UNIVERZITA KARLOVA

FARMACEUTICKÁ FAKULTA V HRADCI KRÁLOVÉ

Katedra biofyziky a fyzikální chemie

NEPŘÍMÁ KALORIMETRIE A ENERGETICKÝ METABOLISMUS

Bakalářská práce

Vedoucí bakalářské práce: Mgr. Monika Kuchařová, Ph.D.

Hradec Králové, 2024

Kateryna Kopačová

Prohlášení

Prohlašuji, že tato práce *„Nepřímá kalorimetrie a energetický metabolismus“* je mým původním autorským dílem. Veškerá literatura a další zdroje, z nichž jsem při zpracování čerpala, jsou uvedeny v seznamu použité literatury a v práci řádně citovány. Práce nebyla využita k získání jiného nebo stejného titulu.

V Hradci Králové dne ……

……

Kateryna Kopačová

Poděkování

Chtěla bych poděkovat vedoucí práce, paní Mgr. Monice Kuchařové, Ph.D., za odborné vedení, trpělivost a ochotu, kterou mi v průběhu zpracování bakalářské práce věnovala.

Obsah

1 Seznam použitých obrázků a tabulek 6
2 Seznam příloh 6
3 Seznam použitých zkratek 7
4 Úvod 8
5 Termodynamika 9
5.1 Základní pojmy 9
5.2 Termodynamické zákony 11
5.3 Termodynamika a přeměny energie v organismu 13
5.4 Termoregulace organismu 13
6 Energetický metabolismus 15
6.1 Energetický ekvivalent 15
6.2 Respirační výměnný poměr a respirační kvocient 16
7 Energetický výdej 17
7.1 Bazální metabolismus 18
7.2 Stanovení energetického výdeje 19
7.3 Kalorimetrie 22
7.3.1 Měrné zařízení pro nepřímou kalorimetrii 24
8 Energetický příjem 26
8.1 Intermediární metabolismus 27
8.1.1 Sacharidy 27
8.1.2 Lipidy 28
8.1.3 Proteiny 29
8.2 Metabolismus kriticky nemocných pacientů 30
8.2.1 Vhodná výživa pro kriticky nemocné 33
9 Obezita 34
9.1 Spánek a obezita 37
9.2 Měření REE pomocí IC u obézních pacientů 38

9.3 Léčba obezity 39
10 Příklad použití nepřímé kalorimetrie 41
11 Závěr 45
12 Použitá literatura 46

1 Seznam použitých obrázků a tabulek

Obrázky:

Obrázek 1: Trojný bod (2) 9
Obrázek 2: Syntéza ATP (10) 15
Obrázek 3: Energetický výdej v procentech (22) 17
Obrázek 4: Vývoj nepřímé kalorimetrie (20) 22
Obrázek 5: Schéma nepřímé kalorimetrie (18) 25
Obrázek 6: Metabolismus glukózy (28) 28
Obrázek 7: Metabolismus lipidů (28) 29
Obrázek 8: Vliv kritického stavu na metabolismus (19) 32
Obrázek 9: Schéma měření REE (24) 34
Obrázek 10: Instrumentace nepřímé kalorimetrie (1 – měření pulsu a krevní saturace, 2 – PC program, 3 – Quark RMR, 4 – kanopa, 5 – lůžko, 6 – kalibrační směs plynů) 41
Obrázek 11: Kalibrační plyn 42
Obrázek 12: Přísun vzduchu 43
Obrázek 13: Záznam hodnot 43

Tabulky:

Tabulka 1: Energetický výdej fyzické práce (13) 18
Tabulka 2: Účinek hormonů na mechanismus proteinů (21) 30
Tabulka 3: Index tělesné hmotnosti (20) 35

2 Seznam příloh

Příloha 1: Výstup z měření nepřímou kalorimetrií 50

3 Seznam použitých zkratek

AEE	activity energy expenditure, energetický výdej při aktivitě
BIA	bioelectrical impedance analysis, impedanční bioelektrometrie
CF	cardiac frequency, srdeční frekvence
CRRT	continuous renal replacement therapy, mimotělní kontinuální metoda očišťování krve
DIT	diet induced thermogenesis, termogeneze vyvolaná stravou
ECMO	extracorporeal membrane oxygenation, mimotělní membránové oxygenaci
EE	energy expediture, energetický výdej
FMT	fecal microbiota transplantation, transplantace fekální mikrobioty
GIT	gastrointestinální trakt
IC	indirect calorimetry, nepřímá kalorimetrie
ICHS	ischemická choroba srdeční
MK	mastná kyselina
NDIR	nondispersive infrared sensor, nedisperzní infračervený senzor
OSAS	obstructive sleep apnea syndrome, spánková obstrukční apnoe
REE	resting energy expenditure, klidový energetický výdej
RER	respiratory exchange ratio, respirační výměnný poměr
RQ	respiratory quotient, respirační kvocient
TAG	triacylglycerol
VMK	volná mastná kyselina

4 Úvod

V dnešní době, kdy obezita a s ní spojené metabolické poruchy představují významný zdravotní problém ve společnosti, se stále více klade důraz na porozumění energetickému metabolismu a jeho regulaci. Jedním z klíčových nástrojů pro studium energetického metabolismu je nepřímá kalorimetrie, která umožňuje přesně měřit energetickou spotřebu organismu. Tato metoda je zásadní nejen pro pochopení procesů v těle, ale také pro lékařskou diagnostiku a terapii.

První část práce se zabývá základními principy termodynamiky a energetického metabolismu, které jsou klíčové pro pochopení fungování nepřímé kalorimetrie. Následně představím nepřímou kalorimetrii včetně její aplikace při sledování energetického metabolismu a rovněž se zaměřím na faktory, které ovlivňují proces měření. Druhá část práce se věnuje konkrétnímu využití nepřímé kalorimetrie v oblasti kritických stavů u pacientů závislých na intenzivní péči a také se zde zabývám samotnou problematikou obezity.

