

К.А. Шошенко

Лекции по экологической физиологии

Лекция 3

*Двигательная активность и максимальный кислородный запрос
Оптимальный размер наземного млекопитающего
Энергия существования*

Отличительной чертой животных является их способность к передвижению.

Органы движения, в основе которого лежат сократительные белки, у животных очень разные.

Самые маленькие одноклеточные, например, сперматозоиды, использует один – два жгутика.

У клеток покрупнее есть сотни и тысячи ресничек.

Животные длиной 100 мкм и более используют мышцы.

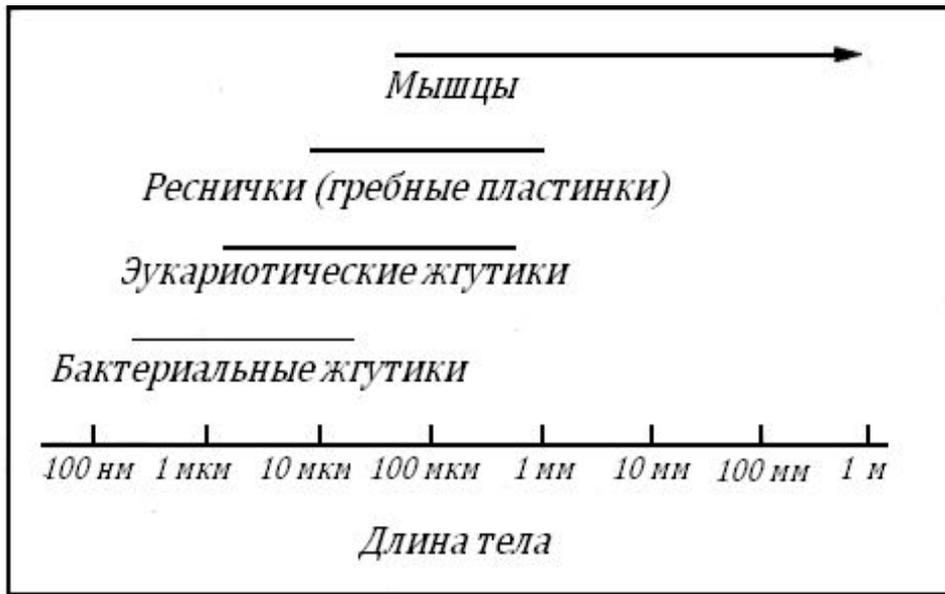


Рис. 19. Способы передвижения и длина тела животного.

Внизу показана плывущая инфузория длиной около 150 мкм с координированным направлением движения ресничек [72].



