

К. А. Шошенко

Лекции по экологической физиологии

Лекция 1

Характеристика животных

Обмен веществами животного с внешней средой.

Базальный метаболизм

Все животные, как правило,

- 1. получают нужную для жизнедеятельности энергию с пищей,**
- 2. используют в процессе метаболизма атмосферный кислород,**
- 3. имеют двигательный (мышечный) аппарат, обеспечивающий им адаптацию во внешней среде.**

Таблица 1

Масса тела животных организмов. [73]

Жгутиковый паразит диаметром 4 мкм	0.0000004 г
Свободно живущее простейшее диаметром 50 мкм	0.00002 г

Холоднокровные

Бычок филиппинский длиной 1 см	0.015 г
Акула китовая длиной 33 м	15 000 000 г

Теплокровные

Колибри красная	2 г
Землеройка карликовая белозубка	2.5 г
Слон африканский	7 500 000 г
Кит синий	150 000 000 г

Животные различаются не только по M_t , но и по форме тела.

Форма тела важна, так как от нее зависит величина

его относительной поверхности $S_{\text{отн}}$

(ее площадь, приходящаяся на единицу M_t).

Для очень мелких организмов, например, для одноклеточных,

через эту поверхность происходит обмен веществами

с окружающей средой.

Для более крупных животных, особенно, для теплокровных,

потери тепла из крови происходят с поверхностей,

отделяющих животного от внешней среды – с поверхности легкого и,

особенно много, с поверхности тела из кожных сосудов.

Для шара его объем U , внешняя и относительная поверхности тела, S и $S_{отн}$, равняются:

$$U = 4/3 \cdot \pi \cdot R^3 \text{ (см}^3\text{)} \quad S = 4 \cdot \pi \cdot R^2 \text{ (см}^2\text{)} \quad S_{отн} = S / M \text{ (см}^2\text{/г)},$$

где M - масса (г), ρ – плотность, равная M / U (г/см³)

$$S_{отн} = 3 \cdot \rho / R$$

Видим, чем больше линейный размер шара (его R), тем меньше его относительная поверхность (S / M)

У шара наименьшая величина $S_{отн}$. (при $\rho = 1$ г/см³)

$$S = 4.8 \cdot M^{0,67} \text{ (см}^2\text{)} \quad S / M = 4.8 \cdot M^{-0,33} \text{ (см}^2\text{/г)}$$

$$4.8 \text{ (см}^2\text{/г)} = k,$$

коэффициент, учитывающий плотность структуры и переводящий показания M (г) в показания S (см²)

Таблица 2

Коэффициент k в уравнении $S = k \cdot M^{0.67}$ различается у животных, показывая различие их формы

Для шара $k=4.8 \text{ см}^2/\text{г}$

	$k, \text{ см}^2/\text{г}$
Байкальский тюлень с прижатыми ластами	6.5
Еж	7.5
Овца	8.4
Мышь, крыса, свинья, корова	8.4 –9
Кролик, собака, лошадь	10
Обезьяна, человек	11-12
Птицы, рыба, лягушки. черепаха	10
Змея	12
Летучая мышь	58

Законы химии говорят:

Если в реакциях распада вещества

начальные продукты одинаковы

и конечные продукты одинаковы,

то количество энергии, выделенное при этих реакциях,

также одинаково

вне зависимости от стадий и скорости этого распада.

- **Энергию для своей жизнедеятельности животные получают с пищей, в которую входят белки, жиры и углеводы.**
- **В пищеварительном тракте эти вещества расщепляются на аминокислоты, глицерин, жирные кислоты и моносахара и с кровью переносятся к клеткам.**
- **В протоплазме клеток они превращаются в простейшую 2-углеродную форму CH_3CO , которая с коферментом А транспортируется в митохондрии.**
 - **В митохондриях из них образуются молекулы CO_2 и электроны с протонами, которые с молекулой кислорода образуют воду.**

Основная часть свободной энергии образуется в митохондриях

Таблица 3

Калорический эквивалент O₂, ккал/л	Калорийность, ккал/г	Дыхательный коэффициент
Углеводы	4,2	1,00
Белки	4,6	0,80
Жиры	9,4	0,71

**Дыхательный коэффициент ДК – отношение объема выделенного CO₂ к объему потребленного O₂.
 Для расчетов при смешанной пище калорийностью 4.8 ккал:
 Чем меньше в питании количество углеводов, тем ниже его ДК.**

Прямая калориметрия-

-измерение выделяемого организмом тепла в специальных термоизолированных камерах позволяет определить количество энергии, потраченной на различные типы деятельности.

