



Departamento de Biologia Animal

Nutrição & Saúde

Aula teórico/prática

23 Janeiro 2019

Cálculos Metabólicos

- Metabolismo, massa corporal e Lei de Kleiber
- BMR e equação de Harris-Benedict
- Estimativa do dispêndio de energia durante exercício (equações ACSM)

Medidas da Metabolismo

- Calorimetria Directa:
 - Produção de calor
- Calorimetria Indirecta:
 - Ingestão de alimentos e produtos de excreção
 - Radioisótopos
 - Respirometria, trocas gasosas

Calorimetria Indirecta

- Antes da sua morte na guilhotina em 1794, **Lavoisier** já tinha descoberto que alimentos, temperatura e trabalho são os principais factores que influenciam a quantidade de energia que as pessoas gastam na vida do dia-a-dia.
- Lavoisier realizou estas notáveis observações através de uma técnica conhecida como **calorimetria indirecta**
- Lavoisier estimou a taxa a que uma pessoa usa energia (medida em kilocalorias ou kilojoules) indirectamente, estudando as alterações de oxigénio e dióxido de carbono no ar que uma pessoa respira.
- Como o oxigénio é um material básico para o metabolismo, e o dióxido de carbono um produto de excreção, a razão de volumes entre estes dois gases no ar expirado revela a taxa à qual cada um metaboliza, e assim consome energia

- O grande avanço seguinte na medição do metabolismo surgiu com o desenvolvimento de um calorímetro de corpo-integral (whole-body calorimeter) por Max von Pettenkofer e Carl von Voit nos anos 1860s
- Como o próprio nome implica, estes são grandes câmaras nas quais uma pessoa pode permanecer horas ou mesmo dias
- Versões melhoradas capazes de medir simultaneamente perda de calor e consumo de oxigénio permitiram a Max Rubner (estudando cães nos anos 1880s) e a Wilbur Atwater e Francis Benedict (estudando os seus estóicos técnicos de laboratório nos anos 1890s) demonstrar conclusivamente que o metabolismo nos animais obedece às leis físicas da combustão e termodinâmica.
- Calorímetros modernos são totalmente automatizados e computadorizados, mas os princípios básicos são essencialmente os mesmos.

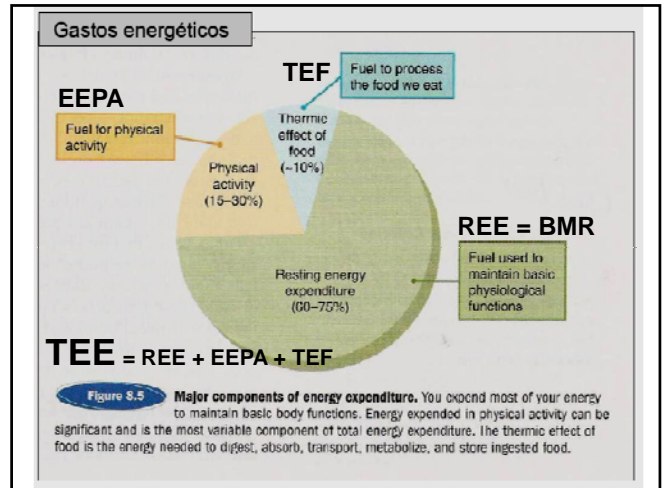
Whole-body calorimeter



Energia aproximada gasta nos diferentes órgãos nos adultos

RMR – Resting Metabolic Rate

Órgãos	% de RMR
Fígado	29
Cérebro	19
Coração	10
Rins	7
Músculo esquelético (em repouso)	18
Restantes órgãos	17
Total	100



Componentes do metabolismo mínimo

Os dois processos mais importantes contribuindo para as necessidades energéticas são:

- Actividade da Na^+, K^+ -ATPase (bomba de sódio)
- Rotatividade proteica (= protein turnover)
(envolve quer a síntese quer a degradação de proteínas)

Um terceiro processo importante contribuindo para o gasto de energia é:

- Ciclo de substratos (= substrate cycling)
(vias bioquímicas enzimaticamente catalizadas envolvidas na oxidação de metabólitos)

Outros processos consumidores de energia contribuindo para o metabolismo mínimo

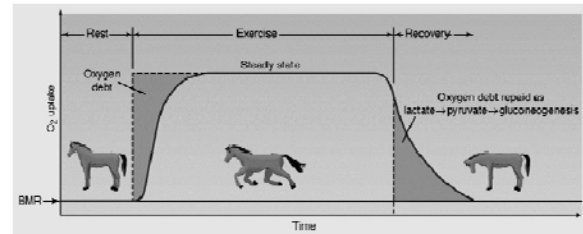
- Rotatividade dos ácidos nucleicos
- Biossíntese de ureia.