**Скорость передвижения животных растёт
по мере увеличения их размера,
однако и у самых маленьких она заметна [83]:**

Сперматозоид 0.3 м/ч

Инфузория 0.5 м/ч

Комар 600 м/ч

Шмель 18 000 м/ч

Бражник 54 000 м/ч

Гепард 100 000 м/ч

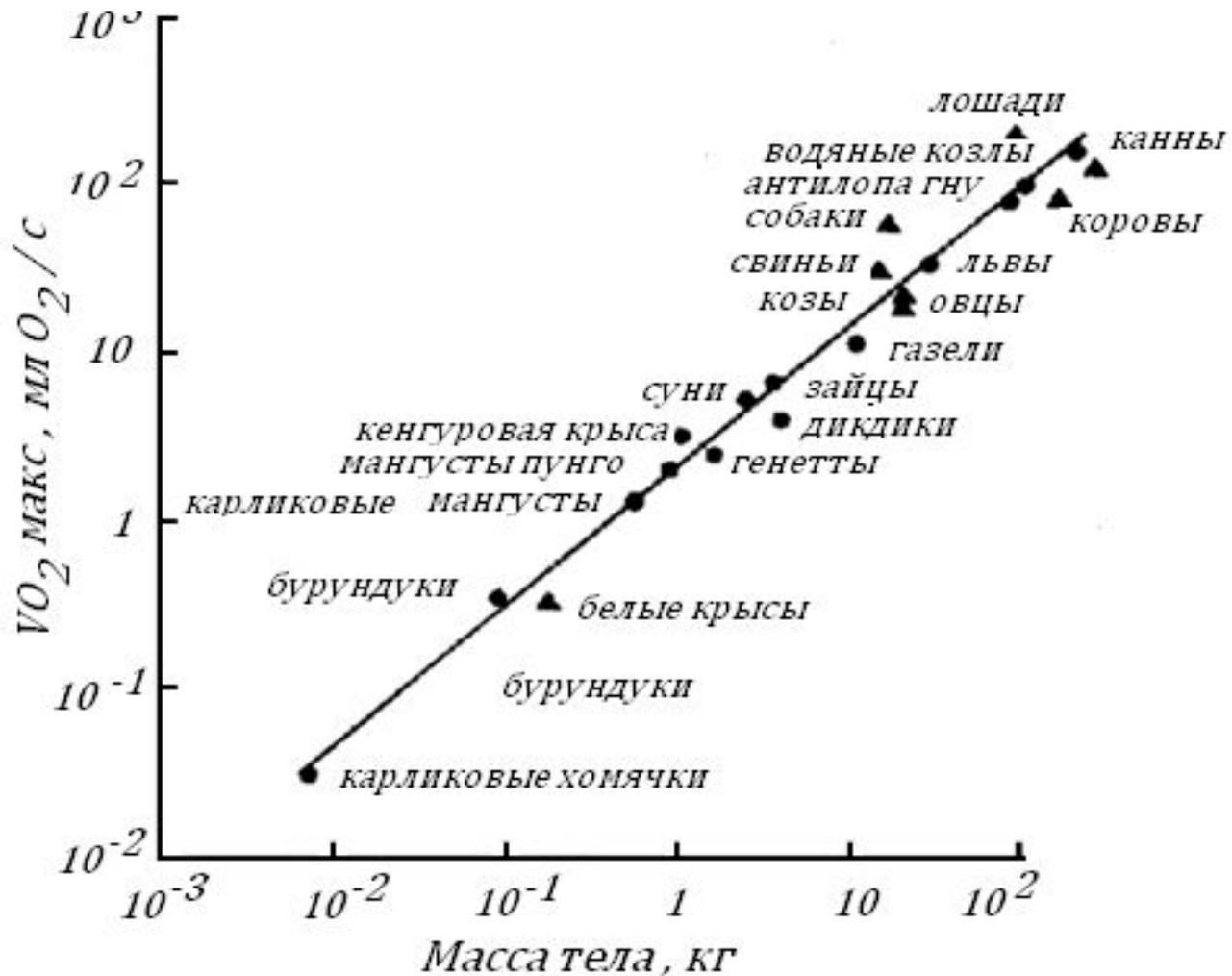


Рис. 20. Максимальная скорость потребления кислорода при беге у 22 видов млекопитающих с разной массой тела (Taylor et al., 1981), по: [73].

Для всех 22 видов млекопитающих:

$$\text{максимальное } VO_2 \text{ (мл } O_2 \text{ / мин)} = 115 \cdot Mm \text{ (кг)}^{0.81}$$

$$\text{базальное } VO_2 \text{ (мл } O_2 \text{ / мин)} = 11 \cdot Mm \text{ (кг)}^{0.75}$$

При сравнении этих уравнений видим:

**в ряду млекопитающих по мере увеличения их Мт
числовой коэффициент перед Мт «а»**

**при максимальной работе в 10 раз выше, чем при БМ (115 и 11),
что отражает 10-кратное повышение VO_2 .**

**Кроме того, максимальное VO_2 с увеличением Мт
становится более зависимым от нее («b» 0.81 и 75).**

**Потребление кислорода млекопитающими
с разной массой тела, мл O₂/(мин·кг)**

Мт	базовое	максимальное	их отношение
10 г	35	276	1 : 8
300 кг	2,6	39	1 : 15

У первых, ведущих по сравнению со вторыми

менее подвижный образ жизни,

повышение максимального $\dot{V}O_2$ по сравнению с БМ меньше:

коэффициенты «а» 101 и 116 по сравнению с таковым при БМ,

равном для тех и других 10.

Кроме того, у домашних животных зависимость максимального $\dot{V}O_2$ от M_T

выражена больше: коэффициенты «b» 0.86 и 0.79:

0.79
для диких видов (14) $116 \cdot M_T$

0.86
для домашних видов (8) $101 \cdot M_T$

Животное		ММ, мл O₂/(мин • кг)	Кратность повышение по сравнению с БМ
Лисица	4.7 кг	183	24
Койот	12 кг	184	31
Волк	23 кг	157	31
Собака	25 кг	160	32