Непрямая калориметрия-

-оценка поступившей и израсходованной в организме энергии по количеству потребленного им кислорода

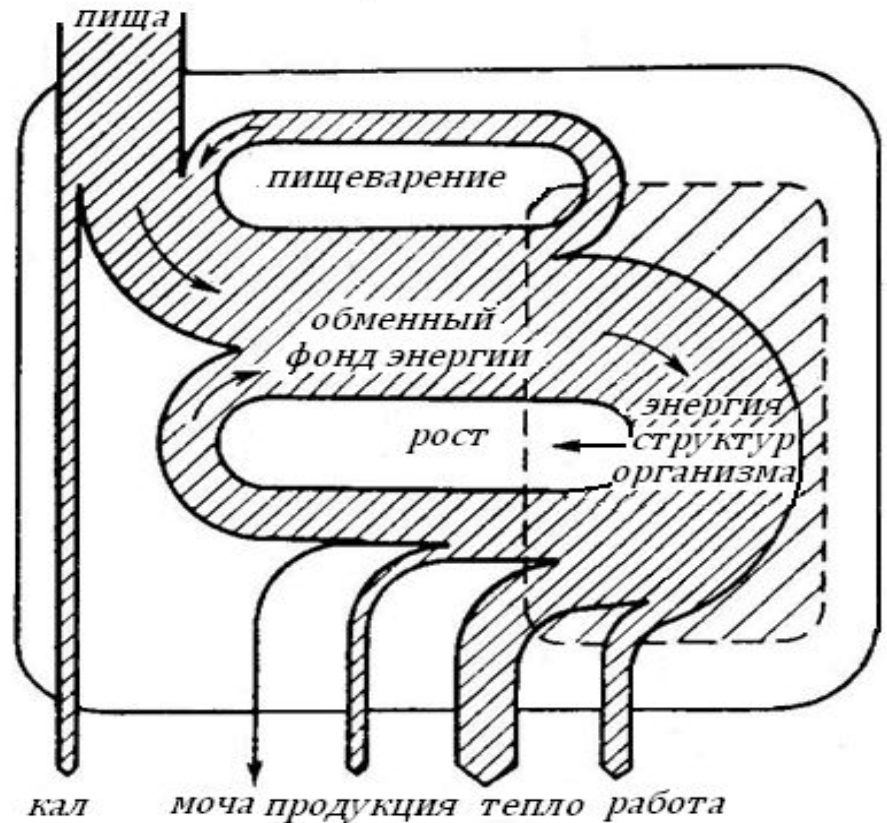
Рис. 1. Схема энергетического обмена животного [66]

Поступившая с пищей энергия используется для:

- обменных процессов
- структурных изменений
- внешней работы
- внешней продукции

При этом большая часть энергии переходит

- в тепло (40-50%)