Cílem této práce je přispět k hlubšímu porozumění vztahu mezi energetickým metabolismem a zdravotními stavy, které jsou spojeny s poruchami metabolismu. Pouze prostřednictvím lepšího pochopení energetického metabolismu a spolehlivých metod jeho měření můžeme lépe porozumět patofyziologii onemocnění spojených s energetickou poruchou regulace a vyvinout účinnější terapeutické strategie.

5 Termodynamika

Termodynamika je věda zkoumající přenos energie a interakce hmoty ve formě tepla a práce. Její zákony, včetně zákona zachování energie a druhého zákona termodynamiky, poskytují základní rámec pro porozumění energetickým procesům.

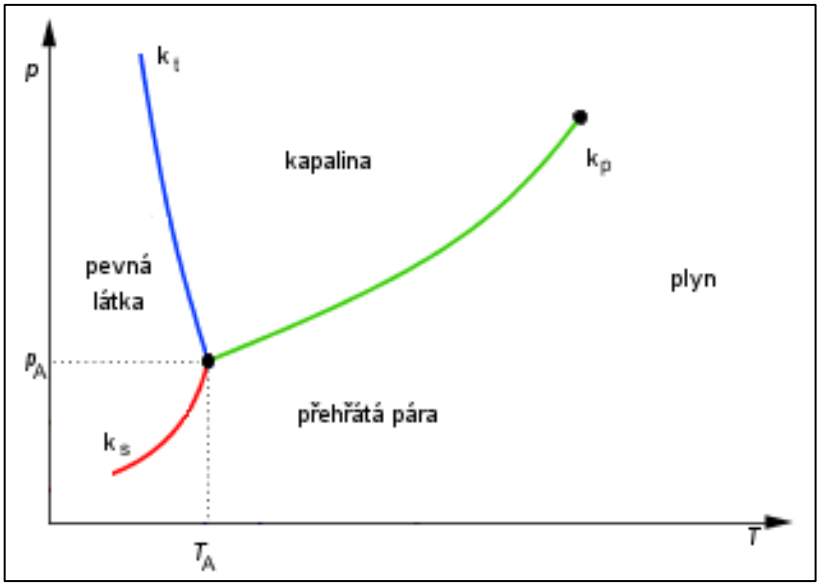
5.1 Základní pojmy

Termodynamická teplota (T)

Jedná se o relativní fyzikální veličinu, jejíž jednotkou v soustavě SI je kelvin (K). Je definovaná stanovenou dolní hranicí teploty (0 K) a teplotou trojného bodu vody (T_A = 273,16 K) (*Obrázek 1*). Interval 0 K až 273,16 K je velikost termodynamické teploty. Čím více se hodnota blíží k 0 K, tím nižší je vnitřní energie. Hodnoty 0 K však nelze úplně dosáhnout. (1)

Pomocí T lze definovat Celsiovu teplotu t:

$$t = (\{T\} - 273{,}15\ )\ [℃]. \qquad (1)$$



Obrázek 1: Trojný bod (2)

Teplo (Q)

Částice jsou v neustálém pohybu a vykonávají tak posuvný, rotační a kmitavý pohyb. Působí na sebe kinetickou a potenciální energií. Suma energií všech částic, které

tvoří těleso, představuje vnitřní energii (*U*). Jedná se o veličinu, která se v čase mění. Změna *U* je možná 2 způsoby: tepelnou výměnou a konáním práce. (1)

Teplo je tedy forma energie, která je při kontaktu přenášená mezi tělesy. Tento děj probíhá, dokud nedojde k úplné rovnováze. Je měřeno v joulech (J). Práce (*W)* i teplo jsou dějové veličiny. Rozlišení nelze provést jenom na základě pozorování konečného a výchozího stavu, ale je potřeba sledovat celý děj. (3)

Měrná tepelná kapacita (*c*)

S přijatým teplem roste vnitřní energie a teplota tělesa. Vzrůst tepla je tedy přímo úměrný kapacitě tepla (*C*) a rozdílu teplot *(*ΔT). Tento vztah lze vyjádřit:

$$Q = C \,.\Delta T. \qquad (2)$$

Jednotkou je tedy J. K^{-1}. Měrná tepelná kapacita je závislá i na hmotnosti. S větší hmotností, se musí dodat více tepla, aby se teplota zvýšila o 1 K. Jestliže $c = \frac{C}{m}$, tak vztah vypadá následovně:

$$Q \; = c \,.m \,.\; \Delta T. \,[\mathrm{J} \,.\mathrm{kg}^{-1}.\mathrm{K}^{-1}] \qquad (3)$$

Číselně vyjadřuje *c* množství tepla, které se musí dodat 1 kg látky, aby došlo ke zvýšení teploty o 1 K. (1)

Kalorimetrická rovnice

Měrná tepelná kapacita definuje tepelné vlastnosti látek a měříme ji kalorimetrem. Kalorimetr je uzavřená nádoba s teploměrem a míchadlem. A díky tepelné izolaci není kalorimetr ovlivněn vnějším okolím. Po vložení tělesa do kapaliny (o rozdílné teplotě), dojde k tepelné výměně. Ta probíhá, dokud nedojde k rovnováze:

$$Q_1 = \; Q_2$$

$$c_1 \,.m_1 \,.(t - t_1) = \; c_2 \,.m_2 \,.(t_2 - t), \qquad (4)$$

kdy *t* je výsledná teplota, Q_1 je teplo, které přijme kapalina a Q_2 je teplo, které odevzdá těleso kapalině. (1)

Entropie (*S*)