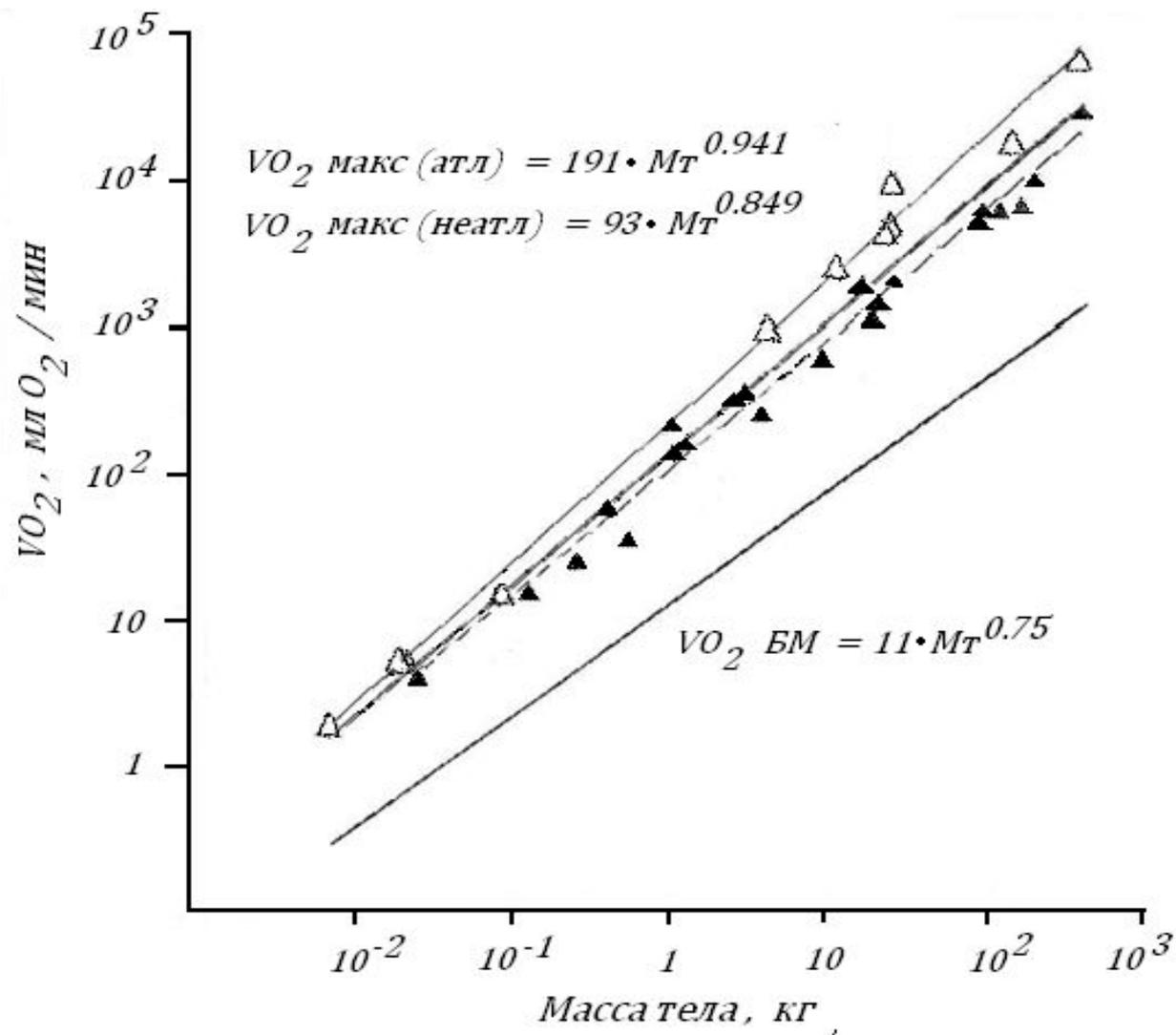


Рис. 21. Максимальная скорость потребления кислорода при беге у 34 видов млекопитающих с разной массой тела (Weibel et al. 2004), по: [105].

Треугольники: светлые – атлеты, темные – неатлеты, линия внизу - БМ.

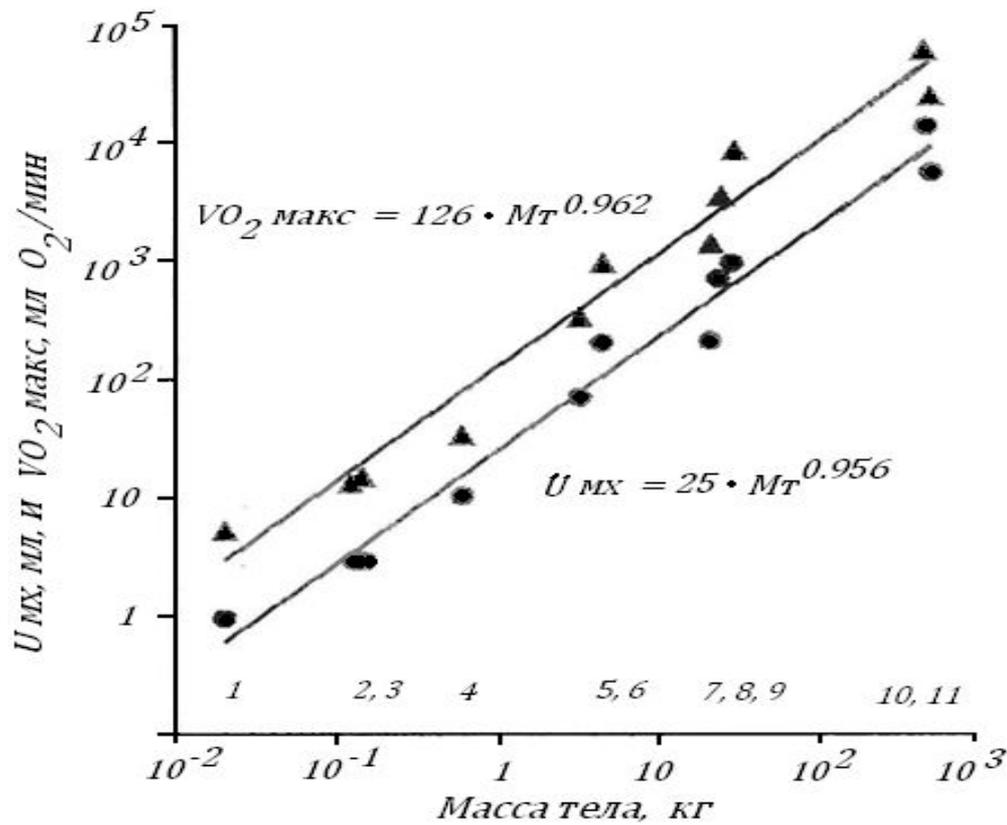


Рис. 22. Максимальная скорость потребления кислорода и суммарный объем митохондрий в скелетных мышцах млекопитающих с разной массой тела [104].

Название животных: 1 – лесная мышь, 2 – слепыш, 3 - белая крыса, 4 - морская свинка, 5 - агути, 6 - лиса, 7 - коза, 8 – собака, 9 – вилорогая антилопа, 10 - лошадь, 11 – бык.

