

# ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ



Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования  
«ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

---

УТВЕРЖДАЮ

Зав. каф. промышленной и медицинской  
электроники, проф., д.т.н.

\_\_\_\_\_ Г.С. Евтушенко

## ОЦЕНКА ОСНОВНОГО ЭНЕРГООБМЕНА

Методические указания к выполнению лабораторной работы  
по дисциплине «Биофизика» для студентов, направления  
200300 «Биотехническая инженерия»

УДК 577.3.

Оценка основного энергообмена: Метод. указ. к выполн. лаб. раб. по дисциплине «Биофизика» для студентов, направления 200300 «Биотехническая инженерия». – Томск: Изд. ТПУ, 2007. – 11 с.

Составители: А.А. Аристов

Рецензент доцент, к.м.н. К.С. Бразовский

Методические указания рассмотрены и рекомендованы  
к изданию методическим семинаром кафедры  
промышленной и медицинской электроники 23 декабря 2007 г.

Зав. кафедрой  
профессор, д.т.н.

\_\_\_\_\_ Г.С. Евтушенко

## Лабораторная работа

### ОЦЕНКА ОСНОВНОГО ЭНЕРГООБМЕНА

**Цель работы:** методом непрямой калориметрии определить величину основного обмена человека.

**Приборы и принадлежности:** спирометр, дыхательный мешок, спирт, вата.

#### *Теоретическое обоснование*

Одним из основных жизненных свойств организма, является обмен веществ и энергии. Все без исключения многочисленные функции живого организма целиком зависят от обмена веществ

Обмен веществ можно определить как единство двух противоположных одновременно совершающихся в тканях организма процессов ассимиляции и диссимиляции. Но эти две формы одного и того же процесса не протекают изолированно. Это, только одно главное конечное звено сложнейшего процесса обмена — синтеза всех физиологических процессов организма

В настоящее время под обменом веществ в широком смысле этого слова понимают всю сумму вещественных и энергетических превращений в организме. Прием пищи, ее расщепление в пищеварительном тракте, всасывание, газообмен, процессы выделения, теплоотдача, функция желез внутренней секреции, деятельность низших и высших отделов центральной нервной системы и т.д. — все это проявление обмена веществ

Для определения полного обмена веществ организма необходимо учитывать все вещества, поступающие в организм из внешней среды (белки, жиры, углеводы, соли, витамины, кислород), а также все вещества, выделяемые организмом (с мочой, калом, потом и выдыхаемым воздухом).

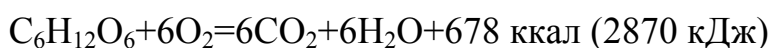
Зная исходные вещества и продукты реакции, можно составить представление о количестве освобождаемого при этом тепла. Для этого сначала необходимо определить теплотворную способность пищи (обычно с помощью калориметрической бомбы Бертло). Затем нужно определить теплопродукцию организма в условиях строго учитываемого пищевого рациона. Предполагается, что различные виды работ, осуществляемых за счет химической энергии пищевых веществ, сопровождаются образованием эквивалентных количеств теплоты, которая отдается организмами в окружающую среду и может быть зарегистрирована с помощью калориметров (**прямая калориметрия**). Исключение составляют главным образом процессы биосинтеза, т. е. процессы превращения химической энергии одних веществ в химическую энергию других.

Непосредственное определение теплопродукции организма (прямая калориметрия) связано с известными неудобствами и используется сравнительно редко. Эти исследования требуют длительного времени (1—3

дня), они чрезвычайно сложны и трудоемки. По этой причине для практических студенческих занятий они не могут быть предложены.

Существуют менее трудоемкие методы определения обмена, которые можно выполнять в более короткий срок. Более распространенной является **непрямая калориметрия**. В этом случае об энергетическом обмене судят, исходя из особенностей обмена веществ между организмом и средой. Так, о суммарном тепловом эффекте реакций, протекших в организме за определенное время при окислении химически однородных веществ (или жиров, или белков, или углеводов), можно судить по так называемому калорическому коэффициенту кислорода. Последний показывает, какое количество тепла в килокалориях выделяется при полном окислении данного вещества до воды и углекислоты на каждый литр поглощенного организмом кислорода. Установлено, что для смешанных углеводов этот коэффициент равен 5, для жиров — 4,7, для белков — 4,85 ккал,

Рассмотрим пример для процесса окисления глюкозы



180г    134л

Уравнение показывает, что утилизация шести молей  $\text{O}_2$ , или образование 6 молей  $\text{CO}_2$  при окислении 1 моля глюкозы (180 г) сопровождается выделением 678 ккал тепла. Следовательно, потребление 1 л  $\text{O}_2$  или выделение 1 л  $\text{CO}_2$  сопровождается выделением 5,047 ккал тепла. Таким образом, тепловыделение в организме любого животного может быть рассчитано умножением потребленного количества кислорода или выделенного углекислого газа на 5,047 ккал.