Entropie je stavová veličina, která definuje každou rovnovážnou i nerovnovážnou soustavu. Pro její určení není třeba pozorovat celý děj, stačí pouze počáteční a koncová

hodnota. Vyjadřuje neuspořádanost systému. Při samovolném nevratném ději roste, ale při dějích vratných se nemění. (3) Pokud bychom chtěli entropii definovat, získáme vztah:

$$Q \leq T\,\Delta S. \tag{5}$$

5.2 Termodynamické zákony

Nultý termodynamický zákon

Tento zákon popisuje stav homogenní soustavy v rovnováze, který je dán souborem všech vnějších veličin a jedinou veličinou vnitřní. Mezi vnitřní veličiny patří např. empirická teplota nebo vnitřní energie. Jedná se o postupný přechod soustavy z nerovnovážného stavu do rovnovážného, ze kterého už soustava samovolně nevyjde. (3)

První termodynamický zákon

Pokud se jedná o izolovanou soustavu s neproměnným látkovým množstvím, tak změnu vnitřní energie lze provést pouze dějem – prací, výměnou tepla nebo obojím. Zákon zachování energie říká, že změna vnitřní energie systému (ΔU) je rovna součtu tepla dodaného do systému (Q) a práce vykonané systémem (W):

$$\Delta U = Q + W. \tag{6}$$

Avšak při určitých typech dějů tento vztah neplatí. Konkrétně se jedná o děj cyklický a adiabatický. Cyklický děj má konečný i výchozí stav stejný. Počáteční vnitřní energie systému (U_1) je rovna nule. To znamená, že systém nemá žádnou vnitřní energii na začátku sledovaného období nebo procesu. Zároveň počáteční vnitřní energie systému (U_1) je rovna konečné vnitřní energii systému (U_2). To naznačuje, že vnitřní energie systému zůstává konstantní během sledovaného období nebo procesu. Výsledný vztah říká, že celkové teplo dodané do systému (Q) plus celková práce vykonaná systémem (W) musí být rovna nule. To znamená, že ve sledovaném procesu se žádná energie neztratí ani nezíská – veškerá dodaná energie se buď stane teplem (zvýší vnitřní energii systému), nebo se vykoná jako práce.

$$U_1 = 0 \wedge U_1 = U_2$$
$$Q + W = 0. \tag{7}$$

Pro adiabatický děj platí to, že nedochází k výměně tepla s okolím a současně vnitřní energie systému (ΔU) se změní pouze v důsledku práce (W) provedené systémem. Tato práce může být vykonána buď na okolí, což způsobuje, že vnitřní energie systému klesá, nebo naopak, práce může být vykonána systémem, což způsobuje zvýšení jeho vnitřní energie:

$$Q = 0 \text{ J}$$
$$\Delta U = W. \quad (8)$$

Plné znění termodynamického zákona je:

„Energii soustavy lze změnit výměnou tepla, práce nebo chemické práce s okolím.“ (3; 4)

Druhý termodynamický zákon

Druhý zákon termodynamiky se zaměřuje na směr, kterým spontánní procesy probíhají. Mnoho takových procesů je za daných podmínek nevratných, což znamená, že probíhají pouze v jednom směru. Nevratný proces je takový, který závisí na konkrétní cestě, a pokud probíhá pouze v jednom směru, tak není možná reverzibilita. Na tomto principu probíhají procesy v přírodě. (4; 5)

Už v roce 1824 byl Carnotem formulován poznatek, že práce se koná tehdy, pokud teplo přechází z teplejšího tělesa na studenější. Clausius o pár let později z toho tvrzení vycházel a tvrdil:

„Je nemožné cyklickým procesem přenášet teplo z chladnějšího tělesa na teplejší, aniž se přitom změní jisté množství práce na teplo.“

Na základě toho Oswald zavedl termín perpetuum mobile 2. druhu. Tvrdil, že toto perpetuum mobile, které by pouze ochlazovalo okolní tělesa, nelze sestrojit. (3)

Třetí termodynamický zákon

Tento zákon se zabývá chováním systémů při extrémně nízkých teplotách blízkých absolutní nule (0 Kelvinů). Tento zákon říká, že nelze dosáhnout teploty absolutní nuly (0 K) v konečném počtu kroků při adiabatickém chlazení systému. Absolutní nula je teoretický stav, ve kterém jsou částice systému v nejnižším možném energetickém stavu a pohyb částic je zcela zastaven.

Experimenty ukazují, že pokud se teplota blíží k nule, tak entropie se stává nezávislou na p a V. Pro vratné změny se ΔS blíží nule pro $T \rightarrow 0$.

Gottfried Falk tedy definoval třetí termodynamický zákon tímto způsobem:
„Energie a entropie libovolného fyzikálního systému mají každá odděleně svou nejmenší hodnotu, kterou lze normovat k nule. Je-li energie minimální, je i entropie minimální.“
(3)

5.3 Termodynamika a přeměny energie v organismu

Původní představa, že organismus je pouhý chemický stroj, byla vyvrácena studiem výdeje tepla u morčete pomocí ledu. Ukázalo se, že i pro organismus platí 1. a 2. zákon termodynamiky. (6)

Organismus funguje spíše jako transformátor, který přeměňuje chemickou energii na mechanickou, osmotickou, elektrickou, tepelnou nebo zpět na chemickou. Organismus není schopen vytvářet energii z ničeho (1. termodynamický zákon), ale pouze ji přeměňovat, a to s určitou mírou ztrát (2. termodynamický zákon). Tělo využije pouze 44 % přijaté energie, zatímco 56 % se uvolní ve formě tepla. Tím se zvyšuje tepelná energie, která je přímo úměrná entropii. (6) Podíl, který jde do každé formy, závisí jednak na tom, kolik jíme a zároveň na úrovni fyzické aktivity. Pokud jíme více, než je potřeba k vykonání práce a udržení tepla, zbytek se ukládá jako tělesný tuk. Jako příklad může sloužit aerobní oxidace 1 molu glukózy. (6; 7)

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \rightarrow 6CO_2 + 6H_2O + 2862{,}8\ \text{kJ}.$$

5.4 Termoregulace organismu

Teplota živočichů je závislá na vnějším prostředí. To znamená, že při změně teploty vnějšího prostředí se změní i tělesná teplota. Exponenciálně se tomu přizpůsobí rychlost metabolických procesů v organismu. Tuto závislost lze vyjádřit rovnicí:

$$M = M_o(1{,}1)^{Tio-Ti} \qquad (9)$$

Mo – rychlost metabolismu při výchozí tělesné teplotě *Tio* [°C], *m* je rychlost metabolismu při okamžité tělesné teplotě *Ti* [°C.]