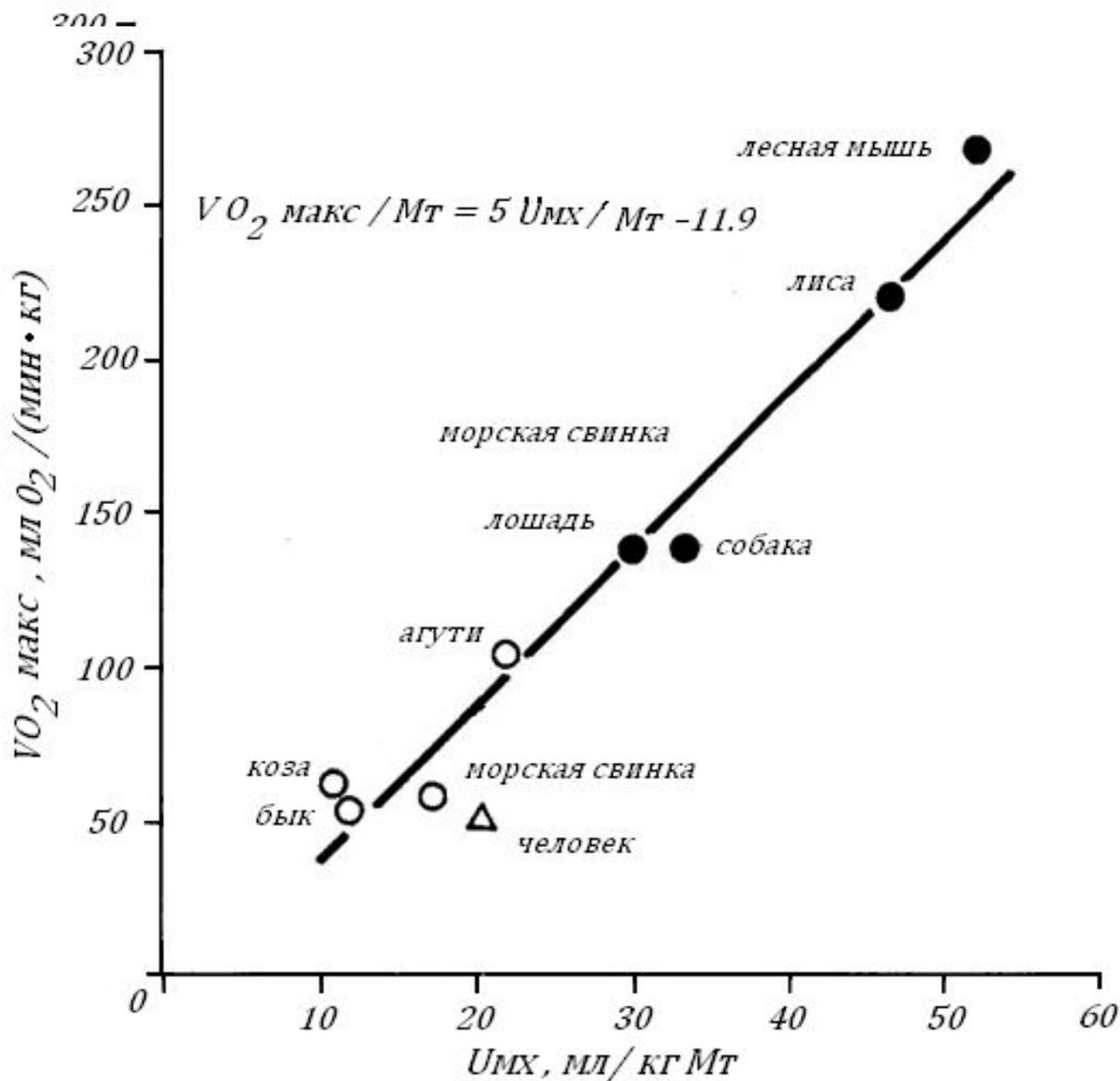


Рис. 23. Максимальная скорость потребления кислорода и объем мышечных митохондрий у млекопитающих атлетов неатлетов (точки) и (кружки) [91].

