- 5) **рассчитывают рабочий обмен – то есть общие энергозатраты человека в течение реально прожитых им суток.** Он складывается из энергообмена в различные промежутки времени, в течение которых он совершает разную по интенсивности работу, отдыхает, принимает пищу, занимается домашними делами, спит и др. Поэтому для расчета рабочего обмена требуется вычислить энергозатраты человека на каждом отдельном временном промежутке его жизни (в течение суток). Сложив энергозатраты человека, осуществляемые на разных временных интервалах, получают реальный рабочий энергообмен человека или общий энергетический обмен человека;

б) определение реального (суточного) рабочего обмена у человека необходимо для определения калорийности суточного рациона питания (см. вопрос 20).

В реальной жизни рассчитывать для каждого человека рабочий энергообмен подобным способом представляется достаточно сложной процедурой. Поэтому люди разных профессий на основании многочисленных выборочных исследований **примерно** делятся на отдельные категории, отличающиеся по своим суточным энергозатратам. В разных странах выделяют разное количество таких категорий. В России выделяют для мужчин 5, а для женщин 4 категории различных видов трудовой деятельности в зависимости от степени тяжести труда и энергозатрат человека. Эти категории подробно описаны в любом учебнике по нормальной физиологии или по гигиене питания. Описаны они и в учебно-методическом пособии «Физиологические основы рационального питания» (Горожанин Л.С., Булыгин А.Н. Назаров С.Б. и др. Иваново, 2007).

Как уже было сказано выше (см. вопрос № 16) в соответствии с общими суточными энергозатратами (рабочим обменом) составляется суточный рацион питания, который должен быть рациональным. В последующих вопросах и ответах мы должны обсудить вопросы, касающиеся питания, его видов, основных правил составления суточного рациона питания

17. Что называется питанием?

Питание – это сложный физиологический процесс, включающий поступление, переваривание, всасывание и усвоение организмом **пищевых (питательных) веществ**.

Питательными веществами называются те органические и неорганические вещества пищи, которые усваиваются организмом в процессе обмена веществ. К ним относятся белки, жиры, углеводы, их производные, витамины, минеральные вещества и вода. *Все они необходимы для восполнения энергетических затрат организма, построения новых клеточных структур, синтеза биологически активных веществ, а, значит, для выполнения и регуляции самых различных физиологических функций.*

Питание может быть **рациональным**, то есть удовлетворяющим определенным требованиям с точки зрения современной науки (см. вопрос 18) и **нерациональным** (любое питание, не удовлетворяющее требованиям рационального питания).

18. Какое питание называется рациональным?

Рациональным считается питание, полностью удовлетворяющее различным потребностям (энергетическим, пластическим и другим) организма. При рациональном питании обязательно должны соблюдаться два непереносимых условия:

- питание должно быть **сбалансированным**, то есть между питательными веществами должно соблюдаться обоснованное соотношение (пропорции);
- питание должно осуществляться по определенному **режиму**, то есть в определенное время, между приемами пищи должны соблюдаться определенные временные интервалы, сам прием пищи должен занимать соответствующее время.

19. Какое питание называется сбалансированным?

Питание называется сбалансированным, если пища содержит оптимальное соотношение различных компонентов, способных максимально эффективно проявить в организме свое биологически полезное действие. Этими компонентами являются не только питательные вещества, но и их составляющие – аминокислоты, жирные кислоты, моносахариды и др. Особое место среди этих веществ принадлежит так называемым незаменимым (эссенциальным) составляющим пищи, которые не синтезируются в организме человека или синтезируются в недостаточном количестве. Таковыми являются незаменимые аминокислоты, полиненасыщенные жирные кислоты (ПНЖК), витамины, минеральные вещества и вода.

Принципы сбалансированности питания в наибольшей степени разработаны по отношению к белкам, жирам и углеводам и обязательно учитываются при составлении рациона питания. Подробнее об этом читайте в учебно-методическом пособии «Физиология рационального питания» (Горожанин Л.С., Булыгин А.Н., Назаров С.Б. и др. Иваново, 2007).

20. Каков алгоритм составления суточного рациона питания?