Ze vztahu (9) plyne, že změna tělesné teploty o 1 °C vyvolá 10% změnu metabolických procesů. S poklesem tělesné teploty klesá metabolická aktivita organismu,

a tedy klesají i fyziologické funkce. Rozlišujeme tak živočichy homoiotermní se stálou tělesnou teplotou a poikilotermní, kdy se tělesná teplota mění se změnou vnějšího prostředí.

Teplota lidského těla je jeden z důležitých parametrů charakterizující zdravotní stav člověka. Bazální teplota se může měnit s cirkadiánním rytmem v rozmezí 36,3 – 36,9 °C. Nejnižší tělesná teplota je po ránu. V průběhu dne pozvolně narůstá a nejvyšší hodnoty jsou odpoledne. Fyzická práce má poměrně výrazný vliv na tělesnou teplotu. Může dojít k jejímu zvýšení až o 2°C. (6)

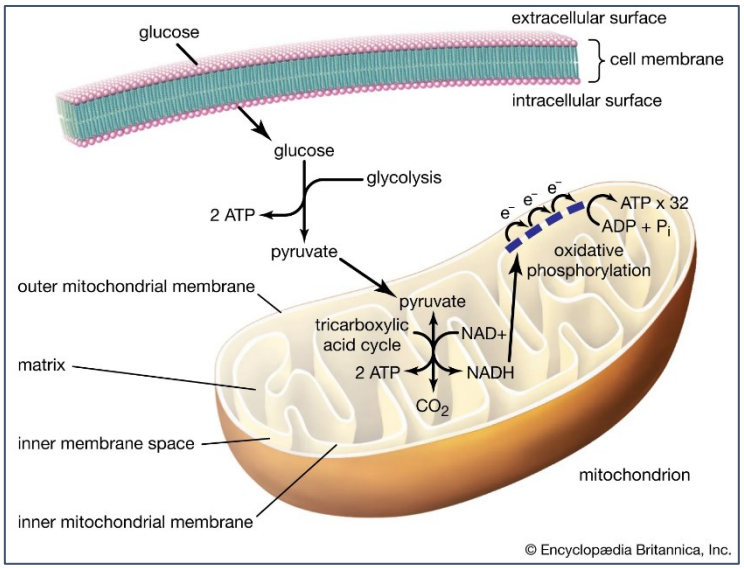
Termoregulace je rozdělena do autonomní, behaviorální a adaptační složky. Autonomní termoregulace je řízena nervovými procesy spojenými se sympatickým a parasympatickým nervovým systémem a slouží k udržení stabilní teploty uvnitř těla. Základní autonomní mechanismy pro udržení stálé teploty jsou:

- Změna celkové energetické výměny
- Změna prokrvení
- Změna vylučování potu

Behaviorální složka zahrnuje rozhodnutí založená na vnímání tepelného pohodlí a nepohodlí a zahrnuje například pohyb do jiných lokalit, konzumaci tekutin nebo změny oblečení. Adaptační termoregulace je spojena s dlouhodobými změnami, které ovlivňují produkci nebo ztrátu tepla, jako je například zvýšení metabolismu nebo izolace kůže. (6; 8)

6 Energetický metabolismus

Energetický metabolismus je komplexní soubor biochemických procesů, který přeměňuje živiny z potravy na energii pro fungování organismu. Jeho klíčovými přeměnami jsou glykolýza, citrátový cyklus a oxidativní fosforylace, které produkují ATP, hlavní zdroj energie buněk. Oxid uhličitý je vedlejším produktem, který se dále využívá pro měření. (*Obrázek 2*) Poruchy v tomto metabolickém procesu mohou vést k vážným onemocněním, jako je obezita. (6; 9; 10)



Obrázek 2: Syntéza ATP (10)

6.1 Energetický ekvivalent

Každá organická látka má jiný energetický potenciál a různou spotřebu kyslíku, aby došlo k uvolnění energie (Q):

$$Q = C'.V(O_2), \qquad (10)$$

kdy C' znamená termický koeficient kyslíku vyjadřovaný v kJ a V (O_2) udává objem spotřebovaného kyslíku v litrech. Různé substráty uvolní při spotřebě 1 litru kyslíku různé množství energie.

Vztah $C' = \frac{Q}{V(O2)}$ vyjadřuje energetický ekvivalent. Pro sacharidy je jeho hodnota C = 21,1 kJ, pro lipidy 19,6 kJ a pro proteiny 18,8 kJ. K uvolnění energie dochází nejlépe u sacharidů a nejhůře u proteinů kvůli jejich strukturám. Průměrná hodnota ekvivalentu je 20,1 kJ, pokud se jedná o smíšenou stravu tvořenou 50-60 % sacharidy a 15-20 % proteiny a zbytek by tvořily lipidy. (6; 11)

Můžeme si všimnout, že proteiny mají nejnižší C', je to z důvodu obsahu dusíku v jejich strukturách, který se odečte. Tento dusík se musí totiž vyloučit z těla močovinovým cyklem, protože má toxické účinky na organismus. Močovina má také určité množství energie, konkrétně 1 mol močoviny po úplné oxidaci tvoří 627 kJ. (6)

6.2 Respirační výměnný poměr a respirační kvocient

Je důležité pochopit, jaké množství oxidu uhličitého vzniká z různých substrátů, protože může být pro organismus toxický. Zdravotníci na základě toho mohou doporučit, aby pacient upravil svou stravu, zejména pokud trpí plicními a jaterními onemocněními.

