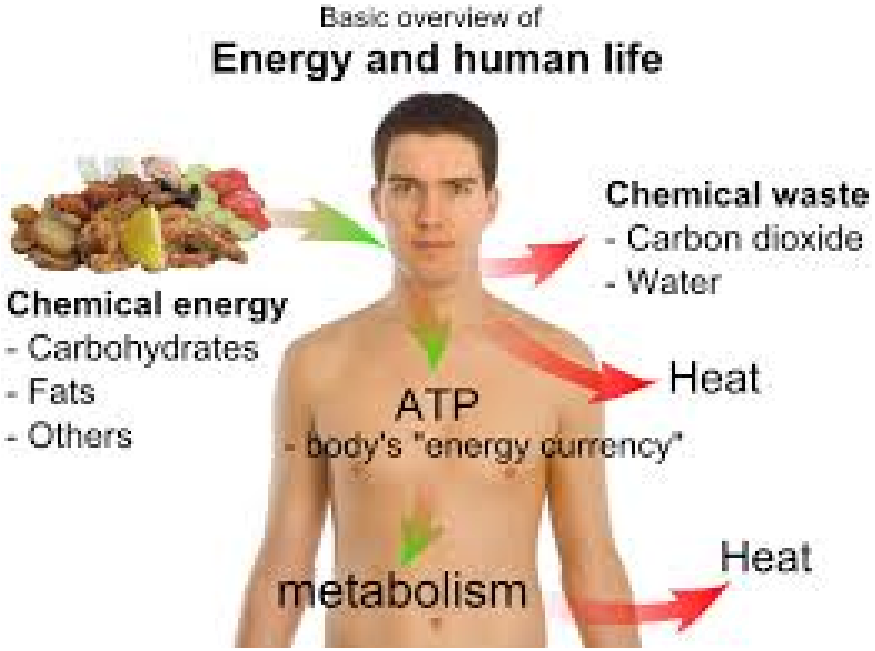
بسمه تعالی

درس فیزیک پزشکی

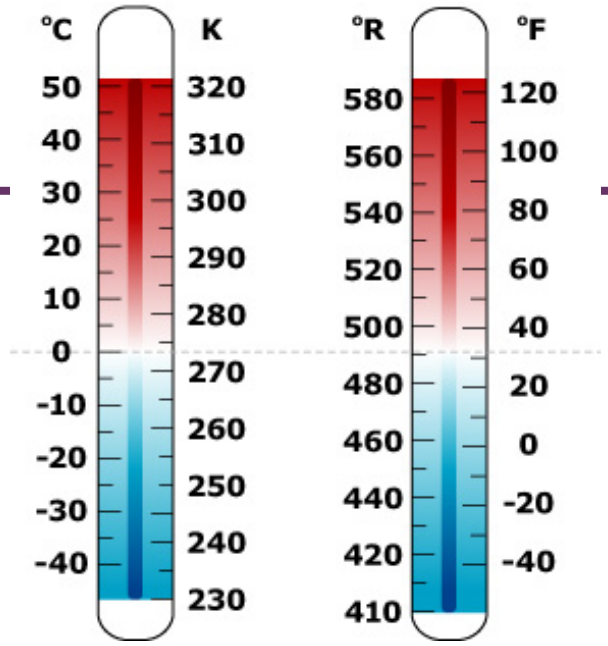
گرما و انرژی

سیلابس فصل دوم

مروری بر واحدهای دما و انرژی و توان
سیستم ترمودینامیکی بدن
تنظیم دمای بدن و مکانیزمهای دفع حرارت از بدن
استفاده از گرما در پزشکی
استفاده از سرما در پزشکی



واحدهای دما



واحدهای اصلی
- درجه سلسیوس(سانتیگراد) $°C$
- درجه فارنهایت $°F$

دمای مطلق
- کلوین K
- رنکین $°R$

$$°F = 1.8°C + 32$$

$$K = °C + 273.15$$

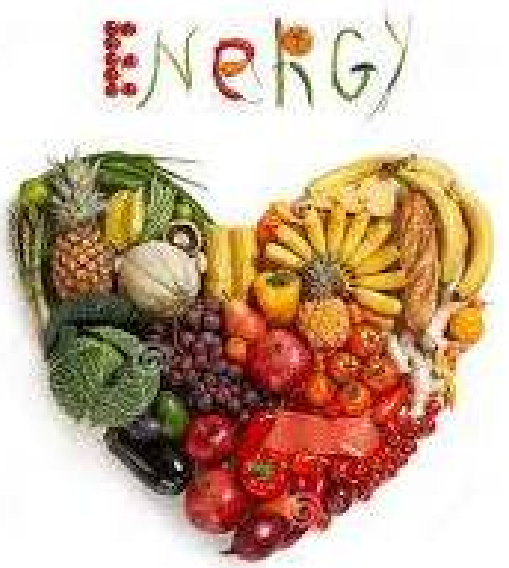
$$°R = °F + 459.67$$

دمای جوش آب: $100\,°C : 212\,°F$

دمای انجماد آب: $0\,°C : 32\,°F$

دمای طبیعی بدن: $37\,°C : 98.6\,°F$

واحدهای انرژی و توان



واحدهای اصلی

- انرژی: نیوتن متر(ژول) **J**
- توان: ژول بر ثانیه (وات) **W**- اسب بخار **hp**

واحدهای مورد استفاده برای غذا

- انرژی: کیلوکالری **kcal**
- توان: کیلوکالری بر ساعت **kcal/h**

تبدیل واحدهای انرژی و توان

Energy:

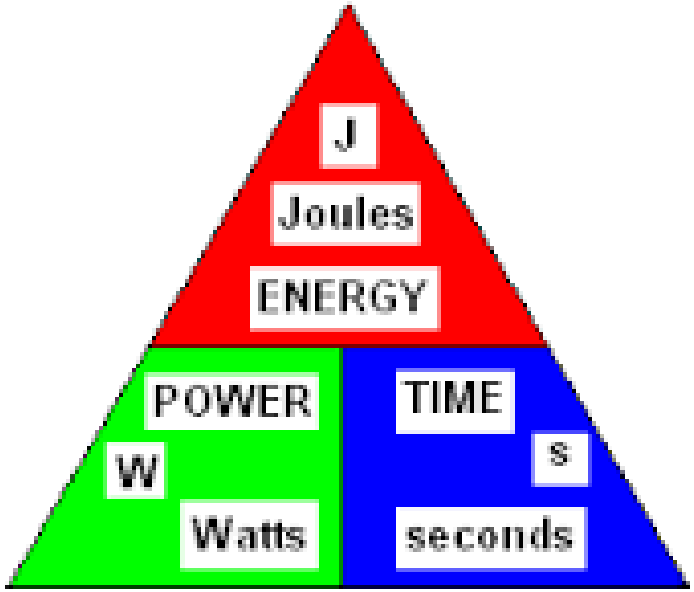
1 kcal = 4184 J

Power:

1 W = 1 J/s

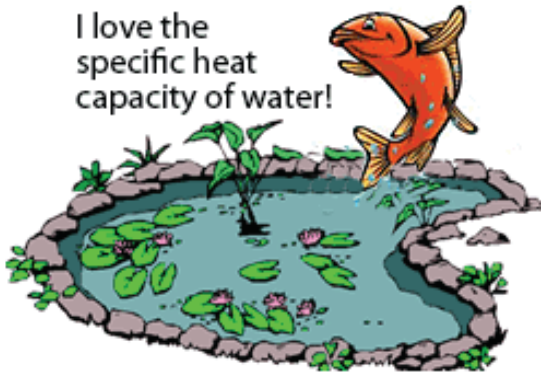
1 kcal/h = 1.162 W

1 hp = 746 W = 642 kcal/h



ظرفیت حرارتی بدن

ظرفیت حرارتی مخصوص: گرمای مورد نیاز برای افزایش یک درجه سانتیگراد در دمای واحد جرم جسم



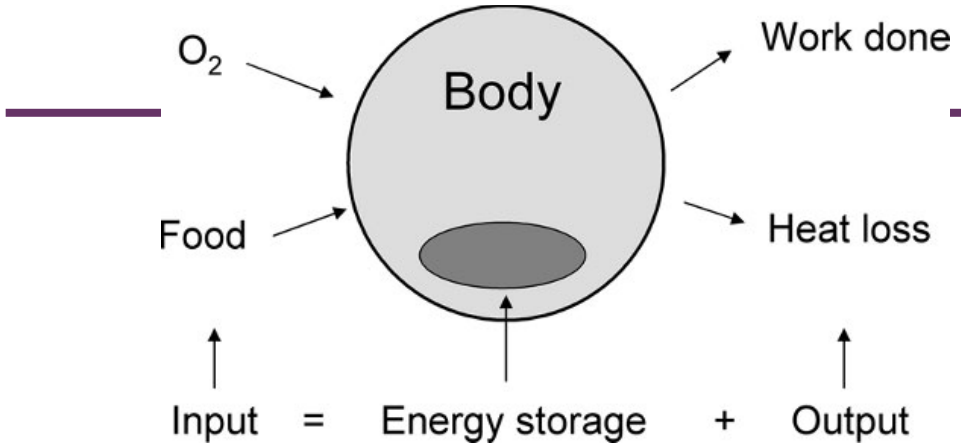
ظرفیت حرارتی مخصوص آب: $1\frac{cal}{gr.°C}$

ظرفیت حرارتی مخصوص بدن : $0.83\frac{cal}{gr.°C}$

شخصی به جرم ۱۰۰ کیلوگرم یک تکه نان به ارزش انرژی ۸۳ کیلوکالری می‌خورد. دمای بدنش چقدر بالا می‌رود؟

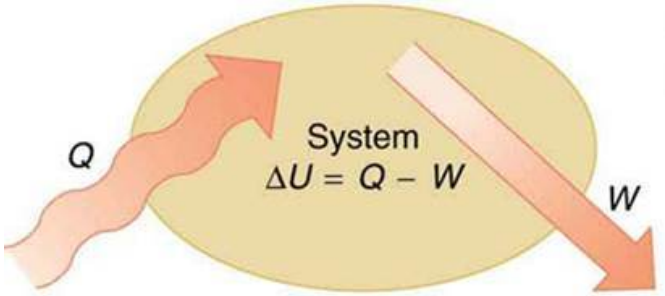
بدن انسان مانند یک سیستم ترمودینامیکی

بقای انرژی در بدن



انرژی خروجی + انرژی ذخیره شده(چربی) = انرژی ورودی

قانون اول ترمودینامیک



کارخروجی- گرمای ورودی=تغییرات انرژی

$$\Delta U = Q - W$$

$$\Delta U = Q_{met} + Q_{loss} - W$$

$$\frac{dU}{dt} = \frac{dQ_{met}}{dt} + \frac{dQ_{loss}}{dt} - \frac{dW}{dt}$$

سوختن (اکسیداسیون) گلوکز (کربوهیدرات)

گلوکز اکسیژن دی اکسیدکربن آب انرژی

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \rightarrow 6CO_2 + 6H_2O + 686\,\text{kcal.}$$

1 mole + 192 gr = 264 gr + 108 gr + 686 kcal

کیلوکالری انرژی آزاد شده به ازای هر گرم سوخت مصرفی: 3.8 kcal/gr(glucose)

کیلوکالری انرژی آزاد شده به ازای هر لیتر اکسیژن مصرفی: 5.1 kcal/L(O_2)

حجم اکسیژن مصرفی به ازای هر گرم سوخت: 0.75 L(O_2)/gr(glucose)

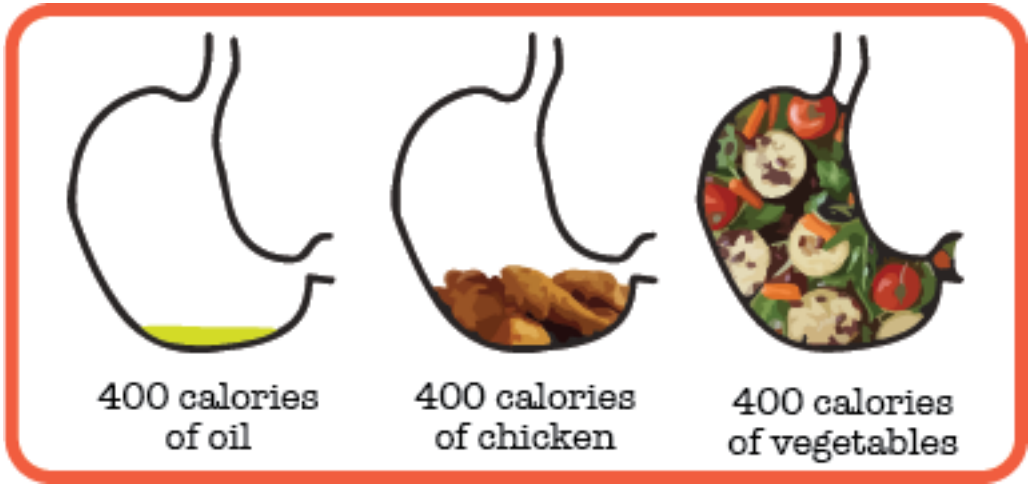
حجم دی‌اکسیدکربن تولیدی به ازای هر گرم سوخت: 0.75 L(CO_2)/gr(glucose)

Respiratory Exchange Ratio (نسبت تبادل تنفسی) 1L(CO_2)/L(O_2)

NO

انرژی سوخت و ساز (متابولیسم) غذاها

food	net caloric value (kcal/g)	bomb calorimetry energy (kcal/g)	calorific equivalent (kcal/L O_2)	CO_2 production (kcal/L CO_2)	RER (L CO_2/L O_2)
carbohydrate	4.02	4.10	5.05	5.05	1.0
protein	4.20	5.65	4.46	5.57	0.80
ethanol	7.00	7.10	4.86	7.25	0.67
fat	8.98	9.45	4.74	6.67	0.71



NO

شمارش کالری برای رژیم و ورزش

۵ کیلو اضافه وزن!

بررسی میزان کالری ورودی به بدن و انرژی خروجی از بدن

شمارش کالری غذاها برای تعیین مقدار غذا خوردن
تعیین مقدار ورزش به عنوان انرژی خروجی

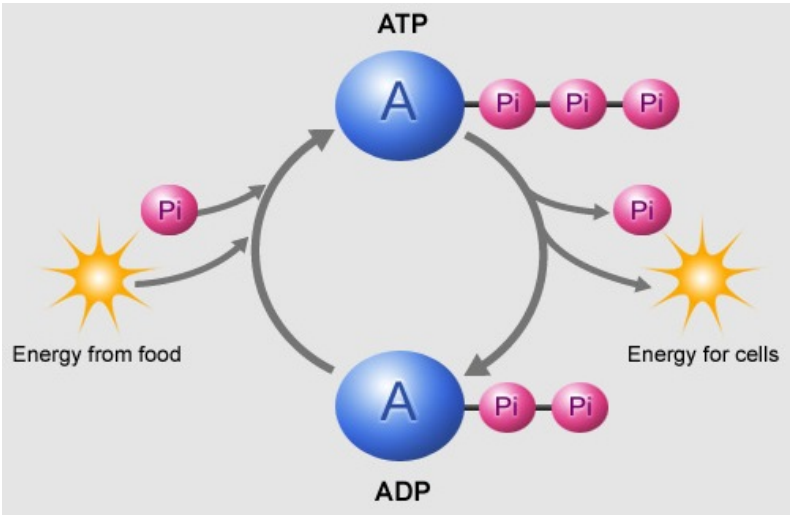
مکانیزم ذخیره انرژی در بدن

انرژی غذای ورودی به بدن در مولکول ATP ذخیره می شود

ADP + energy = ATP

انرژی مورد نیاز بدن از شکستن گروه فسفاتی مولکول ATP تأمین می شود

ATP = energy + ADP



چرا استفاده از ATP ؟

استفاده از ATP قابل کنترلتر است

واحد انرژی ATP کوچک و مناسب است

1 mole glucose : 30-32 mole ATP

ATP: Adenosine triphosphate

ADP: Adenosine diphosphate

مکانیزم تأمین انرژی بدن

بدون نیاز به اکسیژن: بی هوازی anaerobic

سیستم فسفاژن: استفاده از ATP موجود در اطراف سلول یا کراتنین فسفات برای تولید ATP (حدود ۱۰ ثانیه اول فعالیت)

سیستم گلیکولیز: تبدیل گلوکز ذخیره شده در ماهیچه ها به لاکتیک اسید بدون نیاز به اکسیژن با فرایندهای پیچیده شیمیایی (فعالیتهای سنگین و شدید همراه با کمبود اکسیژن مانند کشتی، دوی سرعت)

با اکسیژن: هوازی aerobic

سوختن کربوهیدرات (گلوکز): سوختن با اکسیژن و تولید دی اکسیدکربن و آب و مولکول ATP (فعالیت های مداوم مانند پیاده روی، کوهنوردی)

نرخ متابولیسم پایه
Basal Metabolic Rate(BMR)

متابولیسم پایه: حداقل میزان سوخت و ساز در انسان بیدار و در حال استراحت بدون فعالیت بدنی

m_{body}=70 kg ⟹ BMR=70 kcal/h=81 W

نرخ متابولیسم پایه ارگانهای بدن

system	percentage of BMR	met. rate (kcal/min)	organ mass (kg) for a 65 kg man
liver and spleen	27	0.33	–
brain	19	0.23	1.40
skeletal muscle	18	0.22	28.0
kidney	10	0.13	0.30
heart	7	0.08	0.32
remainder	19	0.23	–
		sum = 1.22	

روش اندازه گیری BMR؟؟؟

نرخ متابولیسم پایه

Kleirber's Law

$$BMR = cm_b^{3/4}$$

$$c = 90\ kcal/(kg^{3/4}.day)$$

BMR تابعی از وزن، قد، سن، جنسیت و دمای بدن شخص می باشد

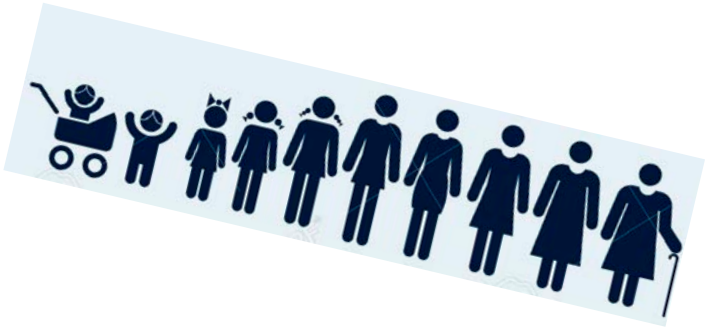
مرد: $BMR = 66.4730 + 13.7516m_b + 5.0033H - 6.75505Y$

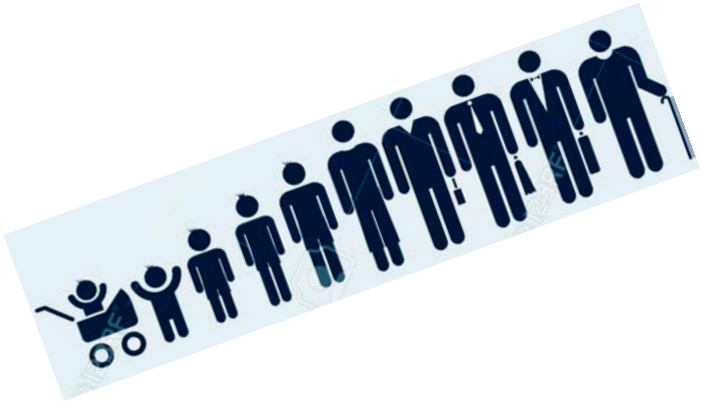
زن: $BMR = 655.0955 + 9.5634m_b + 1.8496H - 4.6756Y$

BMR: kcal/day, m_b:kg, H: cm, Y: year

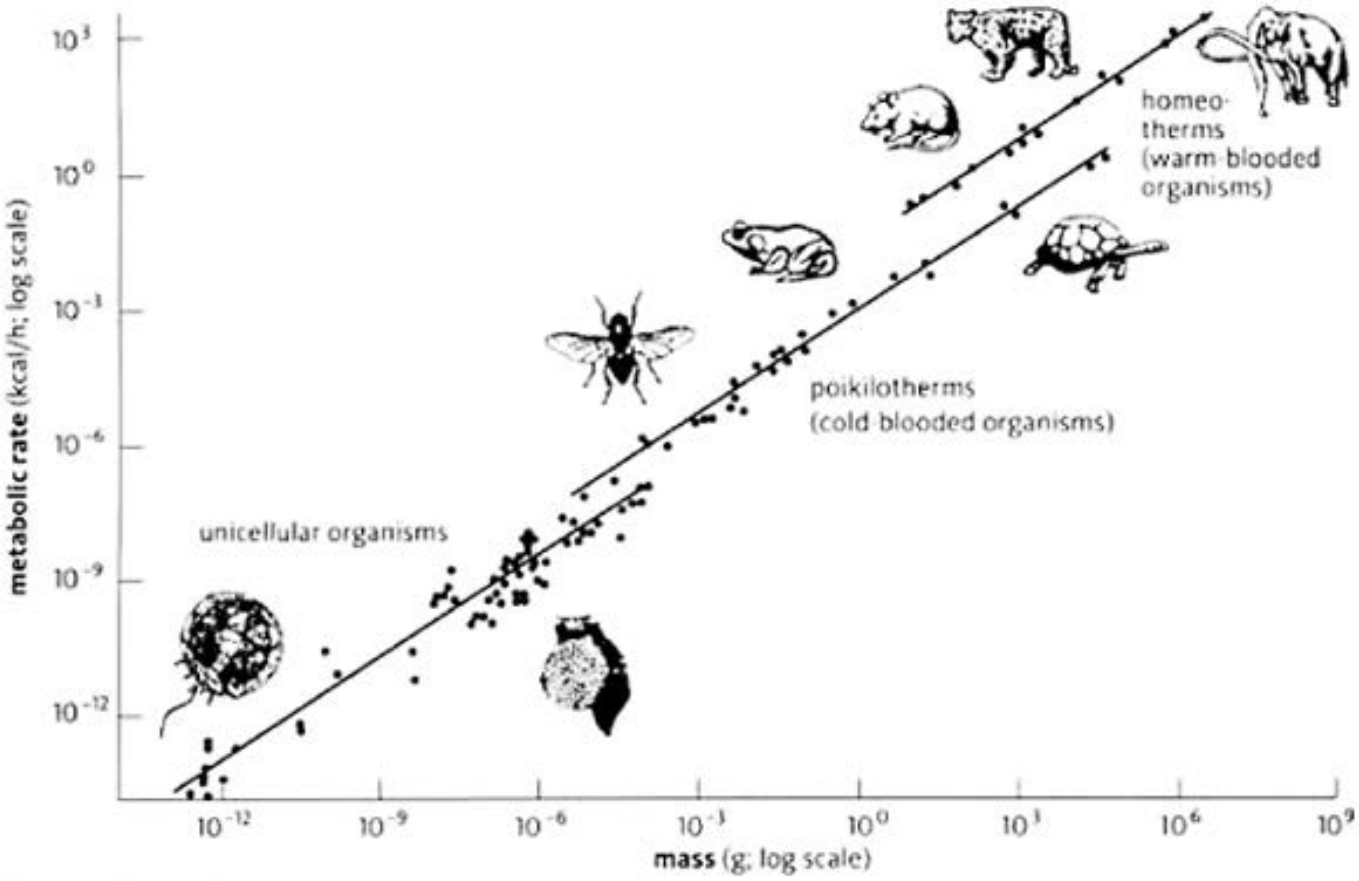
نرخ متابولیسم پایه تابعی از سن و جنسیت

age group (years)	BMR (males)	BMR (females)
Under 3	$59.5m_b - 30$	$58.3m_b - 31$
3–10	$22.7m_b + 504$	$20.3m_b + 486$
10–18	$17.7m_b + 658$	$13.4m_b + 693$
18–30	$15.1m_b + 692$	$14.8m_b + 487$
30–60	$11.5m_b + 873$	$8.1m_b + 846$
Over 60	$11.7m_b + 588$	$9.1m_b + 658$





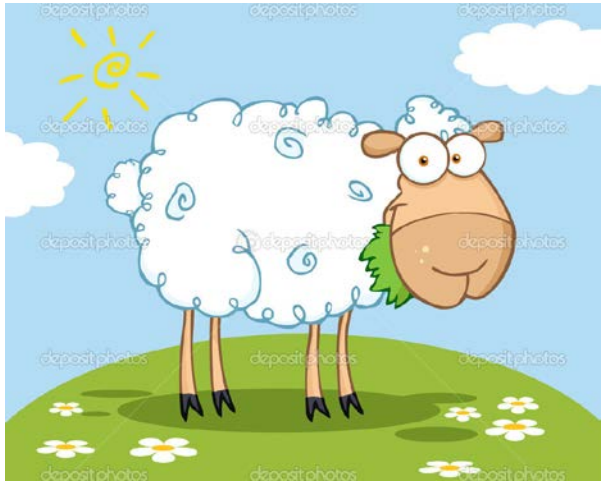
نرخ متابولیسم پایه تابعی از جرم بدن جانوران



NO

تغذیه روزانه جانوران

مثال



گوسفند روزانه چقدر غذا نیاز دارد؟
پارامترهای مورد بررسی؟؟؟

NO

نرخ متابولیسم در فعالیتهای مختلف فرد ۷۰ کیلوگرمی

متابولیسم پایه + متابولیسم ناشی از فعالیت بدنی

activity	equivalent heat production (kcal/h)	equivalent heat production (W)	O_2 consumption (L/min)
very low level activity			
sleeping	71	83	0.24
sitting at rest	103	120	0.34
standing relaxed	108	125	0.36
light activity			
walking slowly, 5 km/h	228	265	0.76
moderate activity			
cycling, 15 km/h	344	400	1.13
moderate swim	400	465	1.32
heavy activity			
soccer	500	580	1.65
quite heavy activity			
climbing stairs, 116 steps/min	589	685	1.96
cycling, 21 km/h	602	700	2.00
basketball	688	800	2.28
extreme activity			
racing cyclist	1,400	1,600	4.62

نحوه محاسبه نرخ متابولیسم با اندازه گیری اکسیژن مصرفی؟؟؟

NO

مقایسه فعالیتهای مختلف
Metabolic Equivalent Task (MET)

نرخ متابولیسم مرجع × MET = نرخ متابولیسم

MET در فعالیتهای معمولی روزانه = ۱/۵

نرخ متابولیسم مرجع = 1 kcal/kg.h

Physical activity	MET
Light intensity activities	**< 3**
sleeping	0.9
watching television	1.0
writing, desk work, typing	1.8
walking, 1.7 mph (2.7 km/h), level ground, strolling, very slow	2.3
walking, 2.5 mph (4 km/h)	2.9
Moderate intensity activities	**3 to 6**
bicycling, stationary, 50 watts, very light effort	3.0
walking 3.0 mph (4.8 km/h)	3.3
calisthenics, home exercise, light or moderate effort, general	3.5
walking 3.4 mph (5.5 km/h)	3.6
bicycling, <10 mph (16 km/h), leisure, to work or for pleasure	4.0
bicycling, stationary, 100 watts, light effort	5.5
Vigorous intensity activities	**> 6**
jogging, general	7.0
calisthenics (e.g. pushups, situps, pullups,jumping jacks), heavy, vigorous effort	8.0
running jogging, in place	8.0
rope jumping	10.0

NO

محاسبه نرخ متابولیسم در فعالیتهای بدنی

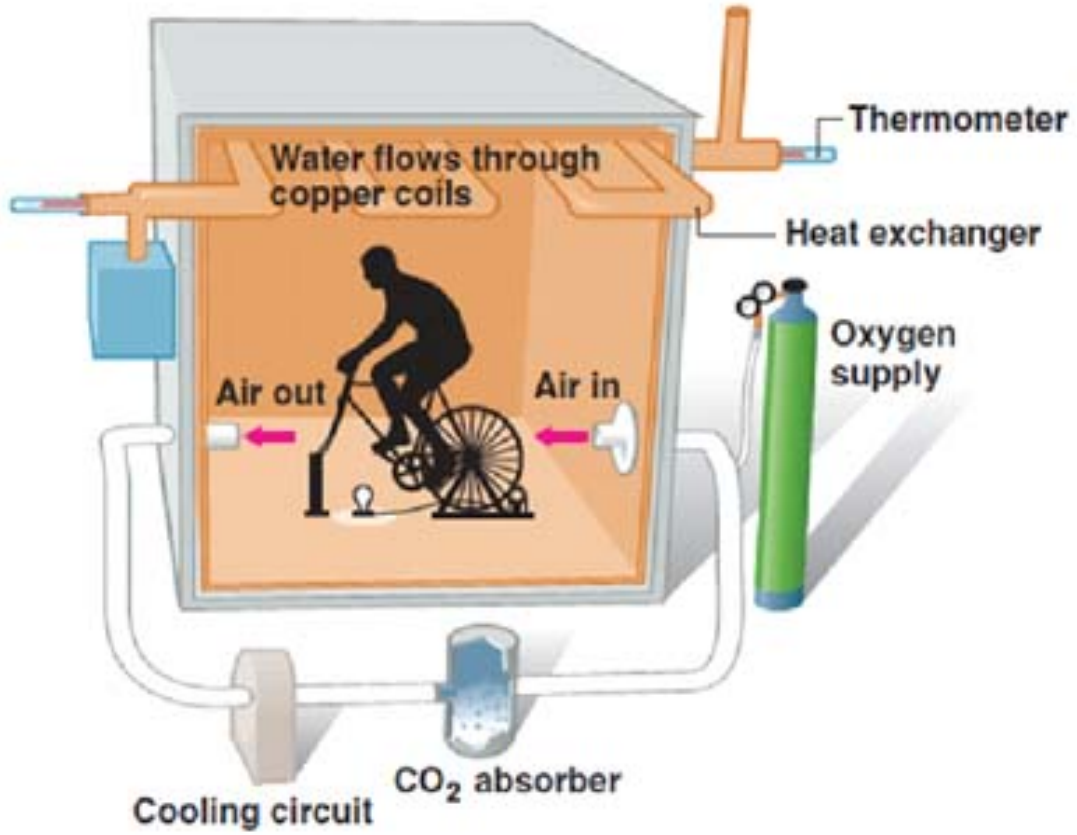
مثال

انرژی مصرفی حین 20 km دوچرخه سواری؟

کالریمتری

کالریمتری مستقیم(direct or bomb calorimetry)

اندازه گیری حرارت دفع شده از بدن معادل با ٪۶۰ نرخ متابولیسم بدن



کالریمتری

کالریمتری غیرمستقیم(indirect calorimetry)

- اندازه گیری حجم گازهای تنفسی
- معلوم بودن درصد حجمی گازهای مختلف در هوای دم و بازدم
- تعیین میزان اکسیژن مصرفی و دی اکسید کربن تولیدی
- تعیین میزان انرژی آزاد شده
- تعیین میزان کربوهیدرات و چربی سوخته شده

کار و توان

قانون اول ترمودینامیک

$$\Delta U = Q - W$$

$$\Delta U = Q_{met} + Q_{loss} - W$$

$$\frac{dU}{dt} = \frac{dQ_{met}}{dt} + \frac{dQ_{loss}}{dt} - \frac{dW}{dt}$$

کار بیرونی $W_{external} = F.\Delta x$

کار درونی $Q = Q_{met} - Q_{loss}$

به صورت گرما در عضلات ظاهر می شود

توان $P = \frac{W_{external}}{\Delta t} = \frac{F.\Delta x}{\Delta t} = F.V$

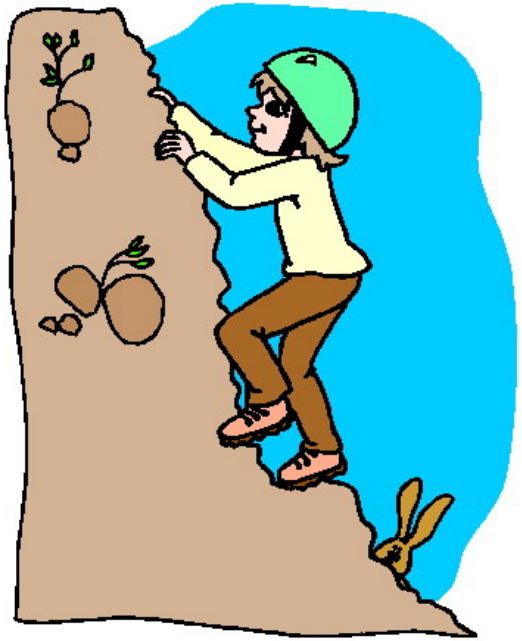
بازده یا کارایی
Efficiency

$$E = \frac{W_{external}}{Metabolic\ \ Energy} = \frac{Power_{external}}{Metabolic\ \ Rate}$$

exercise activity or task	efficiency (%)
cycling, level	24–34
cycling, uphill	19
ice skating	11
rowing	10–20
stepping machine	23
swimming, freestyle	2.9–7.4
walking, horizontal	20–35
walking, incline	21–43

کار و توان
مثال

کوهنوردی با جرم ۷۰ کیلوگرم از کوهی به ارتفاع ۱۰۰۰ متر در مدت ۳ ساعت بالا رفته است. کار خارجی، توان، متابولیسم، بازده و میزان گرمای تولیدی را محاسبه نمایید.



کار و توان
مثال

فردی با جرم ۷۰ کیلوگرم در یک پرش بلند در مدت ۱ ثانیه به ارتفاع ۰/۵ متر می پرد. اگر بازده فعالیت او ٪۳۰ باشد، توان و نرخ متابولیسم او چندMET است؟