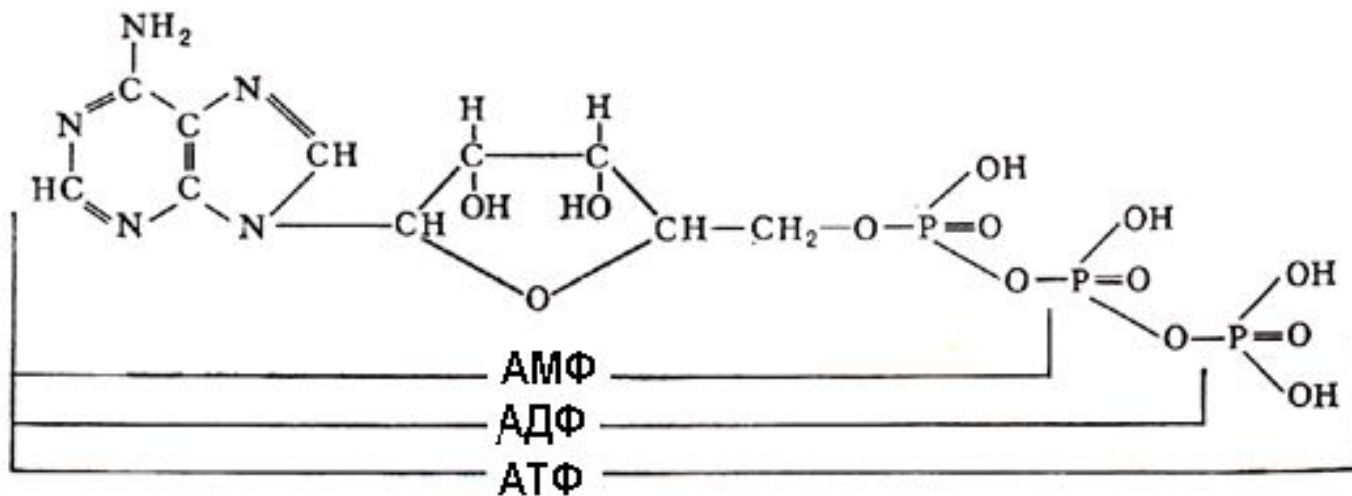


Рис. 2 . Схема молекулы аденозинтрифосфорной кислоты [80]

Фосфатную связь в аденозинфосфатах называют энергетической валютой.

Ее разрыв в АТФ происходит в местах, необходимых для жизнедеятельности клетки - клетка «расплачивается» ею за энергоемкие процессы: синтез веществ, транспорт веществ в клетке и через внешнюю мембрану, мышечное сокращение, электрические потенциалы.

При этом 1 М АТФ при разрыве одной связи выделяет от 7.3 до 3.4 ккал в случае разрыва последней связи в АМФ

Образование фосфатных связей происходит в протоплазме, но, в основном, в Мх. [29].