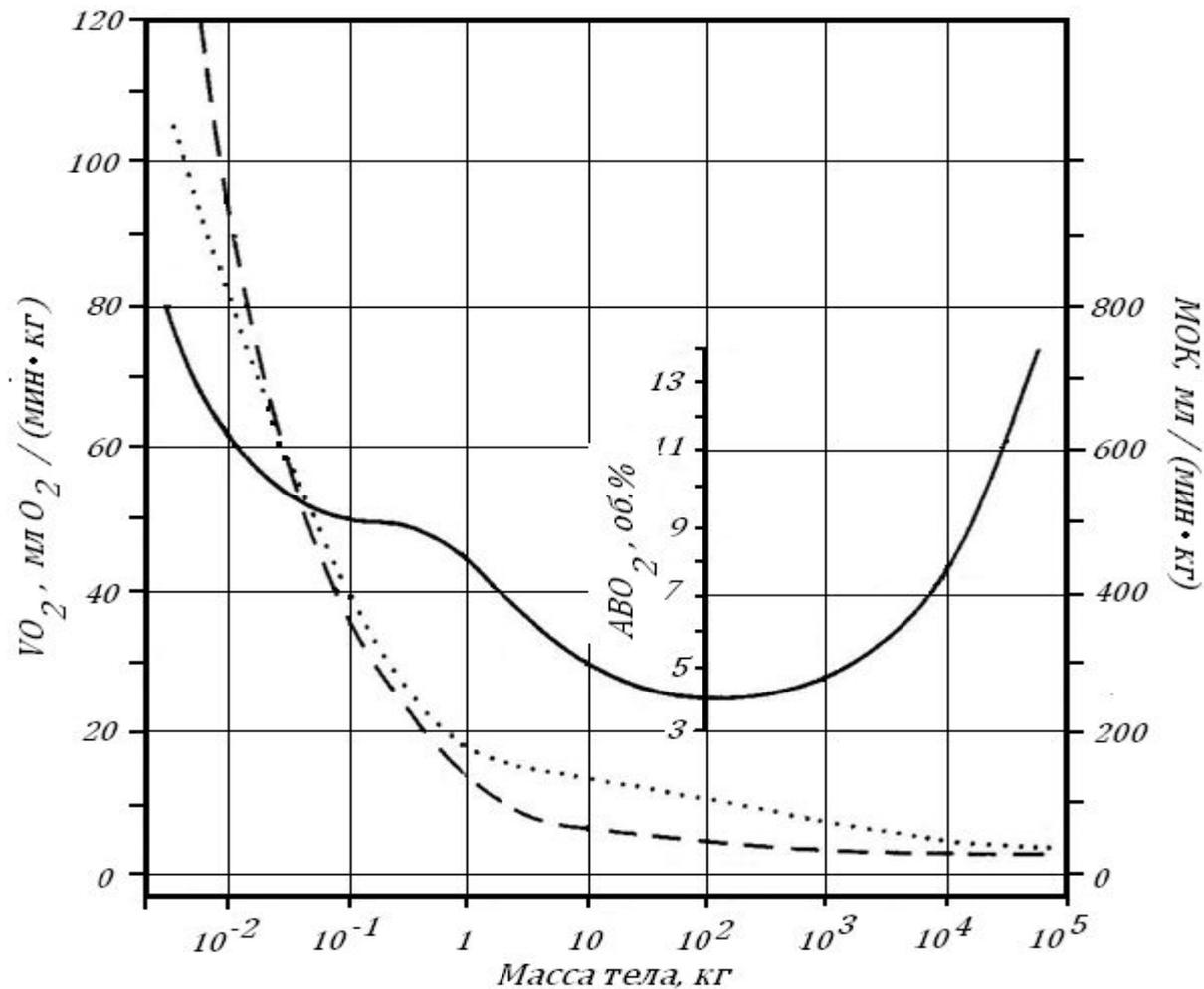


Рис. 24. Зависимость скорости потребления кислорода (VO_2 - штрих), минутного объема кровообращения (МОК - точки) и артерио-венозной разницы кислорода (ABO_2 – сплошная линия) от массы тела у млекопитающих в состоянии их естественного покоя [74, 75].

**Количество вещества, оставшееся в органе
после протекания по нему крови,
равно произведению
объемной скорости органного кровотока
и артерио-венозной разницы
концентраций этого вещества.**

