

# Bazální metabolismus

## Nepřímá kalorimetrie

## Energetická bilance

bakalářské studium nutriční terapie  
2.ročník LF MU

Miroslav Tomáška  
Interní hematologická a onkologická klinika  
LF MU a FN Brno



Interní hematologická  
a onkologická klinika  
FN Brno a LF MU

# Přeměna energie v živém organismu

princip bilance energie

- **Přeměna látek v těle ► spotřeba energie**
- **Oxidace živin ► uvolnění energie**
- **Spotřebovaná energie je nakonec vydána ve formě tepla**
  - spotřeba energie odpovídá výdeji energie
- **Pro měření spotřeby energie je rozhodující počáteční a konečný stav**
  - cesta přeměny nerozhoduje

# Spotřeba energie v živém organismu

- **Závisí na velikosti těla**
  - hmotnost, výška, BMI, tělesný povrch
- **Většina energie je spotřebována v buňkách**
  - buněčná tělesná hmota, BCM
  - netuková tělesná hmota FFM
- **Tuková hmota FM je metabolicky málo aktivní**
  - to však příliš neplatí pro viscerální tuk
- **Vyjádření potřeby energie na kg**
  - běžně se vyjadřuje na 1 kg tělesné hmotnosti
  - lépe na kg FFM nebo BCM

# Terminologie v klinické praxi



## ■ Spotřeba energie

- skutečně spotřebované množství energie

## ■ Potřeba energie

- předpoklad, kolik energie bude potřeba a mělo by být podáno (různé formy výživy)

## ■ Výdej energie

- lze měřit nepřímou kalorimetrií, nebo kalkulovat

## ■ Energetická bilance

- rozdíl mezi příjmem a výdejem energie
- pozitivní bilance ► příjem je vyšší než výdej

# Podíl orgánů/tkání na bazální spotřebě energie

Orgány	Podíl na BEV
Játra	27 %
Mozek	19 %
Kosterní sval	18 %
Ledviny	10 %
Srdce	7 %
Ostatní orgány	19 %
<b>SOUČET</b>	<b>100 %</b>

# Obsah energie v hlavních živinách

	<i>kcal / 1g</i>	<i>kJ / 1g</i>
<b>Sacharidy</b>	<b>4,2</b>	<b>17,4</b>
<b>Tuky</b>	<b>9,3</b>	<b>39</b>
<b>Bílkoviny</b>	<b>4,3</b>	<b>18</b>
<b>Vláknina (využitelná)</b>	<b>2,0</b>	<b>4,4</b>

# Energetický výdej, EV

*Energy expenditure, EE*

- **Bazální EV** **BEV**
  - přísné standardní podmínky
- **Klidový EV** **KEV**
  - běžné klidové podmínky v nemocnici
- **Totální (celkový) EV** **TEV**
  
- **EV potřebný k fyzické aktivitě** **AEV**
- **Dietou indukovaná termogeneze** **DIT**
  - Specificko-dynamický účín potravin

# Bazální energetický výdej, BEV (základní, ZEV)

*Basal Energy Expenditure, BEE*



## Podmínky pro měření BEV

### ■ tělesný i duševní klid

- psychický neklid zvyšuje EV

### ■ bdělý stav

- ve spánku EV klesá

### ■ úplné lačnění nejméně 10 h

- postabsorptivní stav

### ■ termoneutrální prostředí

- termoregulační děje zvyšují EV

### ■ atmosférický tlak a vlhkost prostředí



# Klidový energetický výdej, KEV

*Resting Energy Expenditure, REE*

## Podmínky pro měření KEV

- **úplný tělesný i duševní klid**
  - nepředchází cvičení, fyzický klid alespoň 30 min.
- **bdělý stav**
- **lačnění optimálně 10 h**
  - ale lze měřit i při podávané výživě
- **termoneutrální prostředí**
- **nepřihlíží se k atmosférickému tlaku, ani k vlhkost prostředí**

# Faktory zvyšující KEV

způsobují falešně zvýšené hodnoty KEV

## ■ **Metabolický stres**

- infekce, sepse
- trauma, operace
- větší popálenina

## ■ **Horečka**

## ■ **Léky s dráždivým účinkem**

- adrenalin, psychostimulancia

## ■ **Zvýšená funkce štítné žlázy**

- hyperthyreóza

# Faktory snižující KEV

způsobují falešně snížené hodnoty KEV

- **Déletrvající hladovění**
  - adaptace metabolismu na snížený příjem
  - pokles KEV až o 15%
- **Malnutrice (převážně energetická)**
- **Léky s tlumivým účinkem**
  - sedativa, neuroleptika, opioidy
- **Hypotermie < 36°C**
- **Spánek**
- **Snížená funkce štítné žlázy**
  - hypothyreóza

# Celkový výdej energie podle fyzické aktivity

Aktivita	kcal/h	kJ/h	MET
Klid vleže	70	290	
Klid vsedě	86	360	1,0
Stoj	90	380	1,05
Chůze 4,2 km/h	260	1090	3,0
Chůze 5,5 km/h	310	1300	3,6
Běh 8,5 km/h	550	2300	6,4
Domácí úklid	230	960	2,7
Řezání dřeva	460	1920	5,4

# Různé možnosti stanovení výdeje energie

většinou jde o BEV nebo KEV

## ■ Přímá kalorimetrie

- měření výdeje tepla ► výzkumná metoda

## ■ Nepřímá kalorimetrie

- měření spotřeby kyslíku,  $VO_2$
- měření výdeje  $CO_2$ ,  $VCO_2$

## ■ Výpočet z tělesných parametrů

- prediktivní rovnice (Harris-Benediktova, Mifflin-St.Joer)
- počítačová kalkulace (z rovnice)
- tabulky (podle hmotnosti, výšky a věku)
- výpočet na 1 kg tělesné hmotnosti (lépe 1 kg FFM)

# Principy nepřímé kalorimetrie

měření spotřeby  $O_2$  odpovídá množství uvolněné energie

- **Zákon o zachování energie**
  - množství energie uvolněné při oxidaci živin je stejné, jako množství energie uvolněné při spálení živin
- **V živém organismu se veškerá energie získává oxidací živin**
  - měření spotřeby  $O_2$  ► množství uvolněné energie
- **Pro změření množství uvolněné energie jsou podstatné počáteční stav a konečný stav**
  - metabolismus mezi počátečním a konečným stavem nemá vliv na konečné množství uvolněné energie

## Je však třeba řešit problém, jaké živiny se v měřeném intervalu oxidovaly

- **Množství uvolněné energie záleží na tom, jaké hlavní živiny se v měřeném intervalu spalovaly**
  - poměr cukry-tuky-bílkoviny
- **Spalování tuků potřebuje o něco více  $O_2$ , než spalování sacharidů**
  - ale uvolní více energie, než by odpovídalo nárůstu  $O_2$
- **Také výdej  $CO_2$  se při spalování živin liší**
- **Poměr vydaného  $CO_2$  ku spotřebovanému  $O_2$  umožňuje vypočítat, v jakém poměru se spalovaly sacharidy a tuky**

# Respirační kvocient, RQ

se liší podle typu oxidované živiny

$$\text{Respirační kvocient RQ} = \frac{\text{výdej CO}_2}{\text{spotřeba O}_2}$$

Při oxidaci sacharidů se spotřebuje stejné množství O<sub>2</sub>, jako se uvolní CO<sub>2</sub> (RQ=1), protože platí



Při oxidaci tuků se spotřebuje více O<sub>2</sub>, než se pak vydá CO<sub>2</sub> (RQ=0,7)



# Respirační kvocient (RQ)

typický pro uvedené metabolické pochody

Metabolický pochod	RQ
Oxidace sacharidů	1,0
Oxidace bílkovin	0,8
Oxidace tuků	0,7
Lipogeneza	> 1,0
Ketogeneza	< 0,7

# Rovnice výpočtu výdeje energie na základě měření O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> a odpadů dusíku

$$EV (kJ) = 15 \cdot VO_2 + 6 \cdot VCO_2 - 7,4 \cdot N_u$$

respirační plyny : *litry /časovou jednotku*

N<sub>u</sub> : *gramy /časovou jednotku*

## Příklad pro typickou situaci

spotřeba O<sub>2</sub> = 250 ml/min., výdej CO<sub>2</sub> = 225 ml/min.

$$EV = 15 \cdot 0,25 + 6 \cdot 0,225 - 7,4 \cdot 0,01$$

$$3,75 + 1,35 - 0,07 = 5,17 \text{ kJ/min.}$$

tvoří 72%                      26%                      1% výsledku

Na výsledek EV má největší vliv spotřeba O<sub>2</sub>,  
daleko menší vliv výdej CO<sub>2</sub>  
a zanedbatelný vliv ztráty dusíku (utilizace bílkovin)

# Technické způsoby nepřímé kalorimetrie

## různé možnosti provedení v praxi

- **Dříve metoda přenosných vaků**
- **Dnes metoda canopy (průhledná kukla)**
  - měření koncentrace  $O_2$  a  $CO_2$  na vstupu plynu do kukly
  - měřené koncentrací na výstupu
  - výpočet spotřeby  $O_2$  a  $CO_2$  za minutu
  - přepoččet na výdej energie za čas (24 h)
- **Analogické způsoby**
  - kukla na hlavu (měření vsedě)
  - oblek
  - respirační komora

# Nepřímá kalorimetrie

Měření klidové  
spotřeby  $O_2$   
a výdeje  $CO_2$   
*ml/min.*

Měří se  
koncentrace  
plynů  
na dvou  
místech  
kukly

1. vstup
2. výstup



# Zdroje chyb při měření nepřímou kalorimetrií v běžné praxi

## ■ Hyperventilace

- protože  $\text{CO}_2$  vytváří v těle zásobu (na rozdíl od  $\text{O}_2$ )
- krátkodobě vydýchaný  $\text{CO}_2$  ze zásob neodpovídá metabolicky vytvořenému  $\text{CO}_2$

## ■ Neklid nemocného

- je spojený s hlubším dýcháním a vydýcháním  $\text{CO}_2$
- úzkost, nepřípravenost k vyšetření
- bolest a jiné nekontrolované potíže

## ■ Pacient je po jídle

- probíhá trávení živin

# Podmínky pro nepřímou kalorimetrii

které je třeba splnit, aby výsledek byl validní

- **Tělesný i psychický klid vleže 30 min. před vyšetřením i během vyšetření**
  - klidná neprůchozí místnost, tlumené osvětlení
  - příjemná teplota a vlhkost (termoneutrální prostředí)
- **Optimálně nalačno** (10 h, postabsorptivní stav)
- **Zadat spolehlivou hmotnost a výšku**
- **Uvést medikaci (sedativa aj.)**
- **Změřit teplotu a puls** před a po vyšetření
- **Záznam o chování pacienta během vyšetření**
  - neklid aj.

# Praktické využití nepřímé kalorimetrie

dva hlavní důvody, proč dělat kalorimetrii

- **Stanovení energetického výdeje**
  - dává spolehlivé reprodukovatelné výsledky
  - pokud jsou dodrženy podmínky měření
  - odpady dusíku je možno zanedbat
- **Stanovení množství utilizovaných živin**
  - cukrů, tuků a bílkovin
  - velká závislost na změřených odpadech dusíku
  - interpretace výsledků je problematická

# Kdy nám nepřímá kalorimetrie pomůže nejvíce

v praxi se bohužel provádí velmi málo

- **Dlouhodobá umělá klinická výživa**
  - zejména při jejím nedostatečném efektu (pac.hubne)
  - přesné změření výdeje energie v klidu
  - umožňuje určit adekvátní dávku výživy
- **Nemocný v intenzivní péči**
  - obava z nadměrné výživy (*overfeeding*)
  - pacient dostane pouze energii odpovídající KEV
  - tedy bez navýšení
- **Zjištění vlivu choroby na metabolismus**
  - lze změřit množství energie, které „spotřebuje nemoc“
  - pokud nemocný hubne i při plném příjmu stravy



# Posouzení úrovně klidového metabolismu

srovnání změřené hodnoty KEV s očekávanou hodnotou

$$\text{Metabolický poměr} = \frac{\text{změřený KEV}}{\text{BEV z rovnice}} * 100$$

- **Normální** **90-110 %**
- **Hypermetabolismus** **> 110 %**
  - hyperfunkce štítné žlázy
  - při různých typech onemocnění
- **Hypometabolismus** **< 90 %**
  - hypofunkce štítné žlázy
  - adaptace na nedostatečný příjem živin, hladovění

# Příklady vychýlení úrovně metabolismu při fyziologických změnách a při onemocnění

<b>Stav</b>	<b>Metabolický poměr</b>
<b>Zvýšená tělesná teplota</b>	<b>100-120 %</b>
<b>Snížená teplota, podchlazení</b>	<b>&lt; 90 %</b>
<b>Adaptace na nízký příjem živin</b>	<b>&lt; 90 %</b>
<b>Malnutrice</b>	<b>&lt; 90 %</b>
<b>Infekce</b>	<b>110-130 %</b>
<b>Sepse</b>	<b>130-150 %</b>
<b>Polytrauma</b>	<b>130-150 %</b>
<b>Rozsáhlá popálenina</b>	<b>150-200 %</b>

# Prediktivní rovnice pro výpočet BEV

u zdravých jedinců (neodrážejí přítomnost choroby)

## ■ Harris-Benediktova (HB) rovnice (r. 1919)

$$\text{♂ } 13,75 \cdot Hm + 5 \cdot \text{Výška} - 6,8 \cdot \text{Věk} + 66,5$$

$$\text{♀ } 9,6 \cdot Hm + 1,85 \cdot \text{Výška} - 4,7 \cdot \text{Věk} + 655$$

## ■ Revidovaná HB rovnice (r. 1984)

$$\text{♂ } 13,4 \cdot Hm + 4,8 \cdot \text{Výška} - 5,7 \cdot \text{Věk} + 88$$

$$\text{♀ } 9,25 \cdot Hm + 3,1 \cdot \text{Výška} - 4,3 \cdot \text{Věk} + 448$$

## ■ Mifflin-St.Joerova (MSJ) rovnice (r. 1990)

$$\text{♂ } 10 \cdot Hm + 6,25 \cdot \text{Výška} - 5 \cdot \text{Věk} + 5$$

$$\text{♀ } 10 \cdot Hm + 6,25 \cdot \text{Výška} - 5 \cdot \text{Věk} - 161$$

# Výpočet potřeby energie podle Harris-Benediktovy rovnice

Standard NPT FN Brno, 2016

**Muži**  $66,5 + 13,75 \cdot \text{Hmotnost} + 5 \cdot \text{Výška} - 6,8 \cdot \text{Věk}$

**Ženy**  $655 + 9,6 \cdot \text{Hmotnost} + 1,85 \cdot \text{Výška} - 4,7 \cdot \text{Věk}$

## Muži

Hmotnost <i>kg</i>	Výška <i>cm</i>	Věk <i>roků</i>	Bazální energetický výdej												
				<i>kcal</i>	<i>kcal/kg</i>	<i>kJ</i>	<i>kJ/kg</i>								
70	185	40	<b>BEV</b>	<b>1682</b>	<b>24,0</b>	<b>7031</b>	<b>100</b>								
<table border="1"> <tr> <td><b>BMI</b></td> <td><b>20,5</b></td> </tr> <tr> <td><b>Upravená hmotnost</b></td> <td></td> </tr> <tr> <td><b>na BMI 25</b></td> <td><b>85,6</b></td> </tr> <tr> <td><b>na BMI 20</b></td> <td><b>68,5</b></td> </tr> </table>			<b>BMI</b>	<b>20,5</b>	<b>Upravená hmotnost</b>		<b>na BMI 25</b>	<b>85,6</b>	<b>na BMI 20</b>	<b>68,5</b>	1,1x BEV	1850	26,4	7734	110
			<b>BMI</b>	<b>20,5</b>											
			<b>Upravená hmotnost</b>												
			<b>na BMI 25</b>	<b>85,6</b>											
			<b>na BMI 20</b>	<b>68,5</b>											
			1,2x BEV	2018	28,8	8437	121								
			1,3x BEV	2187	31,2	9140	131								
			1,4x BEV	2355	33,6	9843	141								
1,5x BEV	2523	36,0	10546	151											
1,6x BEV	2691	38,4	11249	161											
1,7x BEV	2859	40,8	11952	171											

## Ženy

Hmotnost <i>kg</i>	Výška <i>cm</i>	Věk <i>roků</i>	Bazální energetický výdej												
				<i>kcal</i>	<i>kcal/kg</i>	<i>kJ</i>	<i>kJ/kg</i>								
58	162	70	<b>BEV</b>	<b>1183</b>	<b>20,4</b>	<b>4943</b>	<b>85</b>								
<table border="1"> <tr> <td><b>BMI</b></td> <td><b>22,1</b></td> </tr> <tr> <td><b>Upravená hmotnost</b></td> <td></td> </tr> <tr> <td><b>na BMI 25</b></td> <td><b>65,6</b></td> </tr> <tr> <td><b>na BMI 20</b></td> <td><b>52,5</b></td> </tr> </table>			<b>BMI</b>	<b>22,1</b>	<b>Upravená hmotnost</b>		<b>na BMI 25</b>	<b>65,6</b>	<b>na BMI 20</b>	<b>52,5</b>	1,1x BEV	1301	22,4	5437	94
			<b>BMI</b>	<b>22,1</b>											
			<b>Upravená hmotnost</b>												
			<b>na BMI 25</b>	<b>65,6</b>											
			<b>na BMI 20</b>	<b>52,5</b>											
			1,2x BEV	1419	24,5	5931	102								
			1,3x BEV	1537	26,5	6426	111								
			1,4x BEV	1656	28,5	6920	119								
1,5x BEV	1774	30,6	7414	128											
1,6x BEV	1892	32,6	7909	136											
1,7x BEV	2010	34,7	8403	145											

# Prediktivní rovnice pro výpočet EV

## základní společná charakteristika

- **Vypočítávají BEV** (nikoliv KEV)
  - za přísných bazálních podmínek
- **U zdravých lidí**
  - neodrážejí přítomnost choroby
- **Počítají s obezitou a hubeností**
  - vkládá se ABW, nikoliv korigovaná hmotnost
- **Pro výpočet celkové potřeby** energie je nutné **navýšení** především **o faktor fyzické aktivity**

# Celkový (totální) výdej energie, TEV

rovnice zohledňující několik faktorů

$$\text{TEV} = \text{BEV} + \text{AF} + \text{TF} + \text{DIT} + \text{IF}$$

AF *Activity Factor*

TF *Temperature Factor*

DIT *Diet Induced Thermogenesis*

IF *Injury Factor* (Faktor onemocnění / zranění)

**Pro praxi je užitečné počítat  
jen s jedním celkovým korekčním faktorem**

# Samotný faktor fyzické aktivity (AF)

pro účely navýšení vypočítaného BEV nebo změřeného KEV

Typ fyzické aktivity	Faktor aktivity AF
Klid na lůžku	1,1
Pacient s pohybem v lůžku	1,2
Chůze jen na po místnosti	1,3
Ambulantní pacient v domácí péči	1,4
Doma s větší fyzickou aktivitou	1,5

# Celkový korekční faktor pro výpočet TEV

celkový nebo totální energetický výdej, TEV

Situace	Celkový faktor
Klid na lůžku	1,2
Chůze jen na WC	1,3
Chůze po podlaží, po bytě	1,4
Běžný pohyb kolem domu	1,5
Rehabilitace, vyšší fyzická aktivita	1,6
Pacient na ventilátoru	1,0



# Potřeba energie

závisí na cíli nutriční podpory

- **Cílem může být udržení hmotnosti**
  - zabránit dalšímu hubnutí
  - celkový korekční faktor má standardní hodnotu
  
- **Cílem však může být nárůst hmotnosti**
  - zejména po předchozím zhubnutí
  - v anabolické fázi, po odeznění katabolismu
  - korekční faktor se zvyšuje o 1-2 desetiny
  - potřeba energie o 10-20 procentních bodů

# Celkový korekční faktor pro výpočet TEV

v závislosti na cíli nutriční podpory

Situace	Celkový faktor	
	k udržení	k příbrání
Klid na lůžku	1,2	1,3
Chůze jen na WC	1,3	1,4
Chůze po podlaží, po bytě	1,4	1,5
Běžný pohyb kolem domu	1,5	1,7
Rehabilitace, vyšší fyzická aktivita	1,6	1,8

# Zjednodušený výpočet TEV dle hmotnosti

výpočet vztažený na 1 kg tělesné hmotnosti

$$\begin{aligned} \text{TEV} &= 25\text{-}35 \text{ kcal/kg} \\ &= 105\text{-}145 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

Platí jen pro pacienty s normální hmotností (BMI 20-25),  
jinak je třeba hmotnost korigovat

Pohyb v širokém rozmezí dle dalších parametrů pacienta

	Vyšší potřeba	Nižší potřeba
Věk, < 65 r. nebo > 65 r.	mladý	starší
Pohlaví	muž	žena
Habitus	hubený	nadváha
Ztráta hmotnosti	je	není

# Výpočty vztažené na 1 kg tělesné hmotnosti

vždy platí jen pro normální hmotnost

- **Pokud je hmotnost mimo normální rozmezí**
  - nutná korekce do poloviny rozmezí mezi ABW a IBW
  - korigovaná tělesná hmotnost
- **Ideální hmotnost odhadujeme dle BMI**
  - střední věk BMI 22 kg/m<sup>2</sup>
  - senioři > 65 r. BMI 24 kg/m<sup>2</sup>
- **Korekce je nutná u všech výpočtů na 1 kg**
  - včetně potřeby bílkovin

# Energetická bilance

rozdíl mezi příjmem a výdejem energie

**Bilance = Celkový příjem energie – TEV**

**Pozitivní bilance                      Příjem > TEV**

**Negativní bilance                      Příjem < TEV**

## Kumulovaná bilance energie

- výsledky jednotlivých dnů se sčítají
- Týdenní bilance energie

# Kalkulace energetické bilance v praxi

## zásady a možné nepřesnosti

### ■ Na straně příjmu energie

- metabolizovatelná energie (vstřebané živiny)
- vstřebatelnost hlavních živin je vysoká kolem 95 %
- pokud není přítomna malabsorpce živin
- kalkulace je snazší při PV nebo EV sondou
- jinak záznam o příjmu stravy nebo 24h Recall

### ■ Na straně výdeje

- nepřesnost se zvyšuje při větší fyzické aktivitě
- při závažném onemocnění (neznámý IF)
- poměrně přesný je změřený KEV

# Falešná tendence k pozitivním hodnotám

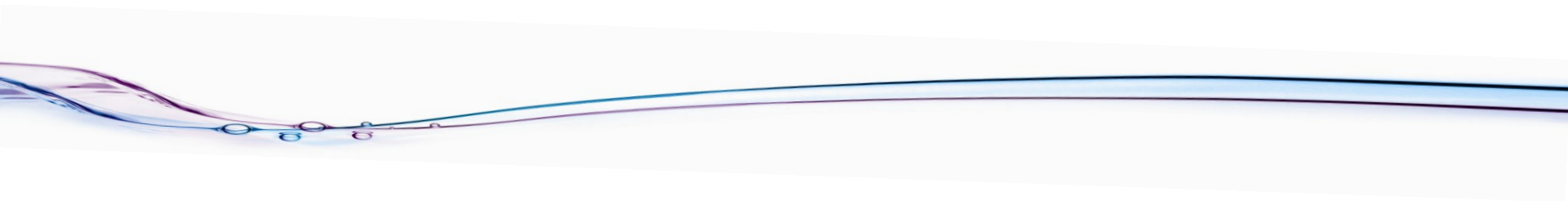
je v praxi častá a překvapivá

## ■ Příjem má tendenci být nadhodnocován

- započítána může být i nesnědená strava
- dokonce i nepodaný zbytek EV nebo PV
- snědené množství se nemuselo vstřebat

## ■ Sklon k podhodnocení výdeje

- skutečný výdej je často větší (fyzická aktivita, IF)
- zvláště při závažném onemocnění (neznámý IF)
- poměrně přesný je změřený KEV



**Konec přednášky**