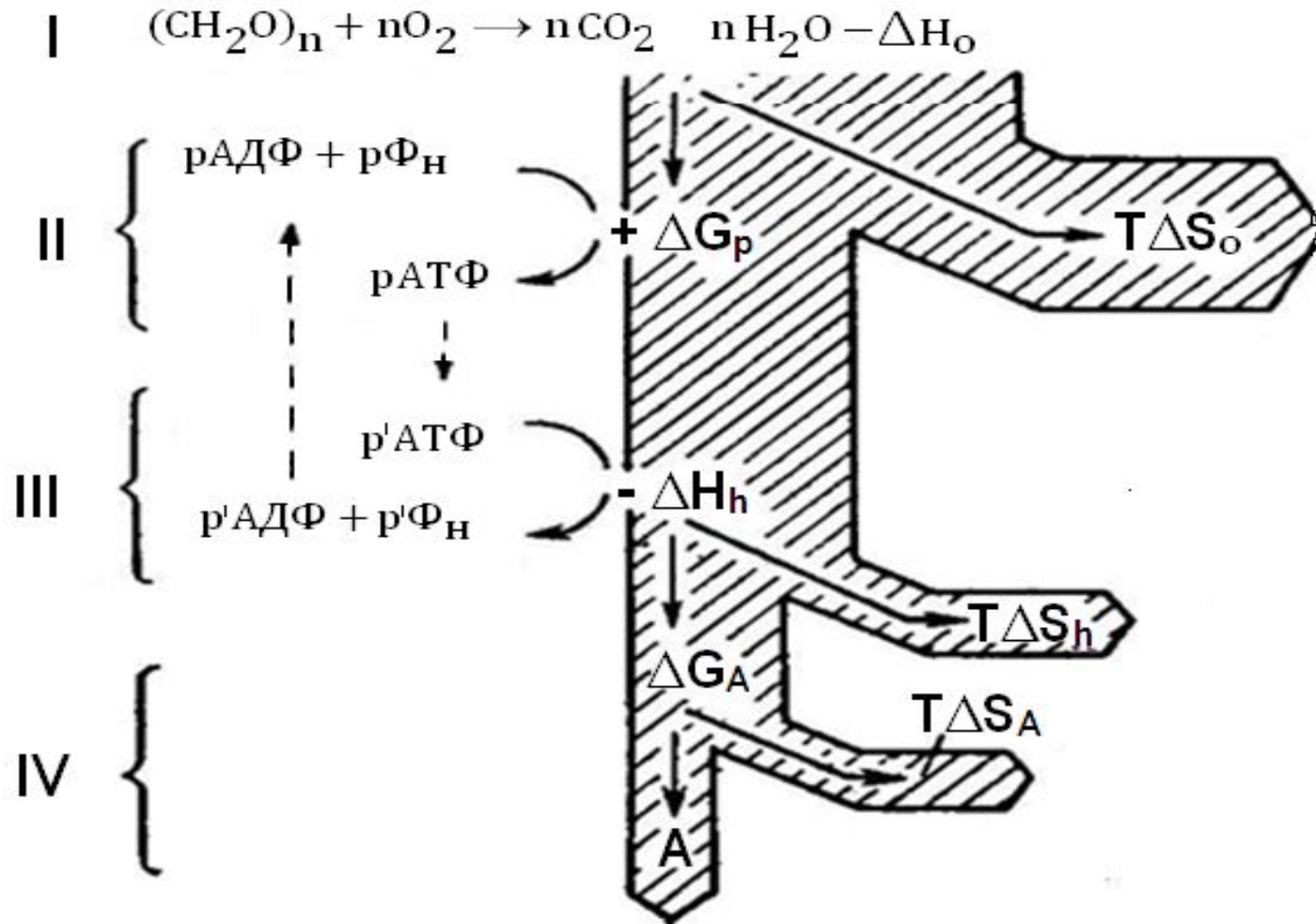


Рис. 3. Главные этапы трансформации энергии в организме животного на примере окисления углеводов $(\text{CH}_2\text{O})_n$ [66]. I – окисление (o), II – фосфорилирование (p), III – расщепление, гидролиз (h) АТФ, IV – физиологическая работа (A); n и p – число молей кислорода и неорганического фосфата (Фн). Подробности о видах энергии, ΔH , ΔG_p и $T\Delta S_o$ в тексте.

**Примерные подсчеты показывают [66]:
энергия, запасенная в фосфатных связях
АТФ и АДФ, расходуется на:**

20-25% - обновление ферментов и структур клетки,

10-12% - осмотическую работу по переносу ионов,

12-15% - работу сердца и дыхательных мышц

В условиях двигательного и эмоционального покоя, комфортных температуры и влажности среды, при отсутствии работы пищеварительного тракта и специфически-динамического действия пищи потребление энергии в организме животного **становится минимальным.**

Уровень минимальных энерготрат, при котором поддерживается жизнедеятельность клеток и тканей, **называют основным обменом**
или базальным метаболизмом (БМ)