*Применительно к кислороду и всей кровеносной
системе:*

$$VO_2 = МОК \cdot AVO_2 \text{ (системная),}$$

из чего следует

$$\text{Системная } AVO_2 = VO_2 / МОК$$

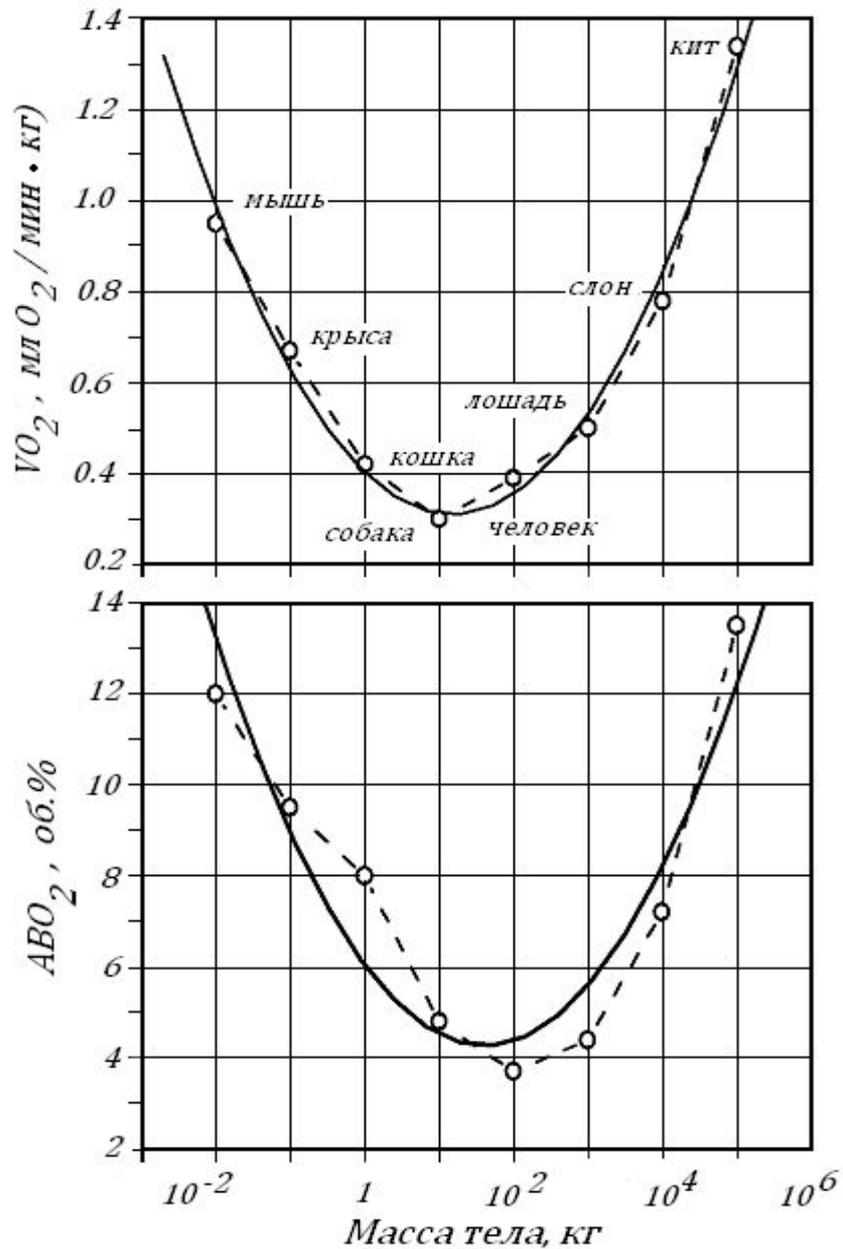


Рис. 25. Параболическая зависимость
Скорости потребления кислорода
 -0.25
(вверху VO_2 рассчитана на M_t)
и артерио-венозной разницы кислорода
(внизу AVO_2) от M_t млекопитающих
в состоянии их естественного покоя [74, 75].

Пунктирная линия проведена по
средним величинам обоих показателей
на рис. 24, причем величина VO_2
 -0.25
Пересчитана на M_t (кг)

**Повышение скорости окислительного
метаболизма у мелких теплокровных
обусловлено их усиленной теплопродукцией
из-за охлаждающего влияния среды.**