Respirační výměnný poměr (RER – respiratory exchange ratio) přímo měří množství CO_2 uvolněného z úst k množství O_2 absorbovaného a nevyžaduje invazivní postupy. To umožňuje odhadnout, jaké látky jsou oxidovány během dýchání. Naopak respirační kvocient (RQ) měří tento poměr přímo v tkáni na buněčné úrovni. Vyžaduje arteriální a žilní katétr při monitorování krevního tlaku. Odhad RQ za ustálených podmínek je důležitý pro výpočet energetického výdeje pomocí nepřímé kalorimetrie (IC – indirect calorimetry). (9; 12)

Respirační kvocient (RQ – respiratory quotient) je definován jako poměr objemu uvolněného oxidu uhličitého k objemu kyslíku absorbovaného během dýchání. Jedná se o bezrozměrné číslo, které se používá při výpočtu bazální metabolické rychlosti, kdy se odhaduje z produkce oxidu uhličitého ku absorpci kyslíku.

$$RQ = \frac{objem\ uvolněného\ CO_2}{objem\ absorbovaného\ O_2} \qquad (11)$$

Vypočítává se pro konkrétní substráty, tj. sacharidy, tuky a bílkoviny. Sacharidy jsou přeměňovány glykolýzou, což vede ke stejnému poměru uvolňování CO_2 a spotřeby O_2. RQ je tedy roven 1. RQ pro tuky je 0,7 a pro bílkoviny je roven 0,8. Lipidy a bílkoviny uvolňují méně CO_2 než sacharidy. (9; 12; 13)

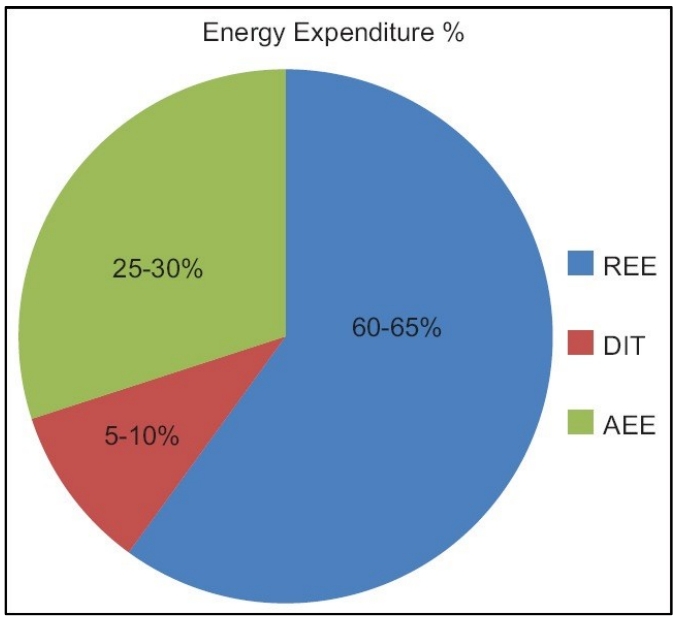
I když jsou RQ a RER založeny na měření stejných veličin, za určitých okolností se hodnoty mohou lišit, protože složky měření jsou získávány odlišně (buněčné dýchání versus vydechovaný vzduch). Maximální rozsah RQ je od 0,7 do 1,0. Rozsah RER se může pohybovat od <0,7 do >1,2. Za ustálených podmínek jsou RQ a RER stejné. RQ

a RER se mohou lišit např. za následujících podmínek: metabolická acidóza, neustálená fyzická zátěž, hyperventilace. (12; 14)

Pacienti trpící morbidní obezitou nebo sepsí vykazují odchylky v objemech vydechovaného CO_2 a spotřebě objemu O_2. Z tohoto důvodu jsou pravidelné hodnoty RQ a nepřímá kalorimetrie nezbytné k optimalizaci jejich stravy a snížení doby pobytu v nemocnici. (9)

7 Energetický výdej

Celkový energetický výdej je definován jako množství tepelné energie, kterou lidské tělo spotřebuje pro denní fungování a lze ho rozdělit do tří hlavních složek. *(Obrázek 3*)



Obrázek 3: Energetický výdej v procentech (22)

1. Bazální energetický výdej (EE – energy expediture) nebo výdej energie v klidu (REE – resting energy expenditure): energie použitá k udržení vitálních funkcí v klidu.
2. Termogeneze vyvolaná stravou (DIT – diet induced thermogenesis): energie spotřebovaná během metabolismu substrátů po jídle.
3. Energetický výdej při aktivitě (AEE – activity energy expenditure): energie spotřebovaná při fyzické aktivitě. (*Tabulka 1*)

Tabulka 1: Energetický výdej fyzické práce (15)

Tělesná namáhavost práce	Energetický výdej [kJ/min]
Klid	5,0
Lehká práce	14,6
Středně těžká práce	31,4
Těžká práce	41,8
Velmi těžká práce	62,8

Podle definice je REE energie potřebná k udržení základní buněčné metabolické aktivity a vitálních funkcí, jako je dýchání a tělesná teplota za nepřítomnosti nedávného příjmu potravy, fyzické aktivity a psychického stresu. (12; 15; 16; 17; 18)

7.1 Bazální metabolismus

Bazální metabolismus představuje množství energie, které tělo potřebuje k udržení základních životních funkcí. To znamená, že musíme dodat dostatečné množství energie, aby důležité orgány, jako je srdce a plíce, mohly nepřetržitě fungovat.

Při stanovení množství potřebné energie je důležité vzít v úvahu bazální podmínky:

- Bdělý stav zahrnuje situaci, kdy je osoba duševně i tělesně v klidu. Např. během spánku energetický výdej klesá o 10 %.
- Termoneutrální zóna, kdy osoba nepociťuje ani horko, ani zimu. Tato zóna je definována při teplotě 20 °C pro osobu oblečenou.
- Osoba je nalačno, kdy 12 hodin nepřijímala potravu.