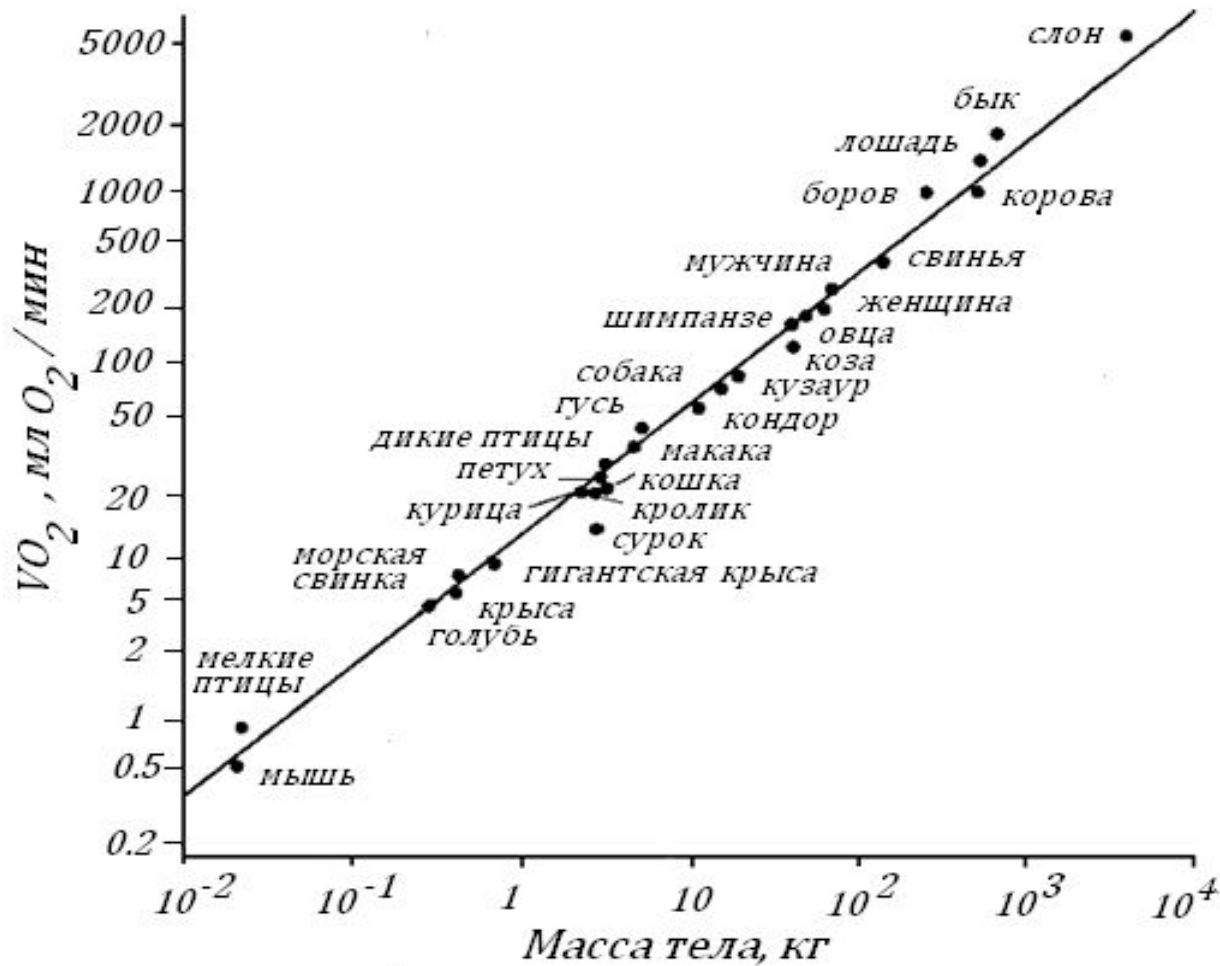


Рис. 4. Интенсивность базального метаболизма в зависимости от массы тела теплокровного, [73].

$$\text{БМ (ккал/сут)} = 70 \text{ МТ (кг)}^{0,75}$$

$$\text{БМ (мл O}_2\text{/мин)} = 10 \text{ МТ (кг)}^{0,75}$$

$$\text{БМ (мл O}_2\text{ / (мин·кг))} = 10 \text{ МТ (кг)}^{-0,25}$$

Таблица 4

**Базальный метаболизм и относительная поверхность тела
у млекопитающих с разной массой тела [71]**

Животное	Мт, кг	БМ, мл O₂/(мин·кг)	Поверхность тела, см²/г
Землеройка	0.005	123	5.3
Малый прыгун	0.015	30	3.7
Суслик	0.096	17	2.0
Крыса	0.29	14	1.4
Кошка	2.5	11	0.76
Собака	12	5.5	0.45
Человек	70	3.5	0.28
Лошадь	650	1.8	0.10
Слон	3833	1.2	0.07
Кратность изменения	766600	102	75

Таблица 5

Температура тела плацентарных млекопитающих с разной массой тела (Morrison, Ryser, 1952), по: [73]

Масса тела, кг	Число видов	Температура тела, °С	
		границы	средняя
0.001-0.01	2	37.8-38.0	37.9
0.01-0.1	11	35.8-40.4	37.8
0.1-1.0	12	35.8-39.5	37.8
1.0-10	17	36.4-39.5	38.0
10-100	8	36.0-39.5	37.9
100-1000	6	36.4-39.5	37.8
1000-10000	2	35.9-36.1	36.0
10000-100000	4	36.5-37.5	37.1

У всех плацентарный млекопитающих температура ядра тела равна 37.8 ± 0.4 С°. у птиц 40-42°С

Таблица 6.
Базальный метаболизм у млекопитающих
(Davson, Hulbert, 1970), по: [55]