Алгоритм составления суточного рациона питания включает следующие основные положения:

- 1) определение общей суточной калорийности пищевого рациона;
- 2) распределение общей суточной калорийности на несколько отдельных приемов пищи (например: завтрак, обед, ужин);
- 3) определение количества белков, жиров и углеводов в пищевом рационе с учетом соотношения (сбалансированности) между ними;
- 4) определение соотношения (сбалансированности) компонентов пищи животного и растительного происхождения (белков, жиров и углеводов);
- 5) учет правила изодинамии;
- 6) определение количества (и соотношения) различных минеральных веществ;
- 7) определение количества витаминов в составе пищевого рациона;
- 8) определение количества воды (жидкости) в пищевом рационе.

21. Каким образом производится расчет общей суточной калорийности?

Калорийность суточного рациона питания должна соответствовать рабочему обмену человека (реальному суточному расходу энергии) (см. вопрос 16). Однако при составлении рациона питания следует иметь в виду, что существует **калорийность брутто** и **калорийность нетто**.

Калорийность брутто – это калорийность пищевого продукта. Ее часто указывают непосредственно на упаковке. Вместе с тем, следует помнить, что в организме усваивается лишь около 90% принятой пищи (лучше усваивается пища животного происхождения). Поэтому калорийность *усвоенной пищи* называют **калорийностью нетто**. Именно она должна соответствовать суточным энергозатратам человека.

22. Каким образом распределяется общая калорийность пищевого рациона на протяжении суток?

Пища, включающая в себя общую суточную калорийность рациона, не может быть съедена одномоментно! Это привело бы к перегрузке желудочно-кишечного тракта, снижению эффективности пищеварения, к нарушению работы других физиологических систем. В связи с этим **необходимо, чтобы пища поступала в организм порционно!** Общая суточная калорийность распределяется в зависимости от возраста человека, его профессии, времени, потраченного на физическую и умственную нагрузку в течение суток.

Для взрослых работающих людей обычно рекомендуется четырехразовое питание. При этом распределение калорийности осуществляется по следующему принципу:

- завтрак – 25%,
- второй завтрак (или полдник) – 15%,
- обед – 35%,
- ужин – 25%.

Если основная физическая или умственная нагрузка приходится на вечернее или ночное время, то рекомендуется в соответствии с графиком работы повысить калорийность вечернего приема пищи и ввести дополнительный (ночной) прием пищи вместо общепринятого обеда или завтрака.

Для взрослых неработающих людей, для пенсионеров рекомендуется 4-5 разовый прием пищи с примерно *одинаковой калорийностью* каждого приема пищи.

Для новорожденных и грудных детей рекомендуется питание с примерно одинаковой калорийностью каждого приема пищи. Эти приемы пищи осуществляются через равные трехчасовые промежутки.

Для детей различного возраста, беременных женщин, рабочих разных профессий, больных людей рекомендуются специальные режимы питания, с которыми Вы познакомитесь в курсах гигиены, пропедевтики внутренних и детских болезней и на других клинических кафедрах.

23. Каким образом определяется доля белков, жиров и углеводов в рационе питания?

Институтом питания детально разработаны соответствующие рекомендации по соотношению белков, жиров и углеводов, которые существенно различаются для представителей разных возрастных и профессиональных групп (таблица 1).

Чтобы рассчитать одну весовую часть белка, используют следующие подходы: расчет по массе тела или по калорийности суточного рациона, определенную долю которой должны обеспечивать белки.

Вариант 1. Расчет по массе тела

Необходимо знать массу тела и норму количества белка, выраженную в г/кг массы тела, которое человек должен ежедневно потреблять. Для взрослого человека эта норма составляет 1,2-1,3 г/кг массы тела. Это значит, что молодой человек 17-18 лет массой 70 кг должен ежедневно потреблять 84-91 г белка (из расчета $70 \times 1,2$ и $70 \times 1,3$). Соответственно он должен потреблять столько же жиров и в 4 раза больше углеводов (см. таблица 1).

Соотношение белков, жиров и углеводов (по массе) у представителей разных возрастных и профессиональных групп (выборочно)

Характеристика Группы	Белки	Жиры	Углеводы
Взрослый человек с умеренной физической нагрузкой	1	1,2	4,6
Молодой человек в возрасте 17-18 лет	1	1	4
Лица, занятые преимущественно физическим трудом	1	1	5
Лица, занятые преимущественно умственным трудом	1	0,8	3
Новорожденный	1	2,6	5,2

Вариант 2. Расчет по калорийности суточного рациона, долю которой должны обеспечивать белки, жиры и углеводы

Согласно расчетам Института питания известно, что в среднем калорийность суточного рациона питания на 12-13% должна восполняться за счет белков, на 33-34% – за счет жиров и на 54-55% за счет углеводов. Алгоритм расчета доли белка в суточном рационе будет выглядеть следующим образом:

1) суточная калорийность пищевого рациона известна (*например, 3000 ккал*);

2) 13% от суточной калорийности *в нашем примере составят 390 ккал*. То есть 390 ккал должны быть восполнены за счет белков;

3) калорический коэффициент белков составляет 4,1 ккал (см. вопрос № 4). Исходя из калорического коэффициента, узнаем, сколько граммов белка должен принять наш обследуемый. Для этого производим следующее математическое действие:

$$390 : 4,1 = 95,12 \text{ г}$$

Аналогичным образом рассчитывают долю жиров и углеводов.

24. Каким образом определяется соотношение (сбалансированность) компонентов пищи животного и растительного происхождения (белков, жиров и углеводов)?

Институтом питания рекомендуется включение в суточный рацион питания пищи, содержащей белки, жиры и углеводы животного и растительного происхождения в определенных соотношениях.

Белки. В суточном рационе не менее 55% белков должно быть животного происхождения (мясо, рыба, субпродукты, молочные продукты и др.) так как в них содержатся *полноценные белки*. Полноценными называются белки, содержащие полный набор *незаменимых аминокислот* в строго определенном количественном

соотношении. *Незаменимые (эссенциальные) аминокислоты* не синтезируются в нашем организме и поступают в него только в составе пищи (к ним относятся аргинин, валин, гистидин, изолейцин, лейцин, лизин, метионин, треонин, триптофан, фенилаланин).

Жиры. В суточном рационе не менее 30% жиров должно быть растительного происхождения (растительные масла, маргарин, комбинированный жир), так как в них содержатся *незаменимые жирные кислоты*, не синтезируемые в нашем организме и поступающие в него только в составе пищи. К ним относятся линолевая, линоленовая и арахидоновая *полиненасыщенные* жирные кислоты, которые идут на построение клеточных мембран, синтез простагландинов, простациклинов и др.

Углеводы. В настоящее время рекомендуется основную массу углеводов (до 75%) вводить в организм в виде полисахаридов (например, крахмал картофеля, зерновых культур, мучных изделий). Около 20% (не более!) углеводов должны потребляться в виде моно- и дисахаридов (сахарный песок, сладости, мед и др.). Остальное количество углеводов (около 5%) приходится на долю так называемых пищевых волокон, или балластных веществ. К ним относятся растительная клетчатка и пектиновые вещества, содержащиеся как в клеточных структурах, так и в межклеточном веществе плодов и овощей.

25. О чем говорит правило изодинамии и как оно учитывается при составлении суточного рациона?

Правило изодинамии говорит о том, что *временно суточная калорийность пищевого рациона может восполняться за счет пищи с другим соотношением между белками, жирами и углеводами* по сравнению с тем, что указано в вопросе № 23. Это означает, что при уменьшении доли какого-либо из питательных веществ общая суточная калорийность рациона должна быть восполнена за счет других питательных веществ. Например, если по какой-то причине в суточном рационе нет белков, то, *сохраняя калорийность суточного рациона*, следует соответственно увеличить долю жиров или углеводов (или тех и других). В реальной жизни небольшие отклонения от рекомендуемых норм питания всегда могут иметь место, но ситуация, приведенная в качестве примера – это крайний случай и она не может продолжаться дольше одной недели!

26. Каким образом определяется количество и соотношение минеральных веществ в пищевом рационе?