Estes custos energéticos adicionais são proporcionalmente menores quando comparados com os da síntese proteica e da bomba de sódio

Energia consumida

A maior parte de energia que nós geramos é consumida pelas funções biológicas desempenhadas pelo organismo para realizar as funções metabólicas vitais. A energia assim consumida é denominada **energia de repouso basal** (do inglês "resting energy expenditure" REE). A velocidade metabólica basal ou velocidade metabólica em repouso refere-se à energia gasta num período de 24 horas. A **velocidade de metabolismo basal** é a energia dispendida em repouso por hora (BMR – do inglês "basal metabolic rate"). Esta medida por ser mais fácil de obter em termos práticos é mais utilizada que a primeira designação.

Metabolismo basal (BMR, RMR)



Medida estável do metabolismo energético de mamíferos e aves sob condições mínimas de tensão fisiológica (repouso) e ambiental (temperatura) e após jejum (paragem temporária dos processos de digestão e absorção)

Dimensões Corporais e Metabolismo

A dimensão corporal é uma das mais importantes características físicas que afectam a fisiologia de qualquer animal

Efeitos de escala

Como varia um dado parâmetro com a massa corporal?

A forma mais simples de escalonamento:

As dimensões permanecem proporcionais independentemente do tamanho



Isometria

Se considerarmos objectos tridimensionais de diferentes tamanhos mas exactamente com a mesma forma, cubos por simplicidade,

se o comprimento é L , então o volume, V , é L^3 e a área da superfície total, A , dos seis lados é $6L^2$

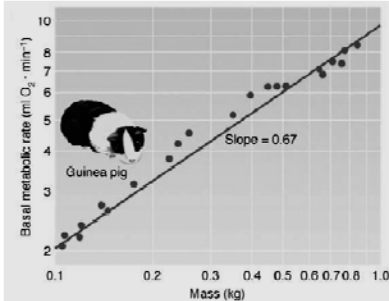
Assim $L = V^{1/3} = (A/6)^{1/2}$

de modo que

$$A \propto V^{2/3}$$

Por isto, se a massa de um cubo é M , e todos os cubos têm a mesma densidade,

$$A \propto M^{2/3}$$

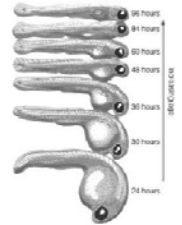


Relação entre metabolismo basal e massa corporal de indivíduos da mesma espécie (adultos de cobaias)

O declive da recta indica que o metabolismo basal é proporcional à massa corporal elevado à potência de 0.67. Assim, **ISOMETRIA** é uma característica de indivíduos adultos da mesma espécie.

Relações alométricas

- Os organismos não crescem isometricamente; as proporções variam com as variações de tamanho.
- O desenvolvimento larvar do peixe zebra mostra que o tamanho da cabeça, e especialmente o dos olhos, varia radicalmente em proporção ao tamanho do corpo à medida que o comprimento deste aumenta.
- Variações semelhantes ocorrem durante o crescimento na maioria dos animais.



No escalonamento **ALOMÉTRICO**, as proporções corporais variam de modo não geométrico

Relações isométricas (geométricas) e alométricas

- Em termos matemáticos tais relações são usualmente tratadas por meio de uma função exponencial da forma

$$y = ax^b$$

onde:

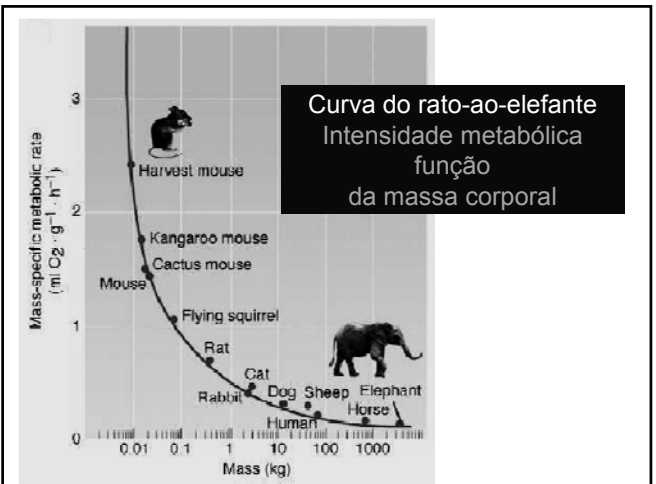
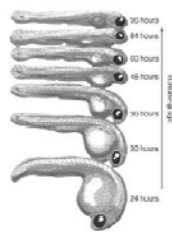
y = tamanho da estrutura num dado estágio,

a = um constante para a estrutura,

x = tamanho do corpo no estágio considerado

b = constante alométrica

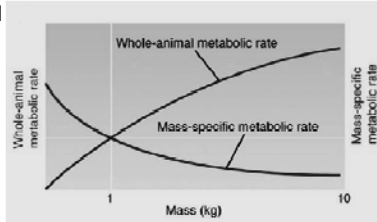
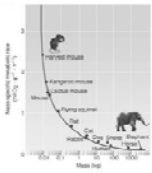
(unidade por crescimento isométrico)



Curva do rato-ao-elefante
Intensidade metabólica
função
da massa corporal

MR: Taxa metabólica basal
M: massa corporal

$$MR = a M^b$$



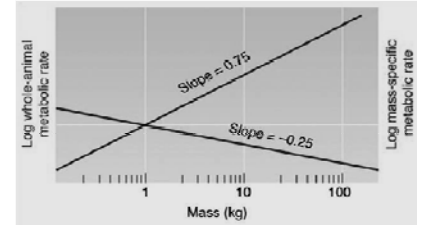
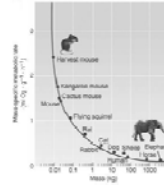
Taxa metabólica massa-específica
(Taxa metabólica da unidade de massa de tecido)

$$\frac{MR}{M} = \frac{a M^b}{M} = a M^{(b-1)}$$

A curva do rato-ao-efeleante: intensidade metabólica vs massa corporal

Taxa metabólica massa-específica

$$MR = a M^b \rightarrow \log MR = \log a + b \log M$$



$$MSMR: \frac{MR}{M} = \frac{a M^b}{M} = a M^{(b-1)} \rightarrow \frac{\log MR}{M} = \log a + (b-1) \log M$$

A curva do rato-ao-efeleante: intensidade metabólica vs massa corporal

A realidade mostra que mamíferos maiores têm intensidades metabólicas menores por unidade de massa corporal que os mamíferos mais pequenos:

- metabolismo, Mb , escala com a massa corporal, M , de acordo com a Lei de Kleiber

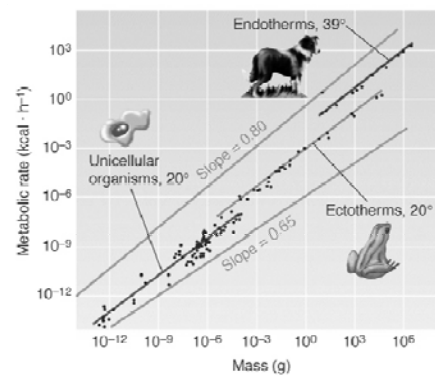
$$Mb \propto M^{3/4}$$

$$\text{e.g., } M = 78 \text{ kg} \rightarrow 78^{0.75} = 26$$

(Metabolic size for live body weight)

- Basal metabolism is a constant for adult homiotherms and can be computed as kcal/day by:

$$70 (W_{kg}^{0.75})$$



Rectas coloridas
Declives de 0.75
(exponente b na equação
 $MR = aM^b$)

Posição vertical de cada grupo relacionada com o coeficiente a na equação

Uma grande variedade de grupos animais (incluindo organismos unicelulares) mostram a mesma relação geral entre metabolismo e massa corporal: declives semelhantes em todos os grupos.

Homens		Mulheres	
Peso (kg)	TMB (kcal/dia)	Peso (kg)	TMB (kcal/dia)
70	1680	50	1250
75	1730	55	1290
80	1790	60	1330
85	1850	65	1370
90	1910	70	1410
95	1960	75	1450
100	2020	80	1500

TAXA METABÓLICA BASAL (TMB): É um mínimo de energia necessária para manter as funções vitais do organismo em repouso (McARDLE e col., 1992). **É indicado não consumir menos calorias que sua TMB** (taxa metabólica basal).

Factores que influenciam o RMR (do inglês "resting metabolic rate") ou velocidade do metabolismo basal

Aumentam	Diminuem
- Aumento do peso corporal e aumento da massa muscular	- Envelhecimento
- Hipertiroidismo	- Jejum ou fastio prolongado
- Febre	- Sono
- Stress	- Hipotiroidismo
- Crescimento rápido	- Género feminino
- Gravidez e aleitamento	
- Determinadas substâncias como a cafeína	Factores genéticos poderão ter influência na diminuição ou aumento da velocidade de metabolismo basal, bem como factores ambientais

Calculating the BMR Harris-Benedict equation

- Also called the **Harris-Benedict principle**.
- It is a method used to estimate the daily calorie requirements of an individual using their basal metabolic rate or BMR.
- The estimated value of BMR is then multiplied by a number that corresponds to the person's activity level.
- The resulting number is the recommended daily calorie intake to maintain current weight.

Basal Energy Expenditure: Harris-Benedict Equation

Calculating the BEE / BMR
The following table enables calculation of an individual's Basal Metabolic Rate (BEE).

- BEE calculation for women

$$\text{BMR} = 655,1 + (9,563 \times \text{weight in kg}) + (1,850 \times \text{height in cm}) - (4,676 \times \text{age in years})$$
- BEE calculation for men

$$\text{BMR} = 66,5 + (13,75 \times \text{weight in kg}) + (5,003 \times \text{height in cm}) - (6,775 \times \text{age in years})$$

Harris J, Benedict F. A biometric study of basal metabolism in man. Washington D.C. Carnegie Institute of Washington. 1919.

BEE / BMR Estimations

- Harris Benedict BMR calculation for men

$BEE = 66,5 + (13,75 \times \text{weight in kg}) + (5,003 \times \text{height in cm}) - (6,775 \times \text{age in years}) \text{ kcal/dia}$

e.g. $BEE = 66,5 + (13,75 \times 75 \text{ kg}) + (5,003 \times 182 \text{ cm}) - (6,775 \times 62 \text{ anos})$

$BEE = 66,5 + (1031) + (911) - (420) = 1589 \text{ kcal/dia}$

$BEE(20 \text{ anos}) = 66,5 + (1073) + (911) - (136) = 1914 \text{ kcal/dia}$

- Kleiber's law BMR calculation

$BMR = 70 \times (W)^{0,75} \text{ kcal/dia}$

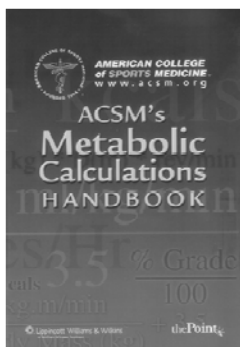
e.g. $70 \times (78 \text{ kg})^{0,75} = 70 \times (26,25) = 1838 \text{ kcal/dia}$

Harris-Benedict equation

Applying the Harris-Benedict Principle

The following table enables calculation of an individuals recommended daily calorie intake to maintain current weight:

- Little to no exercise Daily calories needed (Dcn) = BMR x 1.2
- Light exercise (1-3 days per week) Dcn = BMR x 1.375
- Moderate exercise (3-5 days per week) Dcn = BMR x 1.55
- Heavy exercise (6-7 days per week) Dcn = BMR x 1.725
- Very heavy exercise (twice per day, extra heavy workouts)
Daily calories needed = BMR x 1.9



Estimation of Energy Expenditure



Exercise

Metabolic Calculations
(Oxygen consumption, VO_2)

ACSM's Metabolic Calculations Handbook (2007). Lippincott Williams & Wilkins; 111 pages.



ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription.
8th Edition, 2010.
Lippincott Williams & Wilkins,
380 pp.

by American College Of Sports Medicine

About this title: The single most internationally read and referenced text in sports medicine, exercise science, and health and fitness, this manual succinctly summarizes recommended procedures for exercise testing and exercise prescription in healthy and diseased individuals.