Показатель	Млекопитающие		
	однопроходные	сумчатые	плацентарные
Т тела, °С	30.0	35.5	38.0
БМ, мл O ₂ · кг ^{-0.75} · мин ⁻¹ при Т тела	4.9	7.1	10
при 38 °С	9.0	9.0	10

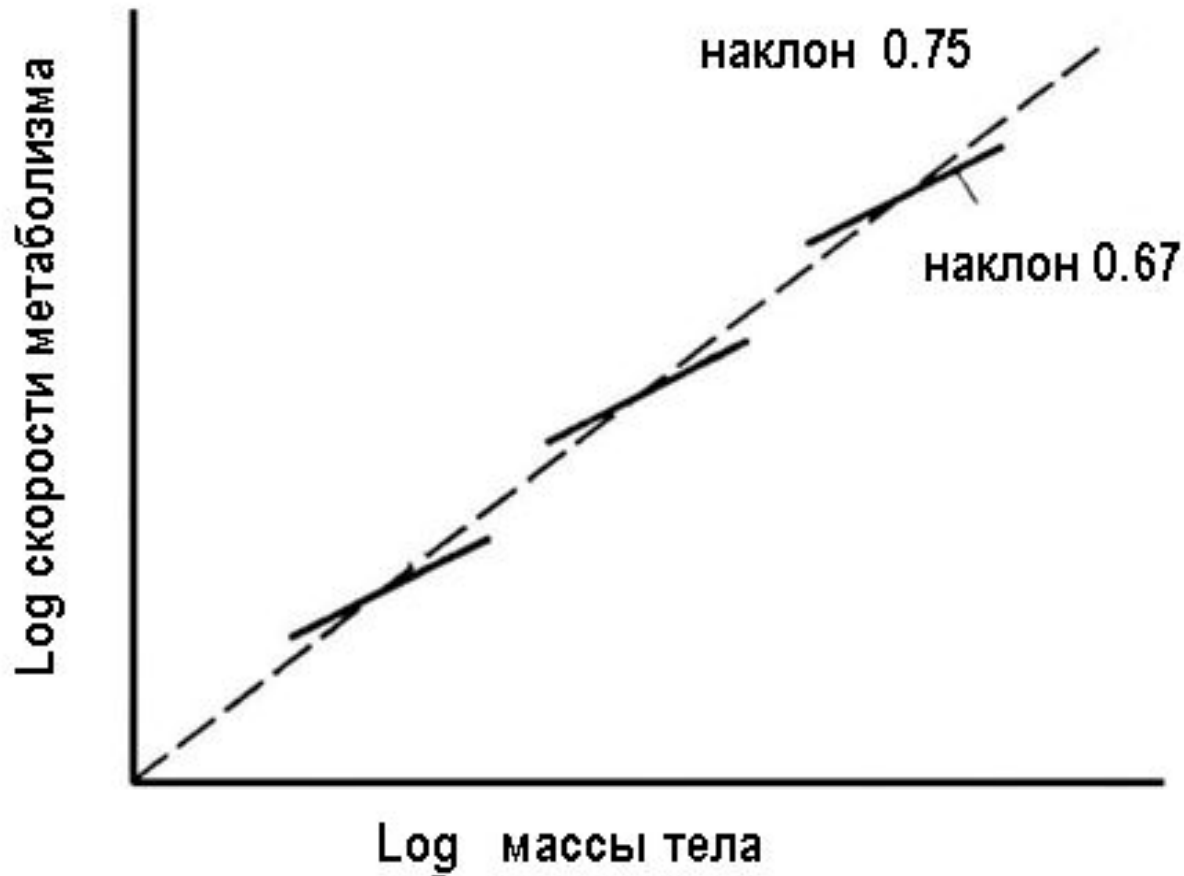


Рис. 5. Коэффициент b , равный 0.75 для ряда теплокровных на рис. 4, может оказаться «статистическим артефактом», в случае использования данных для разных видов животных (на рисунке показаны 3 вида от мыши до быка), зависимость метаболизма каждого из которых соответствует $a \cdot M_t^{0.67}$ (Heusner, 1982), по: [73].

Величина БМ зависит от возраста: чем больше возраст, тем ниже БМ.
Привожу формулы, учитывающие этот фактор у человека:

для мужчин

$$\text{БМ} = 71.2 \times \text{Мт}^{0.75} \times [1 - 0.004 \times (30 - \text{А}) + 0.010 \times (\text{В} - 43.4)],$$

для женщин

$$\text{БМ} = 65.8 \times \text{Мт}^{0.75} \times [1 - 0.001 \times (30 - \text{А}) + 0.018 \times (\text{В} - 42.1)],$$

где БМ - ккал/сут; Мт - кг; А- возраст, годы; В - рост, см / $\text{Мт}^{0.33}$, кг.

Например, у женщины

Мт 60 кг ($60^{0.75} = 21.6$), А 25 лет, рост 165 см, В $165/60^{0.33} = 42.7$

БМ = $65.8 \times 21.6 \times [1 - 0.001 \times 5 + 0.018 \times (42.7 - 42.1)] = 1430$ ккал/сут.

Согласно этим уравнениям,

после 30 лет ВМ снижается ежегодно на 0.4%. [62].

Задача 1

Съели

50 г белков, 29 г жиров и 200 г углеводов

Сколько калорий потребили?

Сколько кислорода использовали?

Калорийность, ккал/г:

белков 4.2, жиров 9.4, углеводов 4.6

1 ккал = 208 мл O₂ 1л O₂ = 4.8 ккал

Решение задачи 1

Потребили калорий

$$50 \cdot 4.2 = 210 \text{ ккал}$$

$$29 \cdot 9.4 = 272.6 \text{ ккал}$$

$$200 \cdot 4.6 = 920 \text{ ккал}$$

$$\text{Всего } 1402.6 \text{ ккал}$$

Израсходовали кислорода

$$1402.6 \cdot 208 = 291740.8 \text{ мл O}_2$$

$$292 \text{ л O}_2$$

Задача 2.

Найти поверхность тела, общую и относительную,

$$S = k \cdot M_T^{0.67} \text{ для } M_T$$

$$\text{у мыши } 30 \text{ г } (k = 8 \text{ см}^2/\text{г}, M_T^{0.67} = 9.765 \text{ г})$$

$$\text{у человека } 6 \cdot 10^4 \text{ г } (k = 12 \text{ см}^2/\text{г}, M_T^{0.67} = 1589.9 \text{ г})$$

$$\text{у слона } 3 \cdot 10^6 \text{ г } (k = 10 \text{ см}^2/\text{г}, M_T^{0.67} = 21861 \text{ г})$$

Решение задачи 2

МЫШЬ

$$8 \cdot 30^{0.67} = 78 \text{ см}^2 \text{ или } 78 / 30 = 2.6 \text{ см}^2/\text{Г}$$

Человек

$$12 \cdot (60000)^{0.67} = 19078 \text{ см}^2$$

$$19078 / 60000 = 0.32 \text{ см}^2/\text{Г}$$

Слон

$$10 \cdot (3000000)^{0.67} = 218611 \text{ см}^2$$

$$218611 / 3000000 = 0.073 \text{ см}^2/\text{Г}$$

Задача 3

Найти БМ для тех же животных

$$\text{БМ (ккал/сут)} = 70 \text{ МТ (кг)}^{0.75}$$

$$\text{БМ (мл } O_2 / (\text{мин} \cdot \text{кг}) = 10 \text{ МТ (кг)}^{-0.25}$$

$$\text{МТ (кг)}^{0.75}$$

у мыши 0.0721 кг, человека 21.56 кг, слона 405.36 кг

Решение задачи 3

Задача 2.

Найти поверхность тела, общую и относительную,

$$S = k \cdot M_T^{0.67} \text{ для } M_T$$

у мыши 30 г ($k = 8 \text{ см}^2/\text{г}$, $M_T^{0.67} = 9.765 \text{ г}$)

у человека $6 \cdot 10^4$ г ($k = 12 \text{ см}^2/\text{г}$, $M_T^{0.67} = 1589.9 \text{ г}$)

у слона $3 \cdot 10^6$ г ($k = 10 \text{ см}^2/\text{г}$, $M_T^{0.67} = 21861 \text{ г}$)