Однако скорости усвоения и полезного использования отдельных веществ могут существенно колебаться, к тому же в живой системе возможен и синтез веществ (жиров, углеводов, аминокислот) с их последующим окислением. Поэтому, исходя из общего количества поглощенного кислорода, нельзя точно узнать, какие вещества подверглись окислению, а стало быть, нельзя строго определить таким путем и общее количество тепла, освобождаемого живой системой за определенный промежуток времени. Последнее устанавливается с учетом так называемого дыхательного коэффициента, т. е. отношения объема выделенного углекислого газа к потребленному за то же самое время кислороду.

Поскольку дыхательный коэффициент различен для разных пищевых веществ (1 — для углеводов; 0,85 — для белков; 0,71 — для жиров), мы, определив предварительно содержание азота в моче и рассчитав, таким образом, количество окисленного в организме белка, теперь уже можем относительно точно определить теплопродукцию организма в целом, а также количественный и качественный состав окисленной пищи.

Экспериментальное изучение энергетического обмена живых систем убедительно показало, что они полностью подчиняются первому принципу

термодинамики. Ниже приведены в качестве примера результаты одного из опытов.

### Суточный приход и расход тепла у человека

Поступление питательных веществ:

	<i>г</i>	<i>ккал</i>
белков	56,8	238
жиров.	140	1307
углеводов	79,9	335
Всего.	276,7	1879

Расход тепла

	<i>ккал.</i>
выделенного с поверхности тела.	1374
выдохнутого воздуха	43
выделенного с мочой и калом	23
затрата на испарение воды легкими,	181
затрата на испарение воды кожей	227'
Поправки .....	11
Всего .....	1859*

\* Разница в 20 *ккал* объясняется неточностью измерения.

Для оценки энергетических потребностей человека часто пользуются также методом пищевых рационов. В этом случае ограничиваются количественной оценкой теплотворной способности пищи. Так, установлено, что при полной окислении в организме 1 *г* жиров освобождается 9,3 *ккал*, 1 *г* углеводов (так же, как и белков) — 4,2 *ккал*. Поэтому, зная приблизительный энергетический расход организма (с учетом возраста и физической нагрузки), можно оценить и его потребность в пище.

Следует подчеркнуть, что физиологическая ценность пищи заключается не только в ее калорийности, но и в качественном составе. Некоторые необходимые аминокислоты (лизин, метионин и др.) организм не может синтезировать сам и так же, как витамины, минеральные соли, микроэлементы получает с пищей определенного состава.

### ИССЛЕДОВАНИЕ ОСНОВНОГО ОБМЕНА ЭНЕРГИЕЙ

Под основным обменом подразумевают обмен веществ, происходящий в организме при возможно большем мышечном покое, лежа натошак, после 14-16-часового голодания при внешней температуре от 16 до 18 °С. При этом вся энергия тратится только на поддержание жизнедеятельности организма.

Для изучения основного энергетического обмена прибегают к косвенной калориметрии. В этом случае о суммарном эффекте реакции, протекающих в организме, судят по калорическому коэффициенту кислорода.

### Ход работы:

1. Определить минутный дыхательный объем (МДО).

Для чего определить при помощи спирометра дыхательный объем (ДО) (среднее из 5-6 измерений), подсчитать количество дыхательных движений в минуту (ЧДД).

$$\text{МДО} = \text{ДО} * \text{ЧДД}$$

2. Найти исправленный объем воздуха (приведение к стандартным условиям  $T=0$ ,  $P=760$  мм рт.ст., абсолютная сухость).

$$V_o = V_t P_t - b / (760(1 + \alpha t)),$$

где:  $V_o$  – объем абсолютно сухого газа при 760 мм рт.ст.

$P_t$  – барометрическое давление в момент опыта,

$b$  – напряжение водяного пара при данной температуре,

$t$  – температура газа при измерении. (в Кельвинах)

$$\alpha = 1/273.$$

3. Произвести газовый анализ вдыхаемого и выдыхаемого воздуха.

Используя данные о процентном отношении газов в вдыхаемом и выдыхаемом воздухе табл 1, определяют содержание (в литрах) кислорода и углекислого газа.

Таблица 1. Данные анализа воздуха.