**Повышение этого метаболизма в сторону
крупных животных можно объяснить
влиянием сил гравитации на их ткани.**

**Среди млекопитающих
наименьшее влияние среды
на окислительный метаболизм в покое
испытывают животные с Мт 10–100 кг.**

**У них в покое
наименьший уровень кислородного запроса
и самая низкая системная $\dot{A}VO_2$.**

**Поэтому резервы их сердечно-сосудистой системы
наибольшие.**

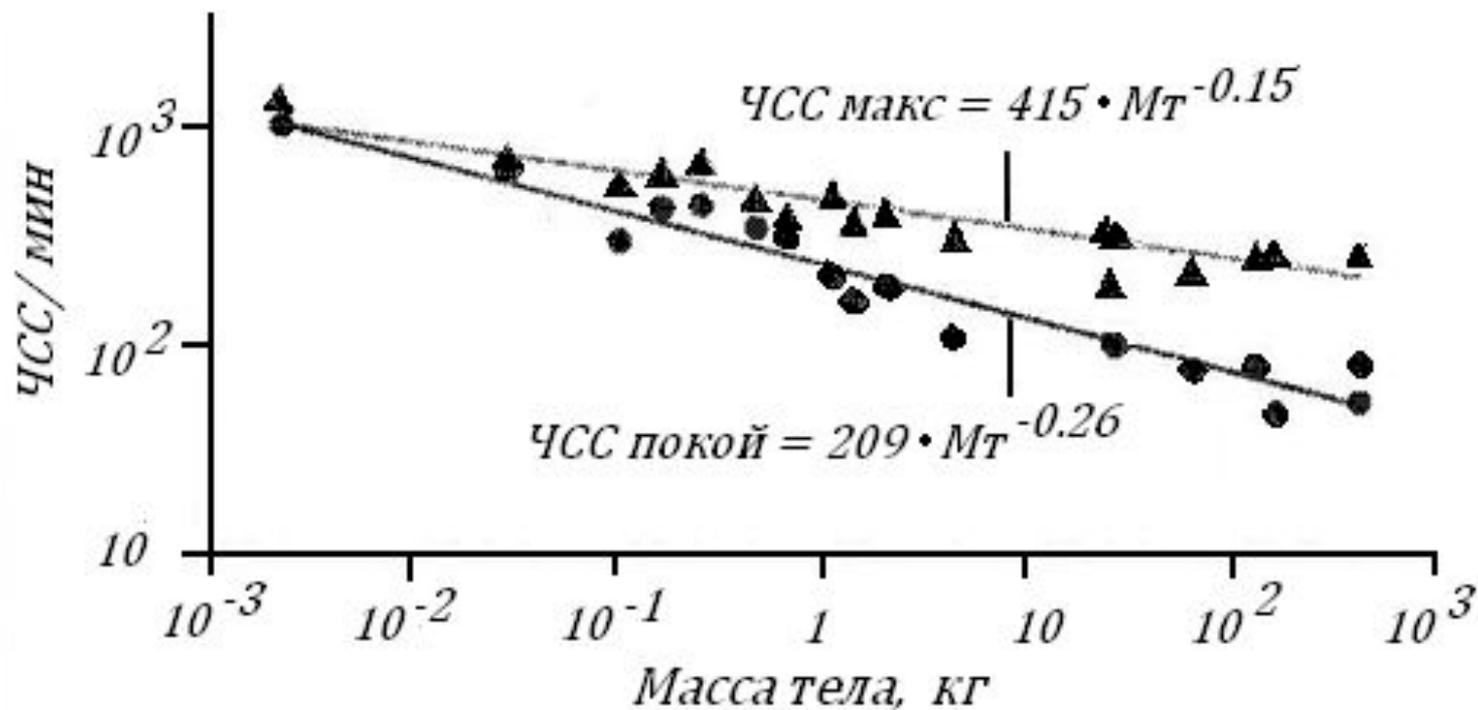


Рис. 26. Зависимость спокойной (круги) и максимальной (треугольники) частоты сердечных сокращений от M_T млекопитающих [105]:

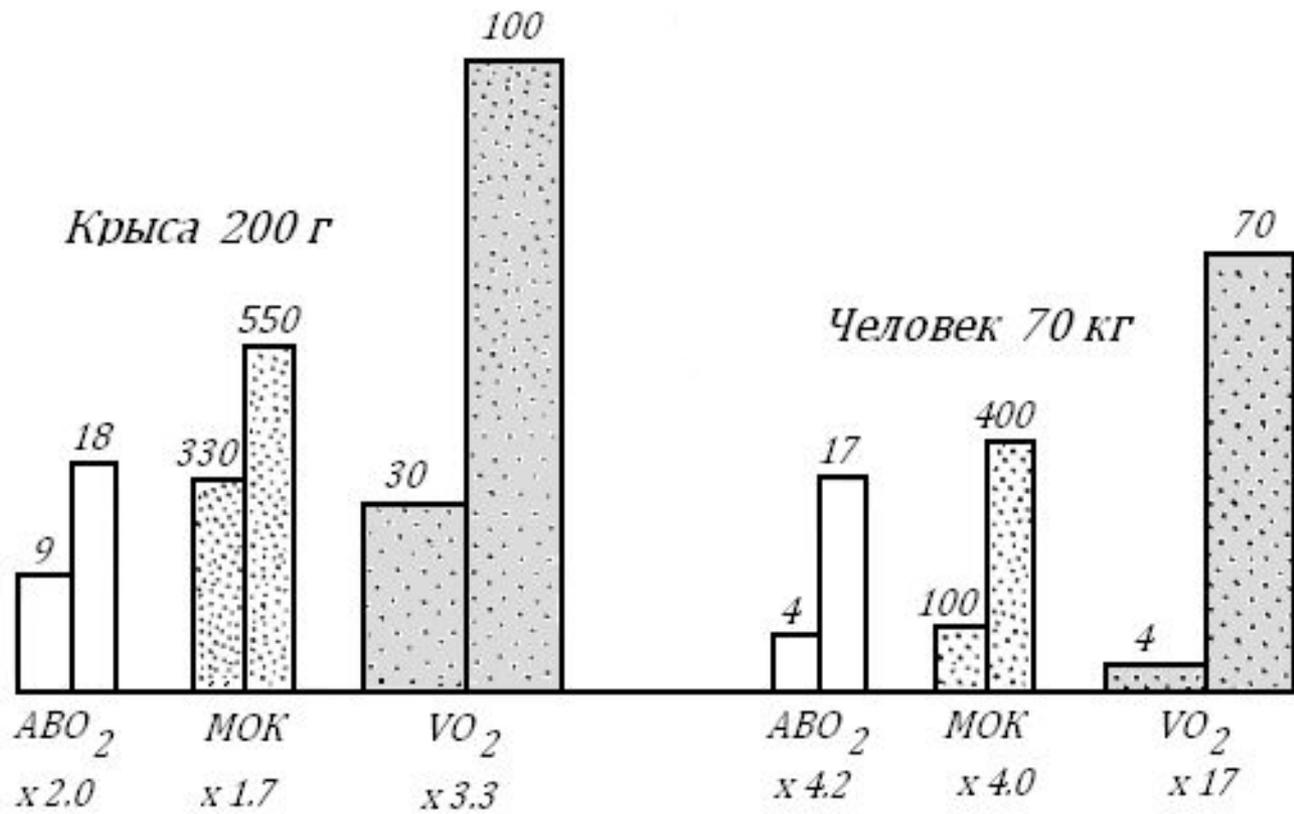


Рис. 27. Системная АВО₂ (об.%), МОК [мл / (мин × кг)], и скорость окислительного метаболизма [мл О₂ / (мин × кг)] (расчеты) [74, 75].