V reálném životě je splnění těchto podmínek často složité. Proto se stanovuje klidový energetický výdej, který je měřen alespoň 2 hodiny po posledním příjmu potravy. Jeho hodnoty jsou obvykle o 10 % vyšší než hodnoty bazálního metabolismu. Faktory, které mají vliv na hodnotu bazálního metabolismus jsou např. pohlaví, věk, výška, tělesná hmotnost, tělesná teplota, klima, stav výživy, humorální či genetické faktory a také těhotenství nebo menstruace. (15)

Měření bazálního energetického výdeje ovlivňují další faktory a mohou být potenciálními zdroji chyb. Tělesná hmota bez tuku nejvíce koreluje s REE, a to nezávisle na věku, BMI a dalších proměnných. Vyšší REE je typické u mužů, ale k jeho vyšším hodnotám mohou přispět horečka, vystavení chladu a hypotermie. Některá onemocnění

mohou způsobit pokles nebo zvýšení REE. Rutinní ošetřovatelské postupy, jako je omytí pacienta nebo výměna obvazů, mohou zvýšit energetický výdej o 20 % – 36 %.

Dalším důležitým determinantem REE je současné užívání léků. Z těchto mohou látky, jako je kofein, nikotin a katecholaminy, způsobit zvýšení REE o 10 % – 20 %. Pokles REE je obvykle spojen se sedativy, analgetiky a alfa a beta blokátory. Účinek hormonů štítné žlázy na EE u lidí je významný. EE může klesat nebo stoupat až třikrát u člověka s hypotyreózou nebo hypertyreózou ve srovnání s hodnotami u člověka zdravého. Fyziologická dávka glukagonu zvýšila EE u lidí s fyziologickou hladinou inzulínu, zatímco hyperinzulinémie tlumila termogenní aktivitu glukagonu. (12; 13)

7.2 Stanovení energetického výdeje

Je důležité stanovit energetický výdej pro posouzení energetické náročnosti práce, pro pacienty závislé na parenterální nebo enterální výživě, pro diagnostiku poruch metabolismu nebo pro sportovce. Jeho hodnota se obvykle určuje pomocí kalorimetrie nebo prostřednictvím predikčních rovnic.

Pro číselné vyjádření energie by se měla používat jednotka SI joul (J), ale v praxi se více využívá starší jednotka kalorie (cal). Mezi těmito jednotkami je jednoduchý převod, kdy 1 cal je 4,185 J.

Mezi nejpoužívanější predikční rovnice patří rovnice Harrise-Benedicta, kterou vytvořili v roce 1919 J. A. Harris a F. G. Benedict.

Muži:
BM = 66,5 + 13,8 x hmotnost (kg) + 5,0 x výška (cm) – 6,8 x věk (roky) [kcal/den] (12)

Ženy:
BM = 655 + 9,6 x hmotnost (kg) + 1,8 x výška (cm) – 4,7 x věk (roky) [kcal/den] (13)

Pro stanovení aktuálního energetického výdeje (AEE) slouží rovnice vytvořená C. S. Ireton-Jones v roce 1992.

AEE = [629 - 11 x věk (roky)] + [25 x hmotnost (kg)] + (609 x o) [kcal/den] (14), kdy *o* ukazuje přítomnost obezity. Je-li BM > 27, tak *o* = 1. Pokud obezita není přítomna, je *o* = 0. (15)

Celkový průměrný denní energetický výdej (EE) v kcal je obvykle vypočten pomocí upravené Weirovy rovnice následovně:

$$EE = ([VO_2 \times 3{,}941] + [VCO_2 \times 1{,}11] + [uN_2 \times 2{,}17]) \times 1440 \text{ [kcal/den]} \quad (15)$$

Složka močového dusíku (uN_2) je často při výpočtu EE vynechávána, protože představuje pouze asi 4 % skutečného EE. Přispívá pouze k malé chybě 1 %–2 % při výpočtu konečného EE. Proto se běžně používá zjednodušená rovnice. (12; 13)

$$EE = ([VO2 \times 3{,}941] + [VCO2 \times 1{,}11]) \times 1440 \text{ [kcal/den]}. \quad (16)$$

Energetický výdej se dále může stanovit pomocí MET (metabolický ekvivalent), což je poměr pracovního a klidového metabolismu. Pracovní metabolismus se zjistí pomocí normovaných tabulek pro jednotlivé lidské aktivity. 1 MET se tedy rovná bazálnímu metabolismu. (15; 16)

Impedanční bioelektrometrie (BIA - bioelectrical impedance analysis) je metoda, která odhaduje tělesné kompartmenty, včetně množství tekutiny v intracelulárním a extracelulárním prostoru. Tato technologie je založena na odporu vůči průchodu střídavého proudu. Tenká tkáň je silně vodivá díky velkému množství vody a elektrolytů, které obsahuje, a proto má nízký odpor. Naopak tuk, kůže a kosti mají nízkou vodivost, a proto mají vysoký odpor. V současnosti jsou k dispozici váhy, které mají rovnice pro určení bazální rychlosti metabolismu zabudované do svého softwaru. (16)

Záznam srdeční frekvence (CF – cardiac frequency) využívá skutečnost, že srdeční frekvence stoupá s fyzickou aktivitou a tento nárůst úzce souvisí se spotřebou kyslíku. Umístění systému pro neustálý záznam CF by teoreticky umožnilo odhad energetického výdeje ze spotřeby kyslíku během delšího intervalu, kdy jedinec vykonává své aktivity. Výsledné hodnoty jsou však poměrně nepřesné. Za okolností, jako je velmi nízká úroveň energetického výdeje nebo přerušované cvičení, již neplatí předpoklad lineárního vztahu tepové frekvence a spotřebou O_2. (16; 17)

V dnešní době se čím dál více upřednostňuje nepřímá kalorimetrie, protože ani predikční rovnice nejsou natolik přesné. Žádná rovnice správně nepředpovídá EE každého jednotlivého pacienta, protože existuje mnoho determinantů EE (např. závažnost

traumatu, sepse, horečka), které mají neznámé dávkové odezvy a vzájemně se překrývají, sčítají nebo odečítají velmi komplikovaným způsobem. (16; 19; 20; 21)