Выдыхаемый воздух		Вдыхаемый воздух	
газ	количество (в %)	газ	количество (в %)
Углекислота	3,314	Углекислота	0,051
Кислород	17,413	Кислород	20,815
Азот	79,237	Азот	79,237

а) определить в выдыхаемом воздухе объемы  $\text{CO}_2, \text{O}_2, \text{N}_2$

$$V(\text{CO}_{2(\text{выд})}) = V_o * \% \text{CO}_2 / 100$$

$$V(\text{O}_{2(\text{выд})}) = V_o * \% \text{O}_2 / 100$$

$$V(\text{N}_{2(\text{выд})}) = V_o * \% \text{N}_2 / 100$$

б) определить объем вдыхаемого воздуха

Так как азот не участвует в дыхании, его абсолютное количество как и в вдыхаемом, так и в выдыхаемом воздухе остается постоянным. Отсюда объем вдыхаемого воздуха

$$V_{\text{вд}} = V(\text{N}_{2(\text{вд})}) * 100 / \% \text{N}_2$$

с) определить в вдыхаемом воздухе объемы  $\text{CO}_2, \text{O}_2$

$$V(\text{CO}_{2(\text{вд})}) =$$

$$V(\text{O}_{2(\text{вд})}) =$$

4. Найти количество выделенной углекислоты и поглощенного кислорода за 1 час

5. Вычислить количество поглощенного кислорода и выделенного углекислого газа

5. Рассчитать дыхательный коэффициент

$$DK = V(\text{CO}_2) / V(\text{O}_2)$$

6. Из таблицы по дыхательному коэффициенту определить тепловой эквивалент 1 литра  $\text{O}_2$
7. Определить расход энергии за 1 час.
8. Полученные данные пересчитать на сутки и сравнить с нормативными по таблице.

Решить задачи

1. Определите расход энергии человека в состоянии мышечного покоя, если за 10 мин он выдыхает 60л воздуха, в котором содержится 15% кислорода и 5% углекислого газа. В атмосферном воздухе содержится 21% O<sub>2</sub>, 0,03% CO<sub>2</sub>.
2. Спортсмен, пробегая дистанцию, выделяет за 1 мин 90 л воздуха, в котором содержится 12% кислорода и 8% углекислого газа. Каков расход энергии спортсмена за 5 мин дистанции?
3. Определите калорический коэффициент кислорода при окислении глюкозы, если из экспериментов с калориметрической бомбой известно, что при окислении 1 г глюкозы выделяется 15,7 кДж теплоты.
4. При непрямой калориметрии энергетический расход человека за 10 мин составил 84 кДж. Какой объем кислорода он выдохнул, если известно, что в выдыхаемом воздухе содержалось 13% кислорода и 7% углекислого газа?
5. Кролик массой 1,5 кг поглотил за 1 ч 1,5 л кислорода. Определите, сколько энергии расходует кролик за сутки, если средний калорический эквивалент кислорода 20,52 кДж.
6. Сколько полезной работы может быть получено при сжигании 1 моль глюкозы, если предположить, что тело человека работает как тепловая машина с КПД 30% ?
7. Диета человека массой 70 кг содержит 400 г белка (20,1 МДж/кг), 22 г жиров (39,8 МДж/кг) и 80 г углеводов (16,7 МДж/кг). Каждый день он поднимается на высоту 3 км и совершает перед этим работу, включая работу метаболизма, в 4 раза превышающую механическую работу поднятия своего тела на высоту 3 км. Чему равно изменение внутренней энергии при таком ежедневном процессе ?
8. Определите температуру мышцы, предполагая, что она работает как тепловая машина с КПД 30% при температуре 25°C.

Связь калорического коэффициента 1 л кислорода с дыхательным коэффициентом

<i>Дыхательный коэффициент</i>	<i>К.К. кДж</i>	<i>Дыхательный коэффициент</i>	<i>К.К. кДж</i>	<i>Дыхательный коэффициент</i>	<i>К.К. кДж</i>	<i>Дыхательный коэффициент</i>	<i>К.К. кДж</i>
0,70	19,619	0,78	19,996	0,86	20,411	0,94	20,821
0,71	19,636	0,79	20,051	0,87	20,461	0,95	20,871
0,72	19,686	0,80	20,101	0,88	20,515	0,96	20,921
0,73	19,737	0,81	20,151	0,89	20,566	0,97	20,976
0,74	19,791	0,82	20,201	0,90	20,616	0,98	21,026
0,75	19,841	0,83	20,256	0,91	20,666	0,99	21,076
0,76	19,896	0,84	20,306	0,92	20,716	1,00	21,131
0,77	19,946	0,85	20,360	0,93	20,767	—	—

Примечание: 1 Дж (джоуль) = 0,239 кал (калорий)







## ОЦЕНКА ОСНОВНОГО ЭНЕРГООБМЕНА

Методические указания к выполнению лабораторной работы

Составители: А.А. Аристов

Подписано к печати 30.12.2007 г.

Усл. печ. л. 0,46.

Тираж 20 экз.

Рег. № xxxxxxxx. – Томск: Изд. ТПУ, 2007. – 11 с.