**У всех птиц
повседневные затраты энергии
(«энергия существования»)
при любой T среды обитания,
в 2,3 раза больше их БМ,
который пропорционален $M T^{0.72}$**

**Если в процессе адаптации и видообразования
птице необходимо дольше летать,
то адаптация к этому виду деятельности
пойдет по пути экономии энергии при полете
(а полет требует 12 БМ);
при этом суточный расход энергии
(энергия существования)
сохраняется неизменным.**

**Это явление – поддержание постоянным
суточного расхода энергии – отражает
фундаментальную закономерность
в живой природе.**

**Оно было замечено и на млекопитающих
(Brody, 1945)**

**«Энергия существования» у млекопитающих
возможно, близка к 2.3 БМ.**

**У млекопитающих
«энергия существования»
также может быть равной 2.3 БМ.**

**Как учитывать эту закономерность
для современного человека?**

**Его образ жизни резко отличается
от образа жизни животного, птицы и древнего человека,
который каждодневно боролся с холодом и голодом.**

**Если БМ современника остался прежним,
то «энергия существования»
должна существенно измениться
и стать меньше, чем 2.3 БМ.**

Таблица 10

Энергетические затраты при различных формах физической активности [26]

Затраты времени при профессиональной деятельности	Женщины		Мужчины	
	ккал в мин	кратность к БМ	ккал в мин	кратность к БМ
Легкая работа: 75% сидя и стоя 25% стоя или в движении	1.56	1.7	1.99	1.7
Умеренная работа: 25% сидя и стоя 75% профессиональная активность	2.03	2.2	3.16	2.7
Тяжелая работа: 40% сидя и стоя 60% профессиональная активность	2.54	2.8	4.45	3.8

БМ, ккал/мин: у женщин 0.9, у мужчин 1.16.

Европейцы: женщина 19-22 г, Мт 55 кг, рост 163 см

мужчина 19-22 г, Мт 70 кг, рост 177 см.

Задача 10. Найти энерготраты в условиях (Мт, кг)

$$\text{БМ} = 11.3 \cdot \text{Мт}^{0.75}, \text{ мл } \text{O}_2 / \text{МИН}$$

$$\text{БМ} = 11.3 \cdot \text{Мт}^{-0.25}, \text{ мл } \text{O}_2 / (\text{МИН} \times \text{КГ})$$

$$\text{ММ} = 115 \cdot \text{Мт}^{0.81}, \text{ мл } \text{O}_2 / \text{МИН}$$

$$\text{ММ} = 115 \cdot \text{Мт}^{-0.19}, \text{ мл } \text{O}_2 / (\text{МИН} \times \text{КГ})$$

у мыши 10 г, человека 60 кг и у слона 3 т

$\text{Мт}^{0.75}$:	0.032 кг,	21.6 кг	405 кг
$\text{Мт}^{0.81}$:	0.024 кг	27.6 кг	655 кг .
$\text{Мт}^{-0.25}$:	3.16 кг	0.36 кг	0.135 кг
$\text{Мт}^{-0.19}$:	2.4 кг	0.46 кг	0.218 кг .

Решение задачи 10 : в 1 мин

Мышь **БМ = 36 мл O₂/ кг,**

ММ = 276 мл O₂/ кг

Человек **БМ = 4.1 мл O₂/ кг**

ММ = 53 мл O₂/ кг

Слон **БМ = 1.5 мл O₂/ кг**

ММ = 25 мл O₂/ кг

Решение задачи 10.

		Мышь 10 г	Человек 60 кг	Слон 3 т
мл 02 /мин:	БМ	0.36	244	4 576
	ММ	2.76	3 174	75 325
мл 02 /(мин x кг):	БМ	35.7	4.07	1.53
	ММ	276	52.9	25.1

Задача 11. Сколько истратил человек в сутки

(мл O₂ и ккал)?

M_T = 55 кг. 1 ккал = 208 мл O₂

5 ч сидел – 4 мл O₂ / (мин·кг M_T)

4 ч ходил - 8 мл O₂ / (мин·кг M_T)

1 ч бегал - 40 мл O₂ / (мин·кг M_T)

Остальное время БМ = 11,3 · M_T^{0.75} (мл O₂ /мин).

55^{0.75} кг = 2.2 кг.

Решение задачи 11

БМ: $10 \cdot 60 \times (11.3 \cdot 2.2) = 14916$ мл O₂ = 15 л O₂ или 72 ккал (5%)

Сидел: $4 \cdot 60 \cdot 5 \cdot 55 = 66\,000$ мл O₂ = 66 л O₂ или 317 ккал (21%)

Ходил: $8 \cdot 60 \cdot 4 \cdot 55 = 105\,600$ мл O₂ = 106 л O₂ или 508 ккал (33%)

Бегал 1 ч: $40 \cdot 60 \cdot 55 = 132\,000$ мл O₂ = 132 л O₂ или 635 ккал (41%)

Всего 319 л O₂ или 1532 ккал (100%)

Задача 12. Найти системную артерио-венозную разницу O_2 (AVO_2),
используя уравнение Фика: $VO_2 = MOK : AVO_2$.

Известно	M_T	VO_2 , мл O_2 / (мин • кг)	MOK , мл / (мин • кг)
	10 г и 100 кг	84 и 4	1000 и 110

Решение задачи 12.

Из уравнения Фика системная $A_{VO_2} = V_{O_2} / M_{O_2}$

$$M_T = 10 \text{ г: } 84 \text{ [мл } O_2 \text{ / (мин} \cdot \text{ кг)]} / 1000 \text{ [мл / (мин} \cdot \text{ кг)]} = 84 / 1000 = 8.4 \text{ об.}\%$$

$$M_T = 100 \text{ кг: } 4 \text{ [мл } O_2 \text{ / (мин} \cdot \text{ кг)]} / 110 \text{ [мл / (мин} \cdot \text{ кг)]} = 3.6 / 100 = 3.6 \text{ об.}\%$$