Mnoho publikovaných prediktivních rovnic používaných k odhadu REE u obézních osob bylo vyvinuto z dat sbíraných u jedinců s normální váhou nebo pokud zahrnovaly osoby s různou váhou, neuváděly samostatnou analýzu pro podskupinu obézních. Proto výživová terapie řízená nepřímou kalorimetrií umožňuje zachytit denní variace REE a odpovídajícím způsobem přizpůsobit dodávku energie poptávce, čímž se zabrání známým negativním účinkům podvyživení a nadvyživení způsobeným nízkou přesností strategie REE založené na výpočtu. (12; 22; 23)

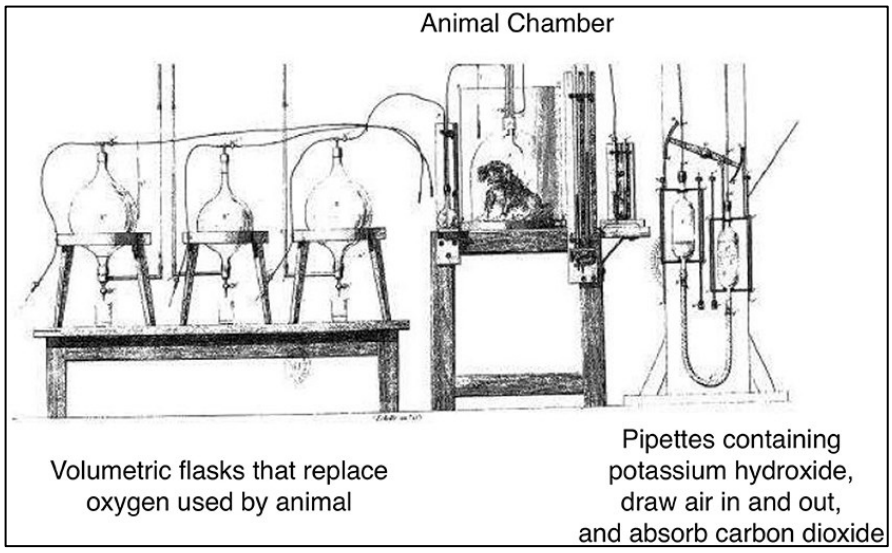
Studie od García-Peris et al zkoumala změny REE pomocí nepřímé kalorimetrie u pacientů s karcinomem hlavy a krku během chemoterapie. Zjistili, že Harris-Benedictova rovnice významně podhodnocovala REE před zahájením léčby a na konci sledovaného období. To naznačuje, že tato rovnice není vhodná pro přesné odhadování energetických potřeb u těchto pacientů. (14)

U pacientů COVID-19 rovnice Harrise-Benedicta často nadhodnocovala energetické cíle v prvním týdnu na jednotce intenzivní péče po intubaci. Jedná se o další příklad, který ukazuje, že současné používané prediktivní rovnice nepředpovídají přesně energetické potřeby u pacientů na JIP. Retrospektivní analýza údajů o IC u pacientů COVID-19 shromážděných na bruselské jednotce intenzivní péče odhalila velké rozdíly v korelaci mezi naměřenou a vypočtenou EE. (24)

Podle nedávných pokynů zveřejněných v roce 2016 Společností intenzivní medicíny (SCCM – Society of Critical Care Medicine) a Americkou společností pro parenterální a enterální výživu (ASPEN – American Society for Parenteral and Enteral Nutrition) byl jako optimální kalorický cíl u dospělých kriticky nemocných pacientů doporučen energetický požadavek vypočtený pomocí zjednodušených vzorců nebo publikovaných prediktivních rovnic a také měřený pomocí IC. Pokyny uvádějí IC jako metodu, která se má používat pro hodnocení energetických požadavků u kriticky nemocných pacientů, kdykoli je to možné. Bohužel tato metoda není v současné době v mnoha zdravotnických zařízeních dostupná. Z tohoto důvodu lékaři používají ke stanovení kalorických potřeb rovnice a svůj vlastní úsudek. (19; 25)

7.3 Kalorimetrie

Vývoj nepřímé kalorimetrie začal už v 18. století, kdy Lavoisier a Laplace poprvé měřili výměnu tepla, což vedlo k objevu zákona zachování energie. V 19. století Regnault, Reiset, von Voit a von Pettenkofer dále zkoumali metabolismus a vyvíjeli metody měření spotřeby kyslíku a produkce tepla. (*Obrázek 4*) V roce 1894 Rubner sestrojil první přímý kalorimetr, a Atwater s Ros vytvořili otevřený cirkulační systém pro nepřímé měření produkce tepla. V roce 1952 Müller a Franz vyvinuli přenosný oběhový systém masky, což umožnilo širší použití nepřímé kalorimetrie v medicíně a sportu. (20)



Obrázek 4: Vývoj nepřímé kalorimetrie (20)

Kalorimetrie se rozlišuje na přímou a nepřímou. Přímá (direktní) funguje na základě přímého stanovení tepla uvolněného z organismu, který byl tepelně izolován v kalorimetru. Tento postup je realizován v hermetických komorách s izolačními stěnami, kde je jedinec uzavřen a zaznamenává se nahromaděné teplo. Je nutných minimálně šest hodin k ustálení systému. Nejznámější metodou je Atwaterova komora, ve které je vyprodukované teplo absorbováno vodou. Teplo se poté kvantifikuje pomocí teploměrů nebo termosenzorů. Jedná se o poměrně nepraktickou metodu a nevýhodou je, že se musí měřit teplota v delších časových úsecích. Dále také nemůžeme určit vstřebání jednotlivých substrátů.