Estimation of Energy Expenditure

- **Oxygen Consumption VO_2** under steady-state conditions, provides a measure of the energy cost of exercise.
- When VO_2 cannot be measured directly, estimations can be made during **steady-state** exercise - the amount of oxygen needed to perform the activity is matched by a supply of oxygen.
- If not at steady-state VO_2 will be overestimated
- Equations are based on relating mechanical work rate to metabolic equivalents
- Equations are appropriate for general clinical and lab use



Purpose of Metabolic Calculations

- The rate of O_2 uptake at maximal exercise indicates the capacity for O_2 transport and utilization
- Peak VO_2 serves as the gold standard criterion measure of cardiorespiratory fitness
- At steady state, and in combination with CO_2 output, VO_2 can provide information about type of fuel use during exercise
- Determine work rates to be used in the development of exercise prescription



Expression of VO_2

- **Absolute** - Liters per minute ($L \cdot \text{min}^{-1}$)
 - Used to convert consumption to a rate of energy expenditure
- **Relative** – mL / kg body weight per min ($\text{mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$)
 - Used to compare VO_2 among varying body sizes
- **Gross oxygen consumption** - Total consumption rate under any circumstances, either in absolute or relative; describes rest plus exercise
- **Net oxygen consumption** - Consumption rate above resting oxygen uptake (approx. $3.5 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$); describes exercise



Estimation of Energy Expenditure

- Equations can be used for:
 - Estimating or predicting energy expenditure
 - Designing an exercise prescription to determine the exercise intensity associated with a desired level of energy expenditure



Cautionary Notes

- The inter-subject variability for VO_2 may be as high as 7%
- Appropriate for **steady-state submaximal aerobic exercise**
- Any variable that changes the metabolic efficiency results in loss of accuracy (e.g., orthopedic limitations, holding handrail on treadmill, etc.)
- Despite these caveats, metabolic equations provide a valuable tool for exercise professionals



Walking

$$\text{VO}_2 = (0.1 \times S) + (1.8 \times S \times G) + 3.5$$

Horizontal Vertical Rest

S = speed in $\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$ (convert if needed)
 G = grade in decimal form (i.e., 10% is 0.10);
 if 0% grade, then vertical = 0
 R = resting component

NOTE: VO_2 is reported as $\text{mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$

For speeds of 50-100 m/min. (3-6 km/h)

6% inclinação programada



Walking (3 - 6 km/h)

$$\text{VO}_2 = (0.1 \times S) + (1.8 \times S \times G) + 3.5$$

Horizontal Vertical Rest

S = speed in $\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$ (convert if needed)
 G = grade in decimal form (i.e., 10% is 0.10);
 if 0% grade, then vertical = 0
 R = resting component
 NOTE: VO_2 is reported as $\text{mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$

The VO_2 estimated from the ACSM walking equation is reasonably accurate for walking speeds between 50 and 100 $\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$ (1.9 to 3.7 mph, 3 to 6 km/h).

However, since the equation is more accurate for walking up a grade than on the level, VO_2 may be underestimated as much as 15% to 20% during walking on the level (ACSM 2006)



Running

$$\bullet \text{VO}_2 = (0.2 \times S) + (0.9 \times S \times G) + 3.5$$

Horizontal Vertical Rest

S = speed in $\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$ (convert if needed)

G = grade in decimal form (i.e., 10% is 0.10); if 0% grade, then vertical = 0

R = resting component

- All variables are the same as for walking
- NOTE: VO_2 is reported as $\text{mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$
- For speeds $\geq 134 \text{ m/min}$ ($\geq 8 \text{ km/h}$), or for speeds as low as 5 km/h if jogging.



Running ($\geq 8 \text{ km/h}$)

$$\bullet \text{VO}_2 = (0.2 \bullet S) + (0.9 \bullet S \bullet G) + 3.5$$

Horizontal Vertical Rest

- All variables are the same as for walking
- NOTE: VO_2 is reported as $\text{mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$

For the ACSM running/jogging equations, the VO_2 estimates are relatively accurate for speeds exceeding $134 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ (8 km/h) and speeds as low as $80 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ (5 km/h) provided that the client is jogging and not walking (ACSM 2006)



Downhill Walking and Running (negative grade)

Walking (3 to 6 km/h)

$$\text{VO}_2 = (0.1 \bullet S) + (1.8 \bullet S \bullet G) + 3.5$$

Horizontal Vertical Rest

Running ($\geq 8 \text{ km/h}$)

$$\bullet \text{VO}_2 = (0.2 \bullet S) + (0.9 \bullet S \bullet G) + 3.5$$

Horizontal Vertical Rest

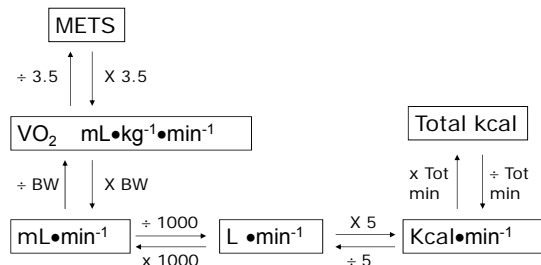
The oxygen demand of downhill walking is complex as it decreases as the slope becomes steeper up to a point (-10% grade), and then increases with greater steepness, surpassing the cost of level walking at grades steeper than -20%.

Therefore the ACSM equation is not valid for downhill walking

As with walking, the energy cost of downhill running is complex and not covered in the ACSM equation.



Conversion Flowchart



MET, RMR and BMR

- MET's are defined as multiples of resting energy metabolism that allows to quantify exercise intensity.
- One MET is therefore a close approximation of the resting metabolic rate (RMR) in seated position.
- The value of 1 MET has been standardized as:

$$1 \text{ MET} = 3,5 \text{ mL O}_2 / \text{kg} / \text{min}$$
$$(0,0035 \text{ L O}_2 / \text{kg} \times 5 \times 60 \text{ min} = 1,05)$$
$$1 \text{ MET} = 1 \text{ kcal} / \text{kg} / \text{hour}$$

This value is assumed to be approximately the same across all subjects – male, female, young, or old.

MET, RMR and BMR

Derivation of the MET

- It has been noted that the BMR varies as a function of body size, gender, age, fat-free mass, and endocrine function.
- But BMR direct measurement normally falls between 200 mL O₂/min for women and 250 mL O₂/min for men.
- The BMR can be better standardized by including the subject's individual body weight in the equation.
- Thus, for an "average" female weighing 57 kg and an "average" male weighing 71 kg

Females: 200 mL O₂/min/57 kg = 3,5 mL O₂/kg/min = 1 MET

Males: 250 mL O₂/min/71 kg = 3,5 mL O₂/kg/min = 1 MET

BMR Estimations

- BMR calculations by Respirometry

Male BMR =
3,5 mL O₂/kg/min → (3,5x71kg x1440 min/1000) x 5 = 1789 kcal/dia
Female BMR =
3,5 mL O₂/kg/min → (3,5x57kg x1440 min/1000) x 5 = 1436 kcal/dia

- Kleiber's law BMR calculation

BMR = 70 x (W)^{0.75} kcal/dia
Male (71kg) = 70 x (71kg)^{0.75} = 70 x (24,46) = 1712 kcal/dia
Female (57kg) = 70 x (57kg)^{0.75} = 70 x (20,74) = 1452 kcal/dia

REE/BMR aprox. estimations

- Male aprox. BMR = 1 kcal/kg/hour x 1.0

Male 70 kg:

$$\rightarrow 70\text{kg} \times 24\text{h} \times 1.0 = 1680 \text{ kcal/day}$$

- Female aprox. BMR = 1 kcal/kg/hour x 0.9

Female 70 kg:

$$\rightarrow 70\text{kg} \times 24\text{h} \times 0.9 = 1512 \text{ kcal/day}$$

EEPA aprox. estimations (exercice)

(Energy Expenditure in Physical Activity)

- **WALKING**

Male/Female aprox. EEPA = 1 kcal/kg/km x 0.8

Male or female 70 kg - 5 km:

→ **70 kg x 5 km x 0.8 = 280 kcal (gross)**

- **RUNNING**

Male/Female aprox. EEPA = 1 kcal/kg/km x 1.0

Male or female 70 kg - 5 km:

→ **70 kg x 5 km x 1.0 = 350 kcal (gross)**