

## ЛЕКЦИЯ 28. МЕТАБОЛИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ.

28. 1. Значение Обмена веществ.

Обмен белков, жиров и углеводов.

Витамины и их роль в организме.

# Значение обмена веществ.

---

Обмен веществ и энергии – это совокупность физико-химических превращений, происходящих в живом организме и обеспечивающих его жизнедеятельность. В широком смысле всю эту совокупность реакций обозначают термином метаболизм. Обмен веществ включает две неразрывно связанные стороны – анаболизм и катаболизм.

Под анаболизмом понимают совокупность превращений веществ, обеспечивающую синтез белков, липидов, нуклеиновых кислот и других макромолекулярных компонентов из малых молекул-предшественников или «строительных блоков». Анаболизм по смыслу равнозначен термину «ассимиляция» и близок к термину «биосинтез».

Катаболизм представляет фазу, в которой происходит расщепление сложных органических молекул до более простых конечных продуктов; по смыслу катаболизм соответствует термину «диссимиляция». Углеводы, белки и жиры, поступившие с пищей, в серии последовательных реакций распадаются до молочной кислоты, углекислого газа, воды и  $\text{NH}_3$ . Катаболические процессы сопровождаются выделением свободной энергии, заключенной в химических связях сложных по структуре больших органических молекул. Значительная часть энергии для синтетических реакций поставляется в форме АТФ, другая часть – в богатых энергией связях водородных атомов в коферменте никотинамидадениндинуклеотидфосфат, который находится в восстановленной форме – НАДФН.

Катаболические и анаболические реакции протекают одновременно, но их скорости регулируются независимо.

# Обмен углеводов.

Биологическая роль углеводов, прежде всего, определяется их энергетической функцией. Углеводы в виде глюкозы – непосредственный источник энергии почти для всех клеток организма человека и животных. Энергетическая ценность 1 г углеводов составляет 17,18 кДж. Особенно велика роль глюкозы для нейронов ЦНС, для которых она является основным субстратом дыхания. Поэтому функционирование головного мозга нуждается в постоянном и большом притоке глюкозы с кровью.

Углеводы выполняют функцию резервирования энергии. Запас углеводов у человека представлен в основном гликогеном. Наличие запаса гликогена позволяет сохранить нормальное снабжение тканей глюкозой даже при длительных перерывах в поступлении пищи, так как запас гликогена в печени способен поддерживать необходимый уровень глюкозы в крови в течение 12–24 часов. После этого срока в качестве источника глюкозы используются другие вещества.

Углеводы выполняют пластическую функцию. Нерастворимые полимеры углеводов выполняют функцию структурных элементов костей, хрящей и соединительной ткани. Углеводы других типов служат в качестве смазки. Все вещества этих групп называют гликозаминогликанами, или кислыми мукополисахаридами. К ним относятся, такие вещества, как гепарин, (естественный антикоагулянт), муцин (основной элемент слизи), гиалуроновая кислота, входящая в состав межклеточного вещества тканей человека и животных и др. Углеводы входят в состав клеточных мембран.

На уровне всего организма основная часть углеводов, около 70%, окисляется до  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$ , покрывая значительную часть энергетических затрат, 25–28% глюкозы пищи превращается в жиры и только 2–5% глюкозы направляется на синтез гликогена. Основные запасы гликогена сосредоточены в печени и составляют до 5% ее массы, а также в мышцах – до 1,5–2% массы мышц.

Превращение углеводов в организме. Моносахариды, всосавшиеся через слизистую тонкого кишечника, разносятся током крови к тканям и органам.

В печени из глюкозы образуется гликоген в процессе гликогенеза, гликоген распадается до глюкозы в процессе гликогенолиза, часть глюкозы окисляется до  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$  с выделением АТФ, глюкоза становится источником для синтеза жирных кислот, происходит глюконеогенез – образование глюкозы из жирных кислот и аминокислот.

По отношению к глюкозе крови печень выполняет гомеостатическую функцию, в основе которой лежит способность печени изменять интенсивность углеводного обмена в зависимости от уровня сахара в крови.

В углеводном обмене большой удельный вес принадлежит скелетным мышцам. Мышцы поглощают из крови глюкозу. В состоянии покоя глюкоза превращается в гликоген. В работающей мышце гликоген через пируват превращается в лактат (анаэробный гликолиз), что характерно для белых (быстрых) мышц. В красных (медленных), где велика концентрация окислительных ферментов, пируват через цикл лимонной кислоты превращается до  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$ . Лактат из мышц поступает в кровь, захватывается печенью и там из него образуется гликоген. Таким образом, между печенью и скелетными мышцами существует тесное взаимодействие.

Головной мозг обладает лишь минимальными запасами углеводов. Он поглощает до 70% глюкозы, выделяемой печенью. Подавляющая часть глюкозы в мозге окисляется по аэробному пути.

# Уровень сахара в крови.

---

Основное количество сахара крови представлено глюкозой. Концентрация глюкозы крови поддерживается в узких пределах с помощью гомеостатических механизмов. В норме кровь человека содержит 4,4–5,5 ммоль/л глюкозы (0,8–1,0 г/л); снижение уровня глюкозы ниже 4,9 ммоль/л называется гипогликемией, при этом нарушается снабжение тканей глюкозой. Повышение глюкозы выше 6,0 ммоль/л называется гипергликемией. Она может быть обусловлена приемом пищи, интенсивной, но кратковременной мышечной работой, эмоциональным возбуждением.

Регуляция уровня глюкозы в крови, а, следовательно, всего метаболизма углеводов достаточно сложна. Она осуществляется на основе принципа обратной связи с помощью нервной и эндокринной систем. Центральным звеном регуляции служит гипоталамус, интегрирующий информацию об обмене углеводов и выдающий команды на выработку гормонов и нейромедиаторов. Важнейшими гормонами углеводного обмена являются инсулин, глюкагон, глюкокортикоиды и адреналин.

Важное значение для нормального функционирования организма имеет реабсорбция глюкозы в почках. Реабсорбирующая способность почек для глюкозы даже в норме ограничена верхним пределом. Поэтому при повышении глюкозы в крови свыше 10 ммоль/л она появляется в моче, это явление называют глюкозурией.