Nepřímá kalorimetrie (IC) je neinvazivní metoda a je založena na měření objemů vdechovaného a vydechovaného vzduchu. Za předpokladu, že chemická energie substrátu je získána v organismu po jeho úplné oxidaci, spotřebou kyslíku a uvolňováním oxidu uhličitého a vody je možné odhadnout množství celkově vyprodukovaného tepla

v organismu z určení objemu obou plynů. Nicméně, ačkoliv tento předpoklad platí pro sacharidy a tuky, neplatí pro proteiny. Během oxidačních procesů se dusíková frakce neoxiduje úplně a částečně je eliminována ve formě močoviny. Předpokládá se, že dusík odpovídá 16 % teoretického poolu proteinů a že ztráta 1 g dusíku v moči odpovídá energii vyprodukované během oxidace 6,25 g proteinu. (15; 16)

Metoda dvojitě značené vody je dalším typem nepřímé kalorimetrie a funguje na následujícím principu. Jedinec vypije vodu, která je označená neradioaktivním indikátorem – izotopem vodíku a kyslíku. Eliminovaná značená voda nebo HCO_3^- se dále zkoumá po jejím vyloučení z organismu ve formě moči nebo slin. Stanoví se tak celkové množství vody během určitého období (delší než 7 dnů). Kvantifikace probíhá pomocí hmotnostní spektrometrie. Utilizace živin se touto metodou neurčí, protože CO_2 nelze stanovit z důvodu odlišné eliminace. (15; 16; 17; 21)

Přesné určení EE je zásadně důležité, ale v klinické praxi často opomíjené. IC poskytuje jedno z nejcitlivějších, nejpřesnějších a neinvazivních měření EE u jedince. Během posledních pár desetiletí byla tato technika aplikována v klinických situacích, jako jsou akutní onemocnění a parenterální výživa. Kromě hodnocení nutričních potřeb také osvětlila různé aspekty vstřebávání živin, termogenezi, energetiku fyzického cvičení a patogenezi obezity a diabetu. Avšak kvůli minimální nebo žádné zkušenosti s IC poskytované během lékařského vzdělání jsou přínosy IC málo oceňovány. Novější technologie, nákladová efektivita a lepší porozumění způsobům interpretace měření by měly vést k častějšímu používání IC. (12)

IC je možné využít prakticky u všech onemocnění, která způsobují patologické změny metabolismu. Patří mezi ně např. jaterní cirhóza, AIDS, nádorová onemocnění, cystická fibróza. Dále je také IC důležitá pro starší pacienty, u kterých je zvýšené riziko srdečního selhání a Alzheimerovy choroby. U starších osob také klesá REE v důsledku klesajícího množství metabolicky aktivní tkáně. Typicky se IC využívá u kriticky nemocných pacientů na intenzivní péči. (18; 21)

U pacientů s akutním selháváním ledvin se často jako náhrada ledvin využívá mimotělní kontinuální metoda očišťování krve (CRRT – continuous renal replacement therapy). Je známo, že citrát používaný při CRRT mění metabolismus, proto je ke zjištění metabolických změn a při úpravě nutriční terapie indikována IC. Dále se IC začala

využívat při mimotělní membránové oxygenaci (ECMO – extracorporeal membrane oxygenation) za účelem získání přesných energetických výsledků.

Nedávná pandemie COVID-19 zvýšila potřebu přesného sledování metabolických změn u pacientů na jednotkách intenzivní péče (JIP). Studie LEEP-COVID využila novou generaci zařízení Q-NRG pro první longitudinální studii energetického výdeje u pacientů s COVID-19 na JIP. Výsledky ukázaly, že měření IC je možné provádět u těchto pacientů rutinně a bezpečně. Po intubaci byl zaznamenán významný nárůst energetických potřeb (hypermetabolismus), který přetrvával i ve druhém a třetím týdnu pobytu na JIP. Někteří pacienti dokonce vykazovali REE vyšší než dvojnásobek předpokládaných hodnot. (24)

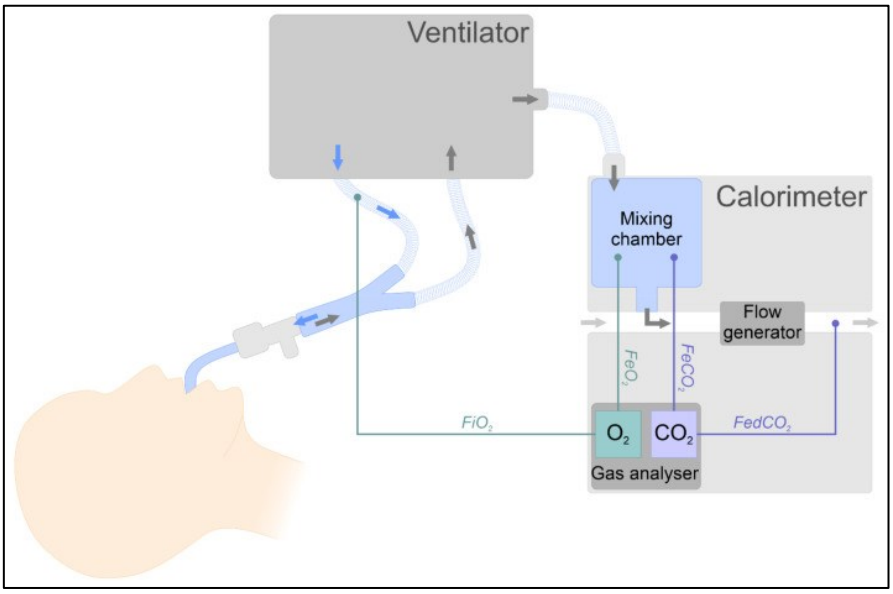
7.3.1 Měrné zařízení pro nepřímou kalorimetrii

IC lze rozdělit na 2 typy, které se liší uzavřeným či otevřeným okruhem vzduchu. Uzavřený okruh je vhodný pro studium malých zvířat a neumožňuje dlouhodobé monitorování u lidí. Obvykle také nