

612.39:612.015.3:616-056.5

MOŽNOSTI HODNOCENÍ ENERGETICKÉHO VÝDEJE ORGANISMU

Plk. doc. MUDr. Karel MARTINÍK, CSc., mjr. MUDr. Jiří CHALOUPEK, CSc.
Vojenská lékařská akademie JEP, Hradec Králové
(rektor: plk. prof. MUDr. Josef Fusek, DrSc.)

Znalost energetického stavu organismu je z teoretického a praktického hlediska pro racionální zabezpečení metabolických potřeb organismu velmi důležitá (1). Jejich přesné měření je však složité. Vyžaduje sledování základních faktorů ovlivňujících energetický výdej (EV), ale také zjišťování přesného složení těla, včetně obsahu všech energetických substrátů a makroergních vazeb. Pro dlouhodobější hodnocení je nutné doplnit bilanční sledování příjmu a výdeje živin, minerálů a tekutin. V praxi se proto hodnocení stavu energetiky organismu zaměřuje především na měření energetického výdeje (2). Pro nutriční zajištění jedince vycházíme z předpokladu, že celková energie získaná využitím energetických substrátů je při vyrovnané energetické bilanci rovna celkovému EV. Energetický výdej organismu se skládá z několika relativně samostatných částí:

energetický výdej organismu = (ZEV x SF) + TEP + FDA
kde znamená:

ZEV - základní energetický výdej
SF - stresový faktor
TEP - termický efekt potravy
FDA - energetická potřeba pro krytí fyzické a duševní aktivity

Pro přesnou interpretaci naměřených hodnot je třeba od sebe odlišit základní energetický výdej (ZEV) neboli bazální metabolismus (BM) či BMR (basal metabolic rate) od klidového energetického výdeje (KEV) neboli REE (resting energy expenditure). ZEV je definován jako nejnížší hladina tvorby energie potřebná k udržování nezbytně nutných životních funkcí. Při měření ZEV je třeba nezbytně dodržet tyto podmínky měření:

- 1) Měří se v úplném tělesném klidu ráno po probuzení, nejméně 12 hodin po posledním jídle, v bdělém stavu.
- 2) Měřená osoba bdí nejméně půl hodiny vleže na lůžku, je ve stavu duševního i fyzického uvolnění.
- 3) Měření se provádí u poučeného pacienta ve známém prostředí při okolní teplotě 20-25 °C.

Naproti tomu KEV představuje energetickou potřebu v tělesném klidu nejméně 2 hodiny po posledním jídle. Tato hodnota bývá asi o 10 % vyšší než ZEV.

Velikost ZEV závisí nejvíce na velikosti aktivní tělesné hmoty, věku a pohlaví vyšetřované osoby, na rodinné příslušnosti a dalších faktorech.

Stresový faktor se významně uplatňuje při stavech, kdy dochází ke zvýšené aktivitě sympatického nervového systému.

Zvláště některá onemocnění ovlivňují hodnotu ZEV a v případě výpočtu je nutné provést jeho korekci. Stresová reakce působí změnu metabolické aktivity velmi individuálně a skutečné hrazení energetické potřeby člověka i skladba živin musí být založena na konkrétních výsledcích měření. Korekce ZEV stresovým faktorem slouží pouze k odhadu energetického výdeje tam, kde není

možnost jeho přesného měření. Hodnoty stresového faktoru jsou uvedeny v tabulce 1.

Tabulka 1

Hodnoty stresového faktoru

Poškození	Stresový faktor
hladovění	0,80 - 1,00
elektivní chirurg. výkon	1,00 - 1,25
těžká fraktura	1,15 - 1,30
těžká infekce, sept. stav	1,30 - 1,60
střední chir. výkon	1,60
polytrauma	1,60
polytrauma s poruchou dýchání	1,50 - 1,75

Popálenina (% popál. těl. povrchu)	Stresový faktor
10 %	1,25
20 %	1,50
30 %	1,75
40 %	1,90
50 %	2,00
60 %	2,10

Hodnoty KEV zvyšuje kouření, káva, hormony (thyroxin, katecholaminy) a nervové vlivy. KEV se zvyšuje i po příjmu potravy. Fyziologické mechanismy odpovědné za tento efekt nejsou plně objasněny. Podílí se na něm přeměna glukózy v glykogen, glukoneogeneze, lipogeneze, stimulace sodíko-draslíkové pumpy v buněčných membránách, aktivace sympatického nervového systému cestou beta-receptorů a další faktory. Rozdíly mezi naměřenými hodnotami KEV existují i v závislosti na fyzické zdatnosti osoby. Závěry v této oblasti však nejsou popisovány jednotně. Změny v KEV a hlavně v využití metabolických substrátů existují u obézních osob. Větší podíl KEV zaujímá oxidace lipidů, je porušen metabolismus sacharidů, i když při běžném orálním glukózotolerančním testu (oGTT) se tato porucha nemusí projevit. Klidové hodnoty EV vztažené na kg hmotnosti jsou nižší, ale pokud jsou vztaženy k ideální tělesné hmotnosti, pak jsou signifikantně vyšší než u štíhlých osob. Odchyly byly pozorovány i v oxidaci substrátů po podání stravy. Při váhové redukci způsobené hladověním KEV během několika dnů klesá, což může způsobit obtíže v dalším redukčním režimu. Tento efekt má řadu příčin a lze je zmírnit doplněním dietního režimu, tělesným cvičením nebo hormony štítné žlázy.

Termický efekt potravy je představován zvýšením klidového energetického výdeje způsobeným změnami spotřeby O₂ a výdeje CO₂ nad hodnotu ZEV, který nastává po podání stravy. Je to množství energie, které organismus

spotřebuje k trávení, vstřebávání a metabolickým přeměně živin, ale i k procesům, jako jsou stimulace Na-K ATP-ázového transportního systému v buněčných membránách nebo aktivace sympatického NS.

Termogenezi je možno rozdělit na obligatorní, způsobenou oxidativním a neoxidativním metabolismem živin, a fakultativní, katecholaminy zprostředkovanou cestou beta-receptorů. Velikost termického efektu stravy závisí na množství, složení a způsobu podání potravy a na stavu organismu. Důležité pro aktivaci vegetativního NS jsou i senzorické a kognitivní podněty.

Množství energie spotřebované ke krytí fyzické a duševní aktivity člověka a biochemických i fyziologických procesů s tím spojených představuje další složku celkového EV. Přeměna energie živin ve fyzickou práci je složitý proces, který zahrnuje metabolickou přeměnu přijatých látek do formy energie makroergních fosfátových vazeb, nervové a humorální regulace organismu a složitý komplex faktorů vedoucích k uvolňování energie při svalové kontrakci. Energetickou náročnost tohoto procesu můžeme určit s rozdílnou přesností v závislosti na zvolené metodě.

Změny energetického výdeje u některých fyziologických a patologických stavů organismu

Základní energetický výdej není stálou veličinou pro všechny osoby, mění se i u téže osoby v průběhu času. V průběhu dlouhodobého měření ZEV byly různými autory vysledovány některé zevní i vnitřní vlivy, které ho ovlivňují. Těmi základními a nejdéle známými ovlivňujícími faktory jsou:

a) Plocha tělesného povrchu a tělesná hmotnost

Tělesná hmotnost, nebo přesněji aktivní tělesná hmotnost, je představována metabolicky aktivní tkání, ve které probíhají biochemické a fyziologické pochody. Aktivní tělesná tkáň se tedy podílí na energetických přeměnách, které můžeme za stanovených podmínek měřit jako ZEV. Za tohoto předpokladu by tedy ZEV vztahovaný na jednotku aktivní tělesné hmotnosti měl být konstantní. Tento závěr však platí spíše o tropických oblastech. V našich zeměpisných šířkách se více osvědčilo vztáhnout ZEV na jednotku tělesného povrchu jako plochu, kterou se z organismu ztrácí vytvořené teplo do okolního prostředí. ZEV/m² naměřený u různých osob je pozoruhodně konstantní, a je proto výhodné ho použít pro srovnání různých osob a souborů.

b) Věk

Také v průběhu života u téhož jedince dochází k změnám ZEV. U novorozenců byly naměřeny poměrně nízké hodnoty, maximum ZEV bylo pozorováno u dětí ve věku 5 let, potom už BM klesá až do stáří s jedinou výjimkou, kterou je relativní zvýšení ZEV v období bouřlivého pubertálního růstu organismu.

c) Pohlaví

U dětí obou pohlaví jsou počáteční hodnoty ZEV stejné. Ve věku mezi 5.-17. rokem života klesá u žen BM rychleji

než u mužů. V dospělosti mají proto ženy nižší hodnoty ZEV než muži.

d) Rasové rozdíly

Při srovnávání hodnot ZEV různých rasových skupin lidí byly pozorovány určité rozdíly. Například nižší hodnoty ZEV než má průměrné evropské nebo americké obyvatelstvo byly naměřeny u obyvatel Orientu nebo u Číňanů. Naopak vysoké hodnoty ZEV byly pozorovány u některých Eskymáků. Tyto naměřené hodnoty se významně nemění ani tehdy, dojde-li k přesídlení příslušníků těchto etnických skupin do jiných klimatických oblastí.

e) Stav výživy

Dlouhodobý příjem energeticky neodpovídající diety vede také ke změnám ZEV. Při podvýživě a hladovění se BM snižuje, naopak při přejídání roste. Změny ve velikosti ZEV byly pozorovány i při dlouhodobém podávání nevyvážené diety.

f) Účinek hormonů

ZEV významně ovlivňují všechny fyziologické i patologické stavy, při kterých dochází k změnám v krevních hladinách hormonů štítné žlázy, kůry i dřeně nadledvinek. Snížení ZEV působí hypotyreóza a Addisonova nemoc, zvýšení se pozoruje při hypertyreodismu, feochromocytomu a Cushingově nemoci. Také onemocnění a tumory adenohipofýzy ovlivňují ZEV.

g) Různá onemocnění

Horečnatá onemocnění zvyšují ZEV úměrně se zvýšením tělesné teploty. Vzestup tělesné teploty o 1 °C zvýší ZEV asi o 12 %. Zvýšení ZEV bývá patrné i při některých onemocněních, při kterých se zvyšuje buněčná aktivita - např. při leukémii, polycytémii, některých typech anémie, některých srdečních vadách, hypertenzi, plicních onemocněních s dušností. Nejednotný je vliv nádorových onemocnění na velikost ZEV. Vyšší hodnoty ZEV byly pozorovány u diabetiků, akutních zánětlivých onemocnění, při septických stavech, po traumatu, popáleninách a po operacích. U některých pacientů právě zvýšení hodnot ZEV může být příčinou špatného hojení ran, malnutrice až kachexie.

h) Ostatní vlivy

Na základní energetický výdej působí i ostatní faktory. Jsou jimi např. podnebí (v horkém klimatu je nižší ZEV), svalový pohyb při vyšetřování i intenzivní svalová činnost před vyšetřením ZEV, strava v přechozích 12-14 hodinách před vyšetřením, psychická zátěž, stres, diskomfort, poloha těla při vyšetření, obezita nebo podvýživa, fyzická trénovanost, spánek, menstruace, gravidita, laktace, nespoupráve vyšetřované osoby a další vlivy zevního i vnitřního prostředí.

Možnosti hodnocení energetického stavu organismu

V metabolickém výzkumu, ale i v klinické praxi, se dnes uplatňuje řada moderních metod, které umožňují měření energetického stavu organismu a analýzu objemu, distribuce, případně i kvality jednotlivých tkání a látek v organismu. Zatím spíše pro výzkumné použití slouží metody,

kteřé dovolují sledovat na buněčné úrovni v bioptickém materiálu obsah a vzájemný poměr makroergních fosfatů. Na úrovni celého organismu dokáže nukleární magnetická rezonance využívající ^1H , ^{13}P , ^{13}C nebo ^{23}Na určit množství makroergních fosfatů, zastoupení mastných kyselin nebo některých intermediárních metabolitů. Neutronová aktivní analýza v kombinaci s izotopovým stanovením celkové tělesné vody pomocí $^2\text{H}_2^{18}\text{O}$, resp. ^{22}Na , umožňují přesně určit beztukovou tělesnou hmotnost, včetně hmotnosti bílkovinných zásob. Všechny tyto postupy jsou však náročné a zatěžující pro pacienty i personál, vyžadují drahé materiální vybavení, a jsou proto zatím málo dostupné.

Druhou skupinu metod měření energetického stavu organismu představují postupy, které by bylo možno shrnout pod společný název energetické bilancování. Patří sem jednak různé způsoby sledování příjmu energetických substrátů potravou, infúzí apod., jednak tvorba a výdej energie, dusíku a minerálů organismem. Toto sledování je možné metodami přímé nebo nepřímé kalorimetrie, pomocí dvojité značené vody nebo alespoň odhadem na základě vypracovaných tabulek energetického výdeje pro různé druhy činností.

Třetí skupinou možností využitelných ke sledování energetického stavu organismu je skupina biochemických, antropometrických, imunologických a klinických metod sledujících efekt energetického deficitu nebo nadbytku na organismus jako celek i na jeho některé systémy. Tyto metody však nejsou specifické, změny jejich veličin závisí i na řadě dalších faktorů. Patří k nim například klinicko-nutriční vyšetření jedince, bilancování příjmu a výdeje dusíku a minerálů (Na, K, P), antropometrické sledování, hodnocení svalové síly, hladin sérových proteinů, imunologické sledování. Kromě klasické antropometrie lze pro přesné sledování distribuce a množství tělesného tuku, svaloviny i parenchymatózních orgánů využít ultrazvukové vyšetření, axiální počítačovou tomografii nebo metodu infračervené interakce. Všechny tyto postupy však hodnotí energetický stav organismu jen nepřímo a zprostředkovaně. V našich podmínkách dosáhla největšího významu druhá skupina metod.

Metody hodnocení energetického výdeje organismu

Přijem živin lze nejlépe hodnotit u pacientů závislých na úplné parenterální nebo definované enterální výživě. Přijímá-li člověk běžnou potravu, provádí se buď přesné odvažování porcí a jejich chemická analýza, nebo se alespoň zhodnotí energetický příjem podle tabulek energetických hodnot potravin.

Hodnocení energetického výdeje patří mezi klasické fyziologické metody sledování aktuálního stavu organismu. Energetický výdej organismu je možno měřit těmito hlavními metodami:

- přímou kalorimetrií
- nepřímou kalorimetrií
- nekalorimetrickými metodami.

Je třeba si uvědomit, že přímá a nepřímá kalorimetrie neměří totéž. Přímá kalorimetrie měří teplo vydávané lidským tělem do okolního prostředí, zatímco nepřímá kalorimetrie měří energii uvolňovanou v oxidačních procesech. Lidské tělo má poměrně značnou tepelnou kapacitu. Proto aktuální produkce energie uvolňované v oxidačních procesech měřená nepřímou kalorimetrií

nemusí být doprovázena bezprostředním vzestupem uvolňování tepla z organismu měřeným přímou kalorimetrií. Nepřímá kalorimetrie má výhodu v krátké reakci na změny aktuálního stavu organismu, kdežto přímá kalorimetrie dává zpožděnou odpověď. Krátká reakční doba u nepřímé kalorimetrie je způsobena tím, že tělesné zásoby kyslíku jsou velmi malé a kapacita anaerobní syntézy ATP je limitována. Spotřeba kyslíku roste s produkcí ATP lineárně a přímo odráží energetický výdej, snad jen s výjimkou krátkého a přechodného přerušení tohoto trendu na počátku tělesné zátěže. V kontrastu s tím stojí zpožděná reakce přímé kalorimetrie, která limituje použití této techniky. Nemůže jí být použito ke sledování krátkodobého vlivu stravy nebo krátkodobého cvičení na energetický výdej, protože velká část vytvořeného tepla je uložena uvnitř těla a projeví se zvýšením tělesné teploty. Odhad množství takto uloženého tepla je složitý, protože změny teploty nejsou rovnoměrné ve všech tkáních. Pro člověka, který je v klidu, můžeme vyjádřit tepelnou bilanci organismu touto rovnicí:

$$M = (R + C + K + E) + S$$

kde jednotlivé symboly představují:

M - produkce tepla v metabolických procesech

R - vyzařování tepla z organismu (radiace)

C - ztráty tepla prouděním (konvekce)

K - ztráty tepla vedením (kondukcí)

E - ztráty tepla vypařováním (evaporace)

S - množství tepla uloženého v organismu

Nepřímou kalorimetrií se měří M, což představuje množství tepelné produkce. Metabolické reakce, při kterých se uvolňuje energie oxidací substrátů, jsou spjaty se syntézou ATP, kde se část uvolněné energie uloží. Tuto část je pak organismus schopen dále využívat. Přibližně jedna třetina energie získané z živin se ztrácí jako teplo už při syntéze ATP, dvě třetiny se uvolňují hydrolýzou ATP. Ovšem tento poměr není stálý, případně i všechna uvolněná energie se může přeměnit v teplo. Přímou kalorimetrií se měří R, C, K a E. Množství tepla uloženého v organismu může být buď pozitivní, spojené se vzestupem tělesné teploty, nebo negativní, provázené ochlazením těla.

1. Přímá kalorimetrie

Přímých měření tepelných ztrát na zvířatech se využívalo už od konce 18. století. Principem metody je měření tepelných ztrát organismu člověka nebo zvířete, kteří jsou umístěni v tepelně izolovaném prostředí vybaveném citlivou měřicí aparaturou.

Izotermický kalorimetr je komora s dvojitou stěnou a kontrolním systémem, který udržuje nulový teplotní gradient mezi oběma stěnami i mezi stěnami a prostředím. Výměník tepla odstraňuje teplo produkované subjektem uvnitř kalorimetru. Protože stěny udržují konstantní teplotu, neuniká jimi vyprodukované teplo do okolního prostředí, ale všechno se zachytí a změří na výměníku tepla. Ztráty tepla vzniklé pocením subjektu se zjišťují z rozdílu ve vlhkosti známého množství přečerpaného vzduchu vstupujícího do kalorimetru a vzduchu vystupujícího z něho. Jiná varianta kalorimetru je založena na poněkud odlišném principu. Do komory vstupuje chladnější vzduch. Teplota uvnitř se zvyšuje jednak produkcí tepla z měřeného organismu, jednak ještě přídatným topným systémem, který v kalorimetru udržuje konstantní teplotu.

Teplo potřebné k ohřátí známého množství vzduchu o určitou teplotu se tedy skládá z tepla produkovaného organismem a známého množství tepla dodaného zvenčí topením.

Izotermický kalorimetr měří celkovou energii vydanou subjektem a přeměněnou v teplo. Doba měření musí být dostatečně dlouhá, aby se minimalizoval efekt ukládání tepla v organismu. 24hodinové měření energetického výdeje přímou kalorimetrií odpovídá měření nepřímou kalorimetrií. Ovšem pro kratší časové periody je měření přímou kalorimetrií méně přesné, protože se uplatní efekt ukládání tepla v organismu, který podporuje i cirkadiální variace tělesné teploty.

Přímý kalorimetr, který využívá systému vrstev o různém gradientu, má výhodu v nízké tepelné setrvačnosti a krátké reakční době. Systém je založen na přesném měření teplotních rozdílů dvou ploch na vrstvách izolačního materiálu obklopujících kalorimetr.

Třetím typem přímého kalorimetru je např. oblek nebo komora chlazená vodou. Oblek je vyroben z malých plastových trubiček spojených mezi sebou plastovými svorkami. Známé množství vody proudí v obleku a ohřívá se teplem organismu. Změněním změny teploty vody a přepočtem na její celkové množství lze odvodit tepelné ztráty organismu.

2. Nepřímá kalorimetrie

Měření energetického výdeje technikou nepřímé kalorimetrie se provádí už více než 100 let. Po tuto dobu je známo, že teplo uvolňované v oxidativních procesech v organismu může být nepřímou počítáno ze spotřeby kyslíku. Protože je známo, jaké množství tepla se v organismu uvolní při spálení 1 l kyslíku, lze ze sledování jeho spotřeby po určitý čas vypočítat energetický výdej. Množství tepla uvolněného spotřebou 1 l kyslíku ale není konstantní, závisí na druhu a poměru oxidovaných živin. Při současném měření produkce oxidu uhličitého a exkrece močoviny spolu se spotřebou kyslíku je možné určit poměr oxidovaných živin.

Spolu s technickým pokrokem v konstrukci přístrojů s otevřeným ventilačním okruhem a se vzrůstem potřeby sledování energetického výdeje člověka pro klinickou praxi došlo v posledním období k renesanci této klasické fyziologické metody. Je zajímavé zopakovat hlavní předpoklady, proč závisí energetický výdej na spotřebě kyslíku v organismu.

Energie využívaná tělem k udržení elektrochemických gradientů, podpoře biochemických procesů i ke svalové kontrakci nemůže být vydána přímou oxidací živin. Všechny energeticky závislé procesy využívají energii uvolňovanou hydrolýzou makroergních fosfátů, převážně ATP. S výjimkou anaerobní glykolýzy, kdy přeměnou glukózy v laktát vznikají 2 moly ATP, je tvorba ATP spjata se substrátovou oxidací. Je to míra spotřeby ATP určující množství substrátů, které se budou oxidovat. Podle chemické teorie oxidativní fosforylace vzniknou při spotřebě 1 gramatomu kyslíku 3 moly ATP.

Dalším důvodem, proč je těsně spjata spotřeba kyslíku (VO_2) se syntézou ATP, je fakt, že zásoby kyslíku v těle jsou ve srovnání s jeho spotřebou velmi malé. Navíc v klidu nebo při střední intenzitě fyzické zátěže zůstává arteriovenózní diference kyslíku konstantní. To znamená, že rozdíl v množství kyslíku zjištěný ve vdechovaném

vzduchu oproti vdechovanému je přímým odrazem spotřeby kyslíku v tkáních.

Aplikujeme-li 1. termodynamický zákon na lidské tělo, pak platí, že energie uvolněná v oxidativních procesech je ve svém důsledku přeměňována v teplo a zevní práci. U člověka v klidu v termoneutrálním prostředí je množství tepla uvolněného oxidativními pochody (a měřeného nepřímou kalorimetrií) rovno množství tepelných ztrát do prostředí (měřeného přímou kalorimetrií). Proto koncepce přímé a nepřímé kalorimetrie vycházejí z logických předpokladů a při minimalizaci zevních artefaktů dávají shodné výsledky. Možnosti nepřímé kalorimetrie však není možno přeceňovat. Tato metoda dává přehled pouze o celkovém schématu metabolismu, který je sumou všech metabolických procesů probíhajících v organismu v době měření. Z tohoto pohledu metoda umožňuje odhad energetické potřeby organismu jako celku a informuje o celkové utilizaci energetických substrátů (sacharidů, lipidů a proteinů). Umožňuje odhad spotřeby energie a rozložení živin v klidu a při různých zátěžích organismu (u zdravých osob, obézních, ve stresu, nemoci, po úrazu, operaci apod.) Ve spojení s biochemickým vyšetřením dovoluje sledování metabolických regulací v organismu. Umožňuje sledovat účinnost využití potravy u různých fyziologických a patologických stavů a její ovlivnění faktory prostředí. Nedává však informace o utilizaci živin v jednotlivých orgánech a tkáních.

Pro hodnocení energetického výdeje organismu využíváme v praxi "nepřímou kalorimetrii", která je založena na analýze spotřebovaného množství kyslíku a vydaného objemu oxidu uhličitého. Rozbor CO_2 a O_2 odráží v klidu převážně metabolismus cukrů a tuků, ztráty dusíku v moči i míru zapojení bílkovinného metabolismu.

Vlastní analytický odběr celého množství vydechovaných plynů se provádí přímo do analyzátoru nebo do klasických Douglasových vaků či do speciálních pytlů z plastických hmot. Lze využít i další modifikovaný postup, a to odběr pouze vzorku (konstantní množství) potřebného pro analýzu.

3. Hodnocení bazálního metabolismu

Podmínky vyšetření: proband musí být v dlouhodobém tělesném a duševním klidu, 12 hodin po požití poslední stravy, 48 hodin po podání bílkovin. Pro přesné hodnocení bazálního metabolismu (BM) vyžadujeme, aby vyšetřovaný celých 12 hodin nevstával z lůžka. Důležitá je podrobná instrukce vyšetřovaného. Na základě vlastních zkušeností zastáváme názor, že je nutné dodržet minimálně 1 hodinu klidný leh před měřením.

Faktory měnící BM:

- svalový pohyb při testu
- svalová práce 1/2-1 hodinu před vyšetřením
- strava 12-14 hodin před vyšetřením
- psychická zátěž, stres, diskomfort

Faktory působící na BM:

- věk, výška, hmotnost
- pohlaví
- poloha těla
- podvýživa nebo obezita

- fyzická trénovanost
- klimatické podmínky
- spánek
- teplota těla

Faktory nevelkého významu:

- zaměstnání
- rasa
- převládající dieta
- menstruace

Bazální metabolismus zvyšuje: hypertyreóza, leukocytóza, polycytémie, hypertenze, Cushingův syndrom.

Bazální metabolismus snižuje: hladovění, hypotyreóza, anémie, Addisonova nemoc, lipidní nefróza, adiposogenitální dystrofie.

Orientačně možno provést srovnání s náležitou hodnotou BM:

muži.....167,47 kJ/h/m²
ženy.....154,91 kJ/h/m²

Výpočet procenta bazálního metabolismu:

$$\% \text{ BM} = (\text{BM}_v/h - \text{BM}_T/h) / \text{BM}_T/h \times 100$$

Při zvýšení teploty těla o 0,5 °C se zvyšuje BM o 7 %, každý vzestup o další 1 °C je doprovázen vzestupem BM o 13 %.

Za fyziologické rozpětí považujeme změny v rozsahu + 15 % až - 10 % od normy. Metodická chyba by neměla převýšit 7 % při opakovaném měření.

Při sledování a hodnocení BM vycházíme z předpokladu, že proband dodržel tělesný klid na lůžku, vyšetření probíhá nalačno, za optimální teploty prostředí, s vyloučením specifického dynamického účinku živin.

Všechna doposud uváděná kritéria jsou hypotetická, v praxi těžko dodržitelná. Na základě literárních údajů nacházíme např. v lednu BM vyšší o 10 % než v červenci. Protože striktně stanovené podmínky před vlastním měřením lze jen velmi obtížně dodržet, požadují někteří autoři zvýšení tabelárních hodnot BM o 10 - 20 % (při nezachování navrhovaných kautel) a nazývají dané měření hodnocením základního energetického výdeje (ZEV).

4. Hodnocení klidového energetického výdeje

Odběry provádíme obdobně jako při metodice měření BM. Změny jsou jen ve výchozích klidových podmínkách. Proband nedodrží přesně dlouhodobý pobyt na lůžku, vyžadujeme pouze 30 - 40minutovou dobu klidu (vleže) před vlastním odběrem. K výpočtu je opět potřebná analýza moči - množství močovin.

Kalkulace:

A - výpočet volumu O₂ a CO₂, včetně korekce na podmínky STPD.

B - výpočet podílu bílkovinného RQ:

Vycházíme z předpokladu, že 1 gram celkového dusíku v moči pochází z 6,25 gramů zmetabolizovaných bílkovin, které potřebují k reakci 5,92 litrů kyslíku. Organismus vydá 4,75 litrů oxidu uhličitého. Veškerou kalkulasi provádíme za stejný časový úsek (12 hodin, 24 hodin atd.).

Velmi důležitý je vlastní výpočet zmetabolizovaných bílkovin. Experimentálně byly hodnoceny změny metabolismu sérových bílkovin s menším poločasem aktivity - ceruloplazmin, transferin, prealbumin nebo změny hladiny konečného produktu metabolismu bílkovin - močoviny.

Z technických důvodů mohou jen některá pracoviště provádět stanovení celkového dusíku v moči, častěji se používá stanovení močoviny s tím, že v konečné fázi je dusík močoviny přepočten na celkový dusík moči. V tomto případě je třeba kvalitativně stanovit proteinurii a případné dusíkové ztráty z ní přičíst k celkovému nebílkovinnému dusíku.

Ostatní ztráty jsou poměrně konstantní a závislé na tělesné teplotě probanda.

Shrme-li uvedenou problematiku, je množství katabolického dusíku (N_K) možno vypočítat z údajů o:

- celkovém dusíku moči, jehož množství je možno vypočítat z dusíku urey přepočítávacím faktorem, přičemž je třeba vzít v úvahu případnou proteinurii,

- změnách koncentrace dusíku močoviny v celkové tělesné tekutině,

- ostatních ztrátách.

Výpočet celkového nebílkovinného dusíku v moči (N_M)

Koncentrace močoviny je udávána v mmol. Pro výpočet energie však potřebujeme ztráty dusíku vyjádřené v gramech. Převod provádíme ve dvou fázích:

a) Močovinu v mmol na dusík močoviny v g - pomocí korekčního faktoru 0,028.

b) Dusík močoviny na celkový (nebílkovinný) dusík - pomocí korekčního faktoru 1,20. Uvedený faktor je výrazně závislý na kvantitě přísunu bílkovin a objemu přijaté energie, jak ukazuje následující tabulka 2:

Tabulka 2

	Příjem bílkovin			Hladovění		
	vysoký	průměrný	nízký	1. den	2. den	průměr
Celkový dusík	23,0	13,0	4,2	7,0	14,0	12,2
Dusík močoviny						
% dusíku moč.	20,0	11,0	2,9	5,8	11,8	10,3
z celk. dusíku faktor přepočtu	87,0	84,6	69,0	82,9	84,3	84,5
N-močoviny na celkový N v moči	1,15	1,18	1,45	1,21	1,19	1,19

Bílkovinný dusík (N_p)

Ze zjištěných ztrát bílkovin při proteinurii, vyjadřovaných kvantitativně v g/l, provedeme výpočet. V případě analytického stanovení N_M mineralizací je koncentrace dusíku z bílkovin v moči zahrnuta ve výsledku stanovení.

$$N_p (g) = \frac{\text{ztráty bílkovin (g/l)} \cdot \text{diuréza (ml)} \cdot 0,16}{1\,000}$$

Dusík močoviny v séru (N_s)

Při hodnocení dusíkové bilance sledujeme dynamiku koncentrace sérové močoviny. Změny koncentrace dusíku

močoviny v tělesných tekutinách se vypočítávají jako prostý rozdíl mezi jednotlivými hladinami v průběhu denního sledování s korekcí, tzn. vypočteme je nejenom pro změny koncentrace v séru, ale vezmeme v úvahu i celkovou hmotnost tekutin v těle (hmotnost tekutin představuje 60 % z celkové hmotnosti těla). Pro hodnocení energetiky je uvedený postup nevžitý a je předmětem výzkumu.

Ostatní ztráty N_0

Ostatní ztráty jsou především stolicí a potom výrazná je jejich závislost na teplotě těla. Při katabolismu nacházíme změny o 10 - 20 % na 1 °C:

Teplota	Ztráta dusíku
do 37 °C	1,0 g/24 hodin
do 38 °C	1,3 g/24 hodin
do 39 °C	1,5 g/24 hodin
do 40 °C	1,8 g/24 hodin

Souhrnně můžeme vypočítat katabolický dusík (v g):

$$N_K = N_M + N_P + N_S + N_0 = \\ = N_U + N_{ost.NB} + N_P + N_S + N_0 = \\ = 1,2 \cdot N_U + N_P + N_S + N_0$$

N_U dusík močoviny (g)

$N_{ost.NB}$ součet koncentrací dusíku z nebílkoviných dusíkatých látek v moči (g)

C - výpočet zmetabolizovaných bílkovin ($B_{zmet.}$)

$$B_{zmet.} = N_K \cdot 6,25$$

N_K množství katabolického dusíku (g)

D - výpočet spotřebovaného množství O_2 a vydaného CO_2 pro dané množství zmetabolizovaných bílkovin

$$SPOTŘ. O_2 = N \cdot 5,92$$

$$VYDAN. CO_2 = N \cdot 4,75$$

(je nutné, aby všechny hodnoty byly vždy kalkulovány za stejný časový úsek)

E - na základě vypočítaných objemů O_2 a CO_2 , které se účastnily metabolismu bílkovin, vypočteme množství obou plynů podílejících se na metabolismu uhlovodanů a lipidů. Vypočteme tzv. nebílkoviný respirační koeficient (RQ_N):

$$V_1 = V_2 - V_3$$

$$RQ_N = \frac{V_1}{V_2}$$

$$A_1 = A_2 - A_3$$

RQ_N nebílkoviný respirační koeficient

V_1 volum CO_2

V_2 volum CO_2 celkový

V_3 volum CO_2 z bílkovin

A_1 volum O_2

A_2 volum O_2 celkový

A_3 volum O_2 z bílkovin

F - na základě výpočtu nebílkovinného RQ prove-

deme odečet odpovídajícího množství uhlovodanů a lipidů z tabulky 3.

G - zjištěné hodnoty vynásobíme spotřebovaným objemem O_2 získáme (v gramech) množství zmetabolizovaných lipidů ($lipidy_{zmet.}$) a zmetabolizovaných sacharidů ($sacharidy_{zmet.}$) $lipidy_{zmet.} = \text{hodnota lipidů dle tab. 3} \cdot \text{objem } O_2$ $sacharidy_{zmet.} = \text{hodnota sach. dle tab. 3} \cdot \text{objem } CO_2$

H - tím získáme množství zmetabolizovaných sacharidů, lipidů a bílkovin, které převedeme na metabolickou energii:

$$E_S (\text{v kJ}) = \text{množ. sacharidů} \cdot 4,0 = \text{energie v kcal} \cdot 4,18 (\text{v g})$$

$$E_L (\text{v kJ}) = \text{množ. lipidů} \cdot 9,0 = \text{energie v kcal} \cdot 4,18 (\text{v g})$$

$$E_B (\text{v kJ}) = \text{množ. bílkovin} \cdot 4,0 = \text{energie v kcal} \cdot 4,18 (\text{v g})$$

Tabulka 3

Množství metabolizovaných sacharidů a tuků na základě nebílkovinného respiračního kvocientu

Respirační kvocient	Gramy	
	sacharidy	tuky
0,707	0,000	0,502
0,71	0,016	0,497
0,72	0,055	0,482
0,73	0,094	0,465
0,74	0,134	0,450
0,75	0,173	0,433
0,76	0,213	0,417
0,77	0,254	0,400
0,78	0,294	0,384
0,79	0,334	0,368
0,80	0,375	0,350
0,81	0,415	0,334
0,82	0,456	0,317
0,83	0,498	0,301
0,84	0,539	0,284
0,85	0,580	0,267
0,86	0,622	0,249
0,87	0,666	0,232
0,88	0,708	0,215
0,89	0,741	0,197
0,90	0,793	0,180
0,91	0,836	0,162
0,92	0,878	0,145
0,93	0,922	0,127
0,94	0,966	0,109
0,95	0,010	0,091
0,96	0,053	0,073
0,97	1,098	0,055
0,98	1,142	0,036
0,99	1,185	0,018
1,00	1,132	0,000

I - sumární hodnotu energie vypočteme :

$$E_C = E_S + E_L + E_B$$

E_Cenergie sumární (celková)

E_Senergie sacharidů

E_Lenergie lipidů

E_Benergie bílkovin

J - celkovou energii můžeme srovnávat např. s Weirovou formulí pro energetický výdej:

$$E_{\text{weir}} = 4,1868 (3,941.s + 1,106.b \pm 2,17.c)$$

s..... spotřeba O_2 v l

b..... výdej CO_2 v l

c..... celkové množství N v moči v g

K - k vlastnímu procentuálnímu vyjádření použijeme následující vzorec:

$$EV \% = \frac{A - B}{B}$$

A naměřená hodnota energetického výdeje celková
B teoretická hodnota energetického výdeje dle Weirovy formule (3)

5. Nekalorimetrické metody jsou tyto:

1) Měření energetického výdeje organismu s důrazem na izotopovou metodu dvojité značené vody.

2) K měření a odhadu energetického výdeje byla vyvinuta i řada nekalorimetrických metod. Jsou založeny na principu:

- sledování srdeční frekvence nebo plicní ventilace,
- sledování denní aktivity, profesiografickém sledování, metodě časového snímku,
- pořizování kinematických záznamů, měření mechanické aktivity,
- sledování distribuce a vylučování izotopů biogenních prvků v těle.

Asi před 25 lety došlo k značnému rozvoji sledování srdeční frekvence (SF) a jejího využívání k odhadu energetického výdeje, např. podle vztahu:

$$EV = 4,1868 \cdot (0,1.SF - 6,5) \text{ kJ/min.}$$

Základním problémem však zůstala konverze srdeční frekvence na hodnoty EV pro individuálně odlišné konverzní vztahy. Navíc korelace mezi těmito veličinami není lineární v celém rozsahu měření. V rozmezí SF mezi 80-110 tepy za minutu, kdy se u různých osob překrývá klidová a pracovní SF, je výpočet EV nejistý. Také některé zevní faktory, jako např. strava, změny postoje nebo polohy těla, kouření, emoce apod. mění srdeční frekvenci nezávisle na energetickém výdeji. To je častým zdrojem chyb v odhadu EV (5).

Podobná úskalí skrývá i odhad EV podle minutové ventilace (MV). Velikost EV vypočítáme např. $EV = 4,1868 \cdot (0,23.MV - 0,6) \text{ kJ/min.}$ Použití této metody je limitováno minutovou ventilací do 40 l/min, protože při vyšších intenzitách fyzické zátěže už neplatí předpoklad trvalého využití konstantního poměru kyslíku z ventilovaného vzduchu. Sledování denní aktivity a kine-

matický záznam jsou metody vhodné k určení indexu fyzické aktivity a nanejvýš k hrubému odhadu EV pomocí tabulek, ale jako takové nemohou být považovány za metody měření energetického výdeje.

Metoda využívající dvojité značené vody $^2H_2^{18}O$ slouží k měření celkového energetického výdeje člověka v delším časovém období. Je založena na principu měření EV z produkce CO_2 , kterou lze zjistit z rozdílů v množství a obratu 2H_2O a $H_2^{18}O$ v tělesné vodě. Předpokládá se, že když subjekt dostane jednorázově určitou dávku značené vody, 2H_2 opouští tělo jako 2H_2O a odpovídá výdeji vody, zatímco ^{18}O se začlení do $H_2^{18}O$ a $C^{18}O_2$, přičemž můžeme měřit výdej vody močí a CO_2 plícemi. Tato metoda se těší zvláště v poslední době značné popularitě pro své nesporné přednosti. Jsou jimi:

- 2H_2 ani ^{18}O nejsou radioaktivní izotopy,
- možnost dlouhodobého sledování EV (2-3 týdny),
- jednoduchá metodika,
- možnost současného sledování složení těla cestou celkové vody,
- možnost současného sledování velkého množství osob,
- u laktujících žen metoda umožňuje sledovat produkci mléka a hodnotit EV dítěte.

Kromě nesporných předností má tato metoda i své nevýhody. Jsou jimi:

- vysoká cena izotopu ^{18}O a analýzy,
- změření produkce CO_2 bez spotřeby O_2 představuje možnost 5x větší potenciální chyby při výpočtu EV použitím energetického ekvivalentu CO_2 (20,97 - 27,75 kJ/l CO_2),
- potřeba různých korekčních faktorů, které zvětšují chybu metody,
- metoda dává jen průměrnou hodnotu EV za 2-3 týdny, není možné 24hodinové měření EV a sledování krátkodobých změn EV.

Závěr

Hodnocení EV organismu a zjišťování poměru oxidovaných živin v klidu a jejich změn při působení různých zevních i vnitřních faktorů přibližuje poznávání fyziologických pochodů a regulací, které probíhají v metabolicky aktivních tkáních za různých podmínek. Protože právě v metabolických procesech existuje značná interindividuální variabilita, je ve složitějších případech hodnocení EV jedinou cestou, která přispěje k racionálnímu zajištění nutriční podpory osob (5, 6, 7, 8).

Každá z popisovaných metod měření energetického výdeje je založena na jiném teoretickém principu. Každá má své specifické rysy, její využití spadá do různých sfér vědeckého zájmu. Abstrahujeme-li od těchto zvláštností, srovnávací studie ukazují, že nejsou velké rozdíly mezi hodnotami EV naměřenými prostřednictvím jednotlivých metod. Daleko větší chyby a nepřesnosti, než jaké s sebou přináší jednotlivé metodiky, vznikají tehdy, když se nevěnuje mimořádná péče standardizaci zevních i vnitřních podmínek při vyšetřování. Výběr použité metody nebo jejich kombinace záleží spíše na možnostech konkrétního pracoviště, konstrukci vyšetřovacího protokolu a na požadovaném přínosu vyšetření.

Souhrn

Hodnocení energetického výdeje (EV) organismu přispívá k racionálnímu zajištění nutriční podpory osob. Práce přibližuje teoreticky složení energetického výdeje a možnosti jeho ovlivnění fyziologickými i patologickými procesy. Rozebírá jednotlivé metody měření a odhadu EV, jejich přednosti a nevýhody a snaží se klasifikovat je z hlediska jejich optimálního využití. Zaměřuje se hlavně na nepřímou energometrii, se kterou mají autoři největší zkušenosti, a podává podrobný přehled postupu výpočtu EV a oxidace energetických substrátů. Přehled je doplněn o zhodnocení přímé energometrie a nekalorimetrických metod odhadu EV.

Literatura

1. MARTINÍK, K.: Fyziologické vyšetřovací metody v hygieně práce. Učební text VLVDÚ JEP. Sv. 221. Hradec Králové, VLVDÚ JEP 1986. 156 s.

2. BERTRANDT, J. et al.: Hodnocení energetického výdeje studentů. In: Sborník vědeckých prací VLVDÚ JEP Hradec Králové. 106. 1988, s. 177.
3. WEIR, J. B. W.: New methods for calculating metabolic rate with special reference to protein metabolism. J. Physiol. 109, 1949, s. 1-9.
4. MARTINÍK, K.: Speciální vyšetřovací metody v hygieně práce. In: Učební text VLVDÚ JEP. Sv. 234. Hradec Králové, VLVDÚ JEP 1987. 156 s.
5. CHALOUPKA, J. et al.: Changes of some parameters of energy metabolism in patients with enteral thin tube nutrition. Physiol. bohemoslov., 38, 1989, s. 518.
6. MARTINÍK, K.: Možnosti a metody hygienické analýzy zdraví ve fyziologické laboratoři hygieny práce. Inform. Zprav. VLA JEP Hradec Králové, 29, 1988, č. 2/3, s. 69-88.
7. MARTINÍK, K. - CALÁBEK, M. - PEŠL, P.: Využití mikro-počítačového systému pro hygienickou analýzu zdravotního stavu. Inform. Zprav. VLA JEP 29. Hradec Králové, 29, 1988, č. 2/3, s. 89-114.
8. CHALOUPKA, J. et al.: Some biochemical and metabolic changes in the organism after peroral administration of saccharides. Physiol. bohemoslov., 39, 1990, s. 263.

Klíčová slova: Kalorimetrie; Spotřeba kyslíku; Výdej CO₂; Energetický výdej.