# Обмен липидов.

---

Основную массу жиров в организме составляют нейтральные жиры (триглицериды), содержащие пальмитиновую, стеариновую, олеионовую, линолевую, линоленовую и в меньшем количестве другие жирные кислоты. Основной биологической функцией жиров является энергетическая, поскольку при полном окислении 1 г жиров выделяется наибольшее количество энергии, около 39 кДж. Около 50% энергетических трат организма взрослого человека осуществляется за счет жиров.

Запасы жира – жировые депо – очень изменчивы и составляют от 10 до 30% массы тела. Запасы жира зависят от характера питания, пола, возраста, двигательной активности и конституциональных особенностей. Главная функция жировых депо – служить в качестве резервного источника энергии. На долю жиров у мужчины весом 70 кг в норме в среднем приходится до 12 кг. Этого количества достаточно для поддержания основного обмена в течение 8-ми недель.

Нейтральные жиры служат источником эндогенной воды, так как при окислении 100 г жира выделяется 107 мл воды.

Жиры выполняют и пластическую функцию, которая заключается, прежде всего, в том, что они в виде фосфолипидов составляют основу всех мембран. Кроме того, липиды являются основной частью цитозоля клеток. Однако там их содержание относительно постоянно и не изменяется даже при голодании. Жировая ткань принимает участие в фиксации внутренних органов и защищает их от механических повреждений.

Бурый жир преимущественно присутствует у мелких животных, зимоспящих, а также внутриутробно и в первые недели жизни у крупных животных и человека.

В энергетическом отношении жиры легко заменяются углеводами. Однако длительное отсутствие в пище жиров приводит к тяжелым последствиям. Это вызвано тем, что ненасыщенные жирные кислоты линолевая и линоленовая не синтезируются в организме и должны обязательно поступать с пищей.

Около 30% гидролизованного жира в виде липопротеинов поступает из ЖКТ непосредственно в кровь. Другая часть жиров попадает вначале в лимфу, и только после этого в кровь.

# Обмен белков.

---

Белками являются важнейшими компонентами всех организмов, они содержатся во всех без исключения клетках. Среди всех веществ они самые многочисленные по массе. Если не принимать во внимание костную ткань, то в среднем содержание белка составляет 10–15% массы клеток или тканей.

Функции белков. Главной функцией белков является пластическая. В энергетическом отношении белки менее значимы, хотя при распаде 1 г белка выделяется около 17 кДж энергии. Пластическая функция белков реализуется в следующем: - белки – основной строительный материал клеток, биомембран, белками являются ферменты, некоторые гормоны, гемоглобин, актин и миозин, факторы свертывания, основные сократительные элементы мышечных волокон – являются белками, антитела, рецепторы гормонов и медиаторов.

Характерной особенностью белкового обмена является его чрезвычайная разветвленность. На это указывает тот факт, что в обмене 20 аминокислот, входящих в состав белков, участвуют сотни промежуточных метаболитов. Через эти метаболиты белковый обмен тесно связан с обменом липидов и углеводов.

# Азотистое равновесие.

При оценке белкового питания и обмена белков в равной мере важны количественная и качественная стороны. Количественная достаточность белкового питания определяется массой белков, поступающих с пищей и распадающихся в организме, т.е. в белковом балансе. Поскольку среди питательных веществ азот входит в основном в белки, то о состоянии поступления и синтеза с одной стороны и распада с другой, судят по балансу азота. Азот, выводимый из организма также в основном белкового происхождения.

Азотистый баланс – это отношение количества азота, усвоенного за сутки из пищи, к азоту, выделенному за сутки в результате распада белков:

В среднем в белке содержится 16% азота, т.е. 1 г азота содержится в 6, 25 г белка. Отсюда нетрудно узнать количество введенного и распавшегося белка. В норме потеря белка составляет 13–17 г/сут. При азотистом равновесии количество введенного и выведенного белка равны, это состояние имеет место в норме. При усилении распада или недостатке белка в пище баланс азота отрицательный. Положительный баланс наблюдается при усиленном синтезе белка, что имеет место у растущих детей и во время беременности.

Количество вводимого в организм белка должно превышать количество распадающегося в организме, что объясняется двумя причинами. Во-первых, аминокислотный состав белков человека отличается от аминокислотного состава белков пищи. Иначе говоря, чтобы из общего пула «выбрать» необходимое количество данных аминокислот, организму необходимо иметь значительно больше белка. Во-вторых, потребление белка вызывает усиление распада белковых структур.

Подавляющее большинство белков обновляется в организме с очень высокой скоростью. Так, обновляются белки мышц, белки биомембран, гамма-глобулины и другие. Большая часть образующихся в процессе обмена свободных аминокислот используется для синтеза белка заново. Установлено, что примерно 70% общего пула аминокислот приходится на эндогенные белки и только 30% поступает из белков пищи.

Средняя величина обмена белка такова, что за 3 недели распадается и вновь синтезируется 50% всех белков. Расчеты показывают, что в состоянии азотистого равновесия скорость синтеза белка достигает 500 г/сут.

Биологическая ценность белков. Часть аминокислот в организме человека и животных не синтезируется или образуется в ограниченном количестве, по этой причине их называют незаменимыми, в отличие заменимых, образующихся в организме в достатке. Следовательно, незаменимые аминокислоты должны обязательно поступать с пищей. Незаменимость имеет видовые различия. Для человека незаменимы: валин, лейцин, изолейцин, треонин, метионин, фенилаланин, триптофан, лизин.

Поэтому разные пищевые белки имеют неодинаковую биологическую ценность. Чем выше в белке содержание незаменимых аминокислот, тем выше его биологическая ценность. Биологически более ценны белки животного происхождения (молоко, яйца, мясо, рыба). Неполюценны белки растительного происхождения – из кукурузы, пшеницы, ячменя.

Следует учитывать, что даже при наличии в пище всех аминокислот в достаточном количестве организм может находиться в состоянии белковой недостаточности. Это происходит в том случае, если всасывание какой-либо аминокислоты в кишечнике замедлено или она под действием кишечной микрофлоры разрушается в большей мере, чем в норме. В этих ситуациях будет происходить ограниченный синтез белка или организм будет компенсировать недостаток аминокислоты для биосинтеза белка за счет распада собственных белков.

В результате обмена белков образуются конечные продукты, которые должны быть выведены из организма. К ним относятся аммиак, мочевая кислота, мочевины, креатинин, индикан и некоторые другие. Некоторые конечные продукты – мочевины, мочевая кислота, креатинин – выводятся с мочой, другие с каловыми массами.

Показателем образования и выведения служит остаточный азот сыворотки крови, т.н. «белбелковый азот». Около половины этой величины составляет мочевины. Она образуется в печени из аммиака при дезаминировании аминокислот. Аммиак токсичен, поэтому образование мочевины предохраняет организм от отравления аммиаком.

# Витамины.

Витаминами называют такие органические соединения, которые необходимы в небольших количествах для нормальной жизнедеятельности организма, однако не могут вырабатываться в организме или вырабатываются в недостаточном количестве.

---

Витамины выполняют высокоспецифические функции в обменных процессах. Часто в виде кофакторов они входят в состав ферментов, либо оказывают сложное воздействие на ту или иную систему – биохимический процесс, ткань, орган.

Химическое строение витаминов очень различно, поэтому их принято разделять на группы по очень простому признаку – растворимости в жирах и воде. Часть витаминов способна растворяться только в жирах, поэтому их называют жирорастворимыми в отличие водорастворимых – растворяющихся в водной фазе.

К жирорастворимым относятся витамины А, D, E, K: витамин А (антиксерофтальмический) или ретинол; витамины D (антирахитический) или кальциферолы; витамин E (витамин размножения, антиоксидантный) или токоферолы; витамин K (антигеморрагический).

К водорастворимым относят витамины группы В и витамин С: В1 – антиневритный или тиамин; В2 – витамин роста или рибофлавин; В6 – антидерматитный или пиридоксин; В12 – антианемический или цианкобаламин; РР – антипелларгический; В9 – антианемический или фолиевая кислота; В3 – антидерматитный или пантотеновая кислота; В7 – антисеборейный или биотин; Р – укрепляющий капилляры или биофлавоноиды; С – антицинготный или аскорбиновая кислота.

## 28. 2. Особенности и регуляция водно-солевого обмена.

Вода и неорганические ионы играют важнейшую роль в функционировании организма. В стационарном состоянии строго поддерживается баланс воды и основных неорганических ионов. Лишение воды и минеральных веществ тяжело сказывается на организме. Водное голодание намного быстрее приводит к гибели, чем полное отсутствие пищи, но при достатке воды.

Вода у взрослого человека составляет 60% от массы тела, а у новорожденного — 75%. Она является средой, в которой осуществляются процессы обмена веществ в клетках, органах и тканях. Непрерывное поступление воды в организм является одним из основных условий поддержания его жизнедеятельности. Основная масса (около 71 %) всей воды в организме входит в состав протоплазмы клеток, составляя так называемую внутриклеточную воду. Внеклеточная вода входит в состав тканевой, или интерстициальной, жидкости (около 21%) и воды плазмы крови (около 8%).

Вода необходима, прежде всего, как хороший растворитель. Кроме того, она обладает высокой теплоемкостью и поэтому важна для терморегуляции. Испарение воды с поверхности кожи уносит излишки тепла, что важно для терморегуляции. Вода обладает высокой теплопроводностью, что обеспечивает быстрое выравнивание температурных градиентов внутри организма.

По степени связанности (иммобилизованности) выделяют свободную и связанную воду. Связанная вода входит в состав биомолекул и надмолекулярных структур, она не участвует в растворении веществ.

# Водный баланс.

---

Баланс воды складывается из ее потребления и выделения. Источниками поступления воды служат жидкости и пища. С пищей человек получает в сутки около 750 мл воды, в виде напитков и чистой воды — около 630 мл. Кроме того, в организме ежедневно образуется около 0,3 л метаболической воды, поскольку окисление 100 г углеводов дает 55 мл, окисление 100 г белка – 41 мл, 100 г жиров – 107 мл. Суточное поступление воды колеблется в широких пределах, в среднем для мужчины массой 70 кг оно составляет 2,5 л. Минимальная суточная потребность составляет около 1700 мл воды.

Потери воды происходят через легкие – 0,5 л/сут, с калом теряется 0,1–0,2 л/сут. При испарении с поверхности кожи и альвеол легких в сутки в обычных условиях выделяется около 800 мл воды. Количество пота чрезвычайно широко варьирует в зависимости от температуры и влажности среды, его максимальное величина может достигать 4 л за час. Остальное количество воды выводится с мочой.

Поступление воды регулируется ее потребностью, проявляющейся чувством жажды. Это чувство возникает при возбуждении питьевого центра гипоталамуса.

# Обмен минеральных веществ.

Организм нуждается в постоянном поступлении не только воды, но и минеральных солей. Наиболее важное значение имеют натрий, калий, кальций. В организме человека и животных встречается множество неорганических веществ и неорганических ионов. Часть из них прочно связана с биологическими структурами, в частности, с ферментами, другие находятся в растворенном состоянии. В зависимости от количественного содержания в организме их принято подразделять на макро- и микроэлементы.

Важнейшими среди неорганических веществ являются:  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{HPO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ . Неорганические ионы участвуют в создании осмотического давления, мембранного потенциала, необходимы для транспорта веществ через мембраны, а также участвуют в осуществлении специфических функций – регуляции активности ферментов, как участники ферментативных актов, построении костного скелета и некоторых других. Некоторые неорганические вещества, находящиеся в растворенном состоянии, неравномерно распределены между клетками и внеклеточным пространством. Это, главным образом,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ .

**Натрий ( $\text{Na}^+$ )** является основным катионом внеклеточных жидкостей. Его содержание во внеклеточной среде в 6—12 раз превышает содержание в клетках. Натрий в количестве 3—6 г в сутки поступает в организм в виде  $\text{NaCl}$  и всасывается преимущественно в тонком отделе кишечника. Роль натрия в организме многообразна. Он участвует в поддержании равновесия кислотно-основного состояния, осмотического давления внеклеточных и внутриклеточных жидкостей, принимает участие в формировании потенциала действия, оказывает влияние на деятельность практически всех систем организма. Ему придается большое значение в развитии ряда заболеваний. В частности, считают, что натрий опосредует развитие артериальной гипертензии за счет как увеличения объема внеклеточной жидкости, так и повышения сопротивления микрососудов. Баланс натрия в организме в основном поддерживается деятельностью почек.

**Калий (K<sup>+</sup>)** является основным катионом внутриклеточной жидкости. В клетках содержится 98% калия. Суточная потребность человека в калии составляет 2—3 г. Основным источником калия в пище являются продукты растительного происхождения. Всасывается калий в кишечнике. Особое значение калий имеет благодаря своей потенциалобразующей роли, как на уровне поддержания мембранного потенциала, так и в генерации потенциала действия. Калий принимает также активное участие в регуляции равновесия кислотно-основного состояния. Он является фактором поддержания осмотического давления в клетках. Регуляция его выведения осуществляется преимущественно почками.

**Кальций (Ca<sup>2+</sup>)** обладает высокой биологической активностью. Он является основным структурным компонентом костей скелета и зубов, где содержится около 99% всего Ca<sup>2+</sup>. В сутки взрослый человек должен получать с пищей 800—1000 мг кальция. В большем количестве кальция нуждаются дети ввиду интенсивного роста костей. Всасывается кальций преимущественно в двенадцатиперстной кишке в виде одноосновных солей фосфорной кислоты. Примерно 3/4 кальция выводится пищеварительным трактом, куда эндогенный кальций поступает с секретами пищеварительных желез, и 1/4 — почками. Велика роль кальция в осуществлении жизнедеятельности организма. Кальций принимает участие в генерации потенциала действия и выделении медиаторов в синапсах НС, играет определенную роль в инициации мышечного сокращения, является необходимым компонентом свертывающей системы крови, повышает рефлекторную возбудимость спинного мозга и обладает симпатикотропным действием.

***Кислород, углерод, водород, азот, кальций и фосфор составляют основную массу живого вещества.***

В организме значительную роль в осуществлении жизнедеятельности играют и элементы, находящиеся в небольшом количестве. Их называют микроэлементами. Важнейшими среди микроэлементов являются: Fe, Cu, Zn, Mn, Co и еще некоторые, общее число которых достигает 15—20. К микроэлементам, имеющим высокую биологическую активность, относят железо, медь, цинк, кобальт, молибден, селен, хром, никель, олово, кремний, фтор, ванадий. Кроме того, в организме обнаруживается в незначительном количестве много других элементов, биологическая роль которых не установлена. Всего в организме животных и человека найдено около 70 элементов.

Большинство биологически значимых микроэлементов входит в состав ферментов, витаминов, гормонов, дыхательных пигментов.

## 28. 3. Обмен энергии в организме.

В процессе обмена веществ постоянно происходит превращение энергии: потенциальная энергия сложных органических соединений, поступивших с пищей, превращается в тепловую, механическую и электрическую. Энергия расходуется не только на поддержание температуры тела и выполнение работы, но и на воссоздание структурных элементов клеток, обеспечение их жизнедеятельности, роста и развития организма.

При окислении углеводов 22,7% энергии химической связи глюкозы в процессе окисления используется на синтез АТФ, а 77,3% в форме первичной теплоты рассеивается в тканях. Аккумулированная в АТФ энергия используется в дальнейшем для механической работы, химических, транспортных, электрических процессов и в конечном счете тоже превращается в теплоту, обозначаемую вторичной теплотой. Следовательно, количество тепла, образовавшегося в организме, становится мерой суммарной энергии химических связей, подвергшихся биологическому окислению. Поэтому вся энергия, образовавшаяся в организме, может быть выражена в единицах тепла — калориях или джоулях.

Энергетический обмен присущ каждой живой клетке, сопровождая ее функциональный и структурный метаболизм. Единицей измерения энергообмена является 1 ккал (4,19 кДж).

Различают следующие уровни метаболической активности:

1. Уровень энергообмена, несовместимый с жизнью. По отношению к организму в целом он не превышает 15% максимального в данных условиях энергообмена. Однако надо помнить, что для организма в целом уровень обменных процессов имеет иное значение, чем для изолированных органов, ибо снижение активности работы сердца ведет к смерти организма даже когда обмен в самом сердце снижается на 50%.

2. Уровень поддержания целостности. Он не может быть ниже 15% всей активности.

3. Уровень готовности к активному действию. Обычно составляет 50% энергообмена.

При снижении величины энергообмена ниже 50% происходит ухудшение и снижение функциональной активности организма.

Интенсивность энергообмена зависит от характера деятельности. В зависимости от этого выделяют понятия основной обмен и рабочий обмен.

Наиболее низкие величины расхода энергии наблюдаются при исключении мышечной деятельности и приема пищи, и при температуре среды, соответствующей минимальной активности механизмов терморегуляции. Этот уровень получил название основного обмена. Энерготраты в условиях основного обмена связаны с поддержанием минимально необходимого для жизни клеток уровня окислительных процессов и с деятельностью постоянно работающих органов и систем — дыхательной мускулатуры, сердца, почек, печени. Некоторая часть энерготрат в условиях основного обмена связана с поддержанием мышечного тонуса. Освобождение в ходе всех этих процессов тепловой энергии обеспечивает ту теплопродукцию, которая необходима для поддержания температуры тела на постоянном уровне, как правило, превышающем температуру внешней среды.

Для определения основного обмена обследуемый должен находиться:

- 1) в состоянии мышечного покоя (положение лежа с расслабленной мускулатурой), не подвергаясь раздражениям, вызывающим эмоциональное напряжение;
- 2) натощак, т. е. через 12— 16 ч после приема пищи;
- 3) при внешней температуре «комфорта» (18—20°С), не вызывающей ощущения холода или жары. Исследование продолжается 10-15 минут. Основной обмен определяют в состоянии бодрствования.

Во время сна уровень окислительных процессов и, следовательно, энергетических затрат организма на 8—10% ниже, чем в состоянии покоя при бодрствовании.

**Величину основного обмена** обычно выражают количеством тепла в килоджоулях (килокалориях) на 1 кг массы тела или на 1 м<sup>2</sup> поверхности тела за 1 ч или за одни сутки. Для мужчины среднего возраста (примерно 35 лет), среднего роста (примерно 165 см) и со средней массой тела (примерно 70 кг) основной обмен равен 1 ккал на 1 кг массы тела в час, или 1700 ккал в сутки. У женщин той же массы он примерно на 10 % ниже.

Интенсивность основного обмена, пересчитанная на 1 кг массы тела, у детей значительно выше, чем у взрослых. Величина основного обмена человека в возрасте 20—40 лет сохраняется на довольно постоянном уровне. В пожилом возрасте основной обмен снижается.

Измеренный у человека уровень ОО сравнивают с должной величиной. Согласно формуле Дрейера, суточная величина должного основного обмена в килокалориях (Н) составляет:

$$H = W / K \cdot 0,1333 A,$$

где W — масса тела, г; A — возраст человека; K — константа, равная для мужчины 0,1015, а для женщины — 0,1129.

Формулы и таблицы основного обмена представляют средние данные, выведенные из большого числа исследований здоровых людей разного пола, возраста, массы тела и роста.

У лиц одинакового роста, веса, пола и возраста основной обмен примерно одинаков и колеблется не более чем  $\pm 15\%$ . Зная вес тела, рост и возраст, можно с помощью специальных формул и таблиц определить интенсивность должного основного обмена (ДОО) у людей. Истинные величины ОО не должны отличаться от ДОО более чем на 15%. Изменения ОО наблюдаются чаще всего при гормональных нарушениях (щитовидной и др. желез) и ряде других заболеваний.

Если пересчитать интенсивность ОО на 1 кг веса тела, то она весьма различна у животных разных видов и людей разного веса, роста и возраста. При этом у детей она выше, чем у взрослых. Если же произвести перерасчет интенсивности ОО на 1 м<sup>2</sup> поверхности тела, то полученные результаты у разных животных и людей будут отличаться значительно меньше. Это дало в свое время повод Рубнеру сформулировать т.н. "правило поверхности", согласно которому затраты энергии теплокровных животных пропорциональны поверхности тела.

Однако это не абсолютно верно. Интенсивность обмена веществ может значительно различаться у двух индивидуумов с одинаковой поверхностью тела, так как уровень окислительных процессов определяется не столько теплоотдачей с поверхности тела, сколько теплопродукцией клеток, зависящей от вида животного и состояния организма, которое, в свою очередь, обусловлено деятельностью его нервной системы и эндокринного аппарата. В связи с этим большее значение имеет т.н. "правило скелетных мышц" Аршавского, которое утверждает зависимость ОО от объема мышечной массы тела.

Определенные изменения расхода энергии отмечаются с возрастом. Самый высокий уровень обмена - у новорожденных и детей до года, затем эти величины снижаются. К 10-12 годам уровень обмена достигает показателей взрослого человека, однако до полового созревания у девочек он больше, чем у мальчиков.

Куда идет энергия в условиях основного обмена? В организме, находящемся в состоянии полного покоя, никогда не прекращается работа сердца, дыхательных мышц, деятельность почек, печени. Некоторое напряжение скелетных мышц (тонус) сохраняется и при полном расслаблении мускулатуры во время лежания и во сне. Считают, что из всего обмена веществ приблизительно 4-6% приходится на сердечную мышцу, 4-6% - на почки, 20-30% - на печень и органы пищеварения, 2-5% - на нервную систему и 40-50% - на скелетную мускулатуру

# Обмен энергии при физическом труде.

Мышечная работа значительно увеличивает расход энергии, поэтому суточный расход энергии у здорового человека, проводящего часть суток в движении и физической работе, значительно превышает величину основного обмена. Это увеличение энерготрат составляет рабочую прибавку, которая тем больше, чем интенсивнее мышечная работа. При мышечной работе освобождается тепловая и механическая энергия. Отношение механической энергии ко всей энергии, затраченной на работу, выраженное в процентах, называется коэффициентом полезного действия. При физическом труде человека коэффициент полезного действия колеблется от 16 до 25 % и составляет в среднем 20 %, но в отдельных случаях может быть и выше. Коэффициент полезного действия изменяется в зависимости от ряда условий. Так, у нетренированных людей он ниже, чем у тренированных, и увеличивается по мере тренировки.

При мышечной деятельности обмен веществ в мускулатуре и в организме в целом сильно возрастает. Так, по сравнению с уровнем обмена лежа сидение вызывает повышение обмена на 12%, стояние - на 20%, ходьба - на 80-100%, бег - на 300-400%. Весьма интенсивная работа может повысить обмен веществ в 10 раз.

Затраты энергии тем больше, чем интенсивнее совершаемая организмом мышечная работа. Степень энергетических затрат при различной физической активности определяется коэффициентом физической активности (КФА), который представляет собой отношение общих энерготрат на все виды деятельности за сутки к величине основного обмена. По этому принципу все мужское население разделено на 5 групп (см. таблицу)

Группа	Особенности профессии	Коэффициент физической активности	Общий суточный расход энергии, кДж (ккал)
Первая	Работники, занятые преимущественно умственным трудом	1,4	9 799—10 265 (2 100—2 450)
Вторая	Работники, занятые легким физическим трудом	1,6	10 475—11732 (2 500—2 800)
Третья	Работники, занятые трудом средней тяжести	1,9	12 360—13 827 (2 950—3 300)
Четвертая	Работники, занятые тяжелым физическим трудом	2,2	14 246—16 131 (3 400—3 850)
Пятая (только мужчины).	Работники, занятые особо тяжелым физическим трудом	2,5	16 131—17 598 (3 850—4 200)

Величина энергозатрат в зависимости от особенностей профессии

# При умственном труде

При умственном труде энергетические затраты значительно ниже, чем при физическом. Однако в гипнозе может быть большое повышение.

---

Значительные различия энергетической потребности в группах зависят от пола (у мужчин больше), возраста (снижаются после 40 лет), степени активности отдыха и уровня коммунального обслуживания. Женское население разделено по энерготратам на 4 группы.

В старости энерготраты снижаются и к 80 годам составляют 8373—9211 кДж (2000—2200 ккал).

**Обмен энергии при умственном труде.** При умственном труде энерготраты значительно ниже, чем при физическом. Трудные математические вычисления, работа с книгой и другие формы умственного труда, если они не сопровождаются движением, вызывают ничтожное (2—3%) повышение затраты энергии по сравнению с полным покоем. Однако в большинстве случаев различные виды умственного труда сопровождаются мышечной деятельностью, в особенности при эмоциональном возбуждении работающего (лектор, артист, писатель, оратор и т.д.), поэтому и энерготраты могут быть относительно большими. Пережитое эмоциональное возбуждение может вызвать в течение нескольких последующих дней повышение обмена на 11—19%.

# Специфическое динамическое действие пищи.

Уровень обмена веществ неразрывно связан с процессами питания. На обмен веществ оказывают влияние как отдельные примы пищи, так и общее количество принятой с пищей веществ, а также их качественный состав. Всякий прием пищи вызывает повышение обмена веществ в организме, находящемся в условиях мышечного покоя. Это повышение обмена называется специфически динамическим действием пищи (СДП). Увеличение обмена веществ и энергии начинается через час, достигает максимума через 3 ч после приема пищи и сохраняется в течение нескольких часов.

Наибольшее СДП оказывает прием белков. Повышение обмена может достигать при этом 30-40% общей энергетической ценности введенного в организм белка. Для углеводов СДП составляет 4-6%, для жиров - еще меньше. При питании смешанной пищей СДП составляет 10-12% ОО.

Причина СДП двоякая. 60% ее величины приходится на условно-рефлекторный компонент (доказывается опытом мнимого кормления). 40% приходится на работу пищеварительного аппарата. У новорожденных детей еще до первого кормления сосание соски-пустышки вызывает увеличение обмена. Очевидно, влияние акта еды на уровень обмена является безусловным рефлексом, биологическое значение которого заключается в том, что организм получает энергию для деятельности (возможно, из депо) задолго до того, когда принятые с пищей вещества реально поступят в метаболический котел. Если бы такого механизма не существовало, выбившийся из сил голодный человек смог бы активно передвигаться только через 3-4 часа после кормления. В реальной жизни он может это делать сразу после еды.

# Регуляция обмена энергии.

Уровень энергетического обмена находится в тесной зависимости от физической активности, эмоционального напряжения, характера питания, степени напряженности терморегуляции и ряда других факторов.

---

Получены многочисленные данные, свидетельствующие об условно рефлекторном изменении потребления O<sub>2</sub> и энергообмена. Любой ранее индифферентный раздражитель, связанный по времени с мышечной деятельностью, может служить сигналом к увеличению обмена веществ и энергии.

У спортсмена в предстартовом состоянии резко увеличивается потребление O<sub>2</sub>, а следовательно, и энергообмен. То же происходит во время прихода на работу и при действии факторов рабочей обстановки у рабочих, деятельность которых связана с мышечными усилиями. Если испытуемому под гипнозом внушить, что он выполняет тяжелую мышечную работу, то обмен у него может значительно повыситься, хотя в действительности испытуемый не производит никакой работы. Все это свидетельствует о том, что уровень энергетического обмена в организме может изменяться под влиянием коры большого мозга.

Особую роль в регуляции обмена энергии играет гипоталамическая область мозга. Здесь формируются регуляторные влияния, которые реализуются вегетативными нервами или гуморальным звеном за счет увеличения секреции ряда эндокринных желез, особенно тироксина и адреналина.

## 28. 4. Принципы исследования прихода и расхода энергии организмом.

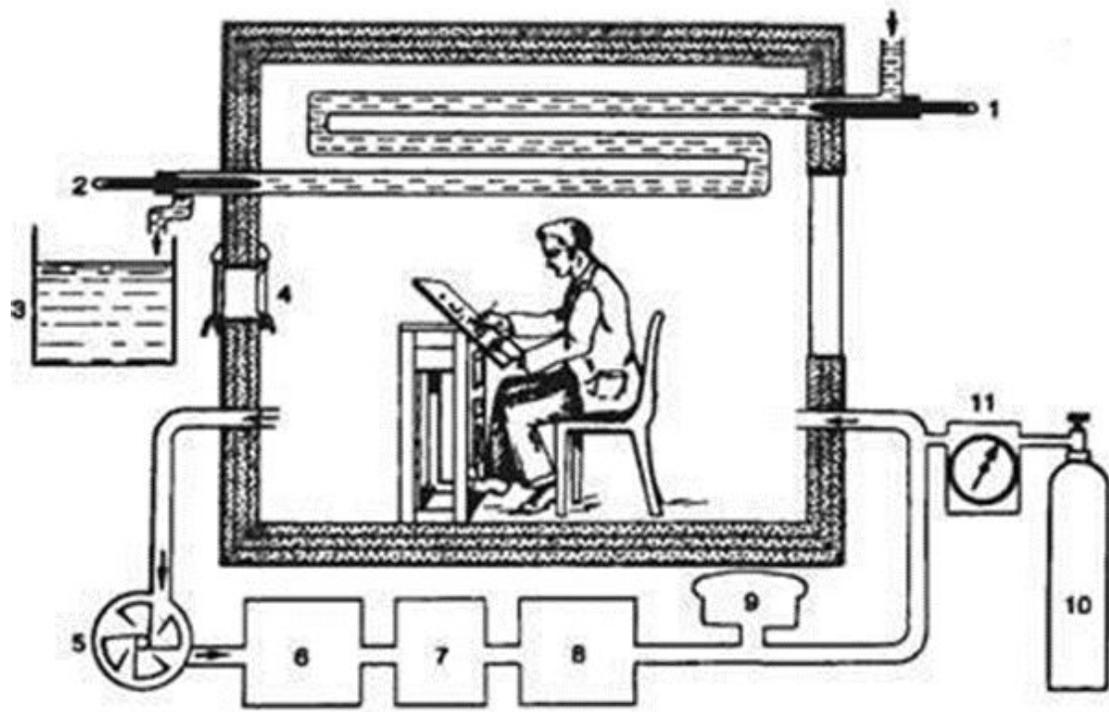


Рис. 51. Биокалориметр Этюотера — Бенедикта для человека (схема). Объяснения в тексте

Методы исследования энергетических затрат организма. Их два - прямая калориметрия и непрямая калориметрия. Для изучения энергетических затрат методом прямой калориметрии надо любыми возможными способами непосредственно измерить энергию, которую организм, в соответствии с законом сохранения энергии, преобразует в тепло и выделяет о внешнюю среду.

Такое исследование возможно в специальных камерах. В них создаются все условия для жизнеобеспечения человека или животного в течение суток и для измерения всего тепла, выделенного организмом за это время.

Прямая калориметрия основана на непосредственном учете в биокалориметрах количества тепла, выделенного организмом.

Одновременно в биокалориметр подается  $O_2$  и поглощается избыток  $CO_2$  и водяных паров. Схема биокалориметра приведена на рис. 52. Продуцируемое организмом человека тепло измеряют с помощью термометров (1,2) по нагреванию воды, протекающей по трубкам в камере. Количество протекающей воды измеряют в баке (3). Через окно (4) подают пищу и удаляют экскременты. С помощью насоса (5) воздух извлекают из камеры и прогоняют через баки с серной кислотой (6 и 8) — для поглощения воды и с натронной известью (7) — для поглощения  $CO_2$ .  $O_2$  подают в камеру из баллона (10) через газовые часы (11). Давление воздуха в камере поддерживают на постоянном уровне с помощью сосуда с резиновой мембраной (9).

Прямая калориметрия в клинике не используется, а применяется в некоторых научных лабораториях.

# Непрямая калориметрия.

---

Методы прямой калориметрии очень громоздки и сложны, поэтому в клинике применяются косвенные методы измерения энергозатрат. Учитывая, что в основе теплообразования в организме лежат окислительные процессы, при которых потребляется  $O_2$  и образуется  $CO_2$ , можно использовать косвенное, непрямое, определение теплообразования в организме по его газообмену — учету количества потребленного  $O_2$  и выделенного  $CO_2$  с последующим расчетом теплопродукции организма.

Наиболее распространен способ Дугласа — Холдейна, при котором в течение 10—15 мин собирают выдыхаемый воздух в мешок из воздухо непроницаемой ткани (мешок Дугласа), укрепляемый на спине обследуемого (рис. 53). Он дышит через загубник, взятый в рот, или резиновую маску, надетую на лицо. В загубнике и маске имеются клапаны, устроенные так, что обследуемый свободно вдыхает атмосферный воздух, а выдыхает воздух в мешок Дугласа. Когда мешок наполнен, измеряют объем выдохнутого воздуха, в котором определяют количество  $O_2$  и  $CO_2$ .



Рис. 52. Определение легочной вентиляции с помощью мешка Дугласа.

Знание величины КЭК позволяет точно устанавливать величину энергетических затрат путем определения количества кислорода, которое за данный промежуток времени потреблено организмом. Однако, чтобы это было возможно, необходимо знать еще, какие вещества в данный момент времени окисляются в организме.

Это возможно определить по т.н. дыхательному коэффициенту, который равен отношению объемов выделенного углекислого газа и поглощенного кислорода.

Дело в том, что в зависимости от химического состава окисляющегося вещества соотношение выделенного углекислого газа и потребленного кислорода различно. Это отношение и носит название дыхательного коэффициента (ДК). При окислении углеводов он равен 1, так как:

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 = 6CO_2 + 6H_2O$$

Расчеты показывают, что при окислении жиров дыхательный коэффициент (ДК) равен 0,7, а при его окислении белка в организме ДК равен 0,8. При смешанной пище у человека ДК обычно равен 0,85—0,95. Определенному дыхательному коэффициенту соответствует определенный калорический эквивалент кислорода. Поэтому, зная величины выделенного и поглощенного газа, легко рассчитать ДК, а зная его - применить нужный КЭК.

Однако, поскольку люди питаются в основном смешанной пищей, то путем многих статистических исследований показано, что в среднем при общепринятом европейском рационе ДК равен 0,9 без особо больших колебаний. Если принять ДК за 0,9, тогда не надо определять количество поглощенного углекислого газа, достаточно знать величину поглощенного кислорода. Это делается легко с помощью метода Крога в приборах метаболитрах или спирометрах.

Относительное постоянство дыхательного коэффициента (0,85—0,90) у людей при обычном питании в условиях покоя позволяет производить достаточно точное определение энергетического обмена у человека в покое, вычисляя только количество потребленного кислорода и беря его калорический эквивалент при усредненном дыхательном коэффициенте. Количество потребленного организмом кислорода определяют при помощи различных спирографов.

Определив количество поглощенного кислорода, и приняв усредненный дыхательный коэффициент равным 0,9, можно рассчитать энергообразование в организме; калорический эквивалент 1 л кислорода при данном дыхательном коэффициенте равен 4,9 ккал. Способ неполного газового анализа благодаря своей простоте получил широкое распространение.

## 28.5. Питание: физиологические нормы питания, основные требования к составлению пищевого рациона и режиму приема пищи,

Питание — процесс поступления, переваривания, всасывания и усвоения в организме пищевых веществ (нутриентов), необходимых для покрытия пластических и энергетических нужд организма, образования его физиологически активных веществ.

Пищевые вещества. К ним относятся белки, жиры и углеводы, при окислении которых высвобождается определенное количество тепла (в среднем для жиров — 9,3 ккал/г, или 37 кДж/г, белков и углеводов по 4,1 ккал/г, или 17 кДж/г). Замена в пищевом рационе одних веществ другими ведет к нарушению функций организма, а при длительном, например безбелковом, питании наступает смерть от белкового голодания. Существенное значение в питании имеет вид каждого из пищевых веществ, содержащих незаменимые компоненты, что определяет их биологическую ценность.

Биологическая ценность животных белков выше, чем растительных (например, у белков пшеницы 52—65 %). Усвояемость белков животного происхождения составляет в среднем 97 %, а растительных — 83—85 %, что зависит также и от кулинарной обработки пищи. Считают, что при биологической ценности белков смешанной пищи не менее 70 % людей имеют белковый минимум в сутки 55—60 г. Для надежной стабильности азотистого баланса рекомендуется принимать с пищей 85—90 г белка в сутки (не менее 1 г белка на 1 кг массы тела). У детей, беременных и кормящих грудью женщин эти нормы выше.

---

Липиды поступают в организм человека в составе всех видов животной, а также растительной пищи, особенно ряда семян, из которых для пищевых целей получают многие виды растительных жиров. Биологическая ценность пищевых липидов определяется наличием в них незаменимых жирных кислот, способностью переваривания и всасывания в пищеварительном тракте (усвоения). Сливочное масло и свиной жир усваиваются на 93—98 %, говяжий — на 80—94 %, подсолнечное масло — на 86—90 %, маргарин — на 94—98 %.

Основное количество углеводов поступает в организм в виде полисахаридов растительной пищи. После гидролиза и всасывания углеводы используются для удовлетворения энергетических потребностей. В среднем за сутки человек принимает 400—500 г углеводов, из которых 350—400 г составляет крахмал, 50—100 г моно- и дисахариды. Избыток углеводов депонируется в виде жира.

Витамины должны быть неизменным компонентом пищи. Нормы их потребности зависят от возраста, пола, вида трудовой деятельности, ряда других факторов.

# Теоретические основы питания

. В настоящее время принята теория сбалансированного питания. Сбалансированное полноценное питание характеризуется оптимальным соответствием количества и соотношений всех компонентов пищи физиологическим потребностям организма. Принимаемая пища должна с учетом ее усвояемости восполнять энергетические затраты человека, которые определяются как сумма основного обмена, специфического динамического действия пищи и расхода энергии на выполняемую человеком работу.

В рационе должны быть сбалансированы белки, жиры и углеводы. Среднее соотношение их массы составляет 1:1,2:4, энергетической ценности — 15:30:55 %. Такое соотношение удовлетворяет энергетические и пластические потребности организма, компенсирует израсходованные белки, жиры и углеводы. Следовательно, должен быть приблизительный баланс между количеством каждого пищевого вещества в рационе и их количеством, утилизируемым в организме; их расход и соотношение зависят от вида и напряженности труда, возраста, пола и ряда других факторов.

Несбалансированность пищевых веществ может вызвать серьезные нарушения обмена веществ. Так, при длительной белково-калорийной недостаточности не только уменьшается масса тела, но и снижается физическая и умственная работоспособность человека. Избыточность питания, повышение в рационе жиров, особенно животных, вызывают ожирение (превышение должной массы тела на 15 % и более). При нем поражаются практически все физиологические системы организма, но чаще и раньше сердечнососудистая (атеросклероз, артериальная гипертензия и др.), пищеварительная, эндокринная (в том числе половая), нарушается водно-солевой обмен. Избыточный прием пищевого сахара способствует развитию сахарного диабета, дисбактериозу, кариесу зубов и др. Должны быть оптимизированы (сбалансированы) в рационе белки с незаменимыми и заменимыми аминокислотами, жиры с разной насыщенностью жирных кислот, углеводы с разным числом в них мономеров и наличием балластных веществ в виде пищевых волокон (целлюлоза, пектин и др.). В суточном рационе должны быть сбалансированы продукты животного и растительного происхождения.

---

В рациональном питании важны регулярный прием пищи в одно и то же время суток, дробность приема пищи, распределение ее между завтраком, обедом, ужином, вторым завтраком, полдником. При 3-разовом питании в сутки первые два приема составляют  $\frac{2}{3}$  суточной энергетической ценности («калоража») пищи и ужин —  $\frac{1}{3}$ . Часто суточный рацион по энергетической ценности распределяется следующим образом: завтрак — 25—30 %, обед — 45—50 %, ужин — 20—25 %. Время между завтраком и обедом, обедом и ужином должно составлять 5—6 ч, между ужином и отходом ко сну — 3—4 ч. Эти периоды предусматривают высоту активности пищеварительных функций, переваривание и всасывание основного количества принятой пищи. Более рационально 5 — 6-разовое питание. При 5-разовом питании на первый завтрак должно приходиться около 25 % калорий суточного рациона, на второй завтрак — 5—10 % (легкая закуска — фрукты, чай), на обед — около 35 %, на полдник — 25 %, на ужин — 10 %. При 4-разовом приеме пищи на первый завтрак должно приходиться 20—25%, на второй завтрак — 10—15 %, на обед — 35—45%, на ужин — 20—25 % калорий суточного рациона

Фактическое распределение суточного рациона имеет существенные различия в связи с климатическими условиями, трудовой деятельностью, традициями, привычками и рядом других факторов.

# Принципы составления пищевых рационов.

В зависимости от энергетических затрат стоит задача составления правильных пищевых рационов. Пищевой рацион должен включать не менее 60 г. жиров и 400-500 г. углеводов. У взрослых при трехразовом питании 30% рациона должно приходиться на завтрак, 40% на обед и 25% на ужин. Необходимо помнить также и о минеральном составе, витаминах, заменимых и незаменимых аминокислотах и др.

Таким образом, при составлении пищевого рациона необходимо руководствоваться следующими принципами:

1. Соответствие энергетическим затратам.
2. Удовлетворение нормы белков, жиров и углеводов в питании.
3. Учет усвояемости пищевых веществ.
4. Минеральный и витаминный состав.
5. Учет состояния организма и способов приготовления пищи (диетология).
6. Правильное распределение рациона по часам суток.
7. Разнообразие пищи и ее органолептика.
8. Учет потребностей роста.