При рациональном питании в составе пищи находятся продукты животного и растительного происхождения, содержащие достаточное количество минеральных веществ и это не приводит к необходимости дополнительно вводить в суточный рацион какие-либо минеральные вещества. Однако в ряде случаев возникает подобная необходимость. Например, у людей, проживающих в жарких странах, у рабочих, занимающихся тяжелым физическим трудом, у спортсменов и в ряде других случаях при повышенном потоотделении из организма выводятся соли. Это требует приема специальных минеральных смесей в виде минеральных вод или таблеток. При ряде заболеваний, касающихся изменения минерального обмена (рахит, остеопороз, остеохондроз, кариес и др.), требуется дозированное введение (или, наоборот, ограничение введения) различных минералов.

27. Каким образом определяется количество и соотношение различных витаминов в пищевом рационе?

При рациональном питании рекомендуется, как можно меньше пользоваться консервированной пищей, так как в ней содержится значительно меньше витаминов (теряются при термической обработке), чем в свежей натуральной пище. *Если в рационе питания достаточное количество свежих, натуральных продуктов, то здоровому человеку нет особой необходимости задумываться о дополнительном приеме витаминов.* Однако людям, выполняющим тяжелую физическую работу, спортсменам в период активной тренировки, детям, старикам, беременным женщинам рекомендуется дополнительный прием витаминов (дозировка витаминов должна быть согласована с врачом!). Особенно это касается поздней зимы и ранней весны, когда содержание витаминов в натуральных продуктах заметно снижается.

При различных заболеваниях по рекомендации врача обязательно проводится дополнительная витаминизация пищи! В настоящее время в аптечной сети продаются специальные витаминные комплексы (они, кстати, содержат и достаточное количество минеральных веществ!), которые широко применяются как больными, так и здоровыми людьми!

28. Какова норма объема воды в суточном рационе человека?

Человеку, живущему в зоне умеренного климата, рекомендуется ежедневно принимать до 2- 2,5 литров воды в виде чая, кофе, напитков, бульонов и др. Дополнительно к этому в организме используется около 300 мл воды, образующейся в результате метаболических процессов. Водный баланс является одним из важнейших условий нормального существования организма (вода составляет около 60% массы тела). При дефиците воды (дегидратации) происходит сгущение крови, а значит, нарушение реологических свойств крови (текучести) и нарушение нормального кровотока. Это ухудшает трофику тканей, приводит к развитию инфарктов различных органов и тканей. О дефиците воды свидетельствует появление чувства жажды.

Не является полезным для организма и избыток воды. При этом развивается **гипергидратация** тканей (набухание клеток, снижение их осмотического давления, нарушение проницаемости мембран для различных веществ), что ведет к нарушению обмена веществ. Особенно чувствительны к подобным изменениям ткани мозга, а это означает, что нарушаются процессы регуляции физиологических функций.

Понятно, что объем воды в суточном рационе питания во многом зависит от климатических условий проживания человека и температурного режима, как дома, так и на рабочем месте. Естественно, что человек, проживающий в условиях жаркого климата, ежесуточно потребляет значительно больше воды, чем человек, живущий в средней климатической полосе. Также рабочие «горячих цехов» (литейщики, сталевары и др.) в период работы принимают дополнительный объем жидкости с добавлением адекватного количества минеральных солей.

Булыгин Алексей Николаевич
Колодина Ирина Геннадьевна
Назаров Сергей Борисович

НОРМАЛЬНАЯ ФИЗИОЛОГИЯ
В ВОПРОСАХ И ОТВЕТАХ

ОБМЕН ВЕЩЕСТВ И ЭНЕРГИИ

Учебно-методические разработки
для иностранных студентов

Лицензия № 00637 от 05.01.2000 года

Формат 60×841/16. П. л. 1,5

Усл.п.л. 1,5

Заказ

Тираж 350 экз.

Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Ивановская государственная медицинская академия»

Минздравсоцразвития России
153462, г. Иваново, пр.Ф.Энгельса,

Отпечатано в ООО «ПолиПринт»
Россия, 153032, г. Иваново, ул. Станкостроителей, 12, офис 23.
тел.: 8-902-241-88-08, (0932) 45-38-71, факс: (0932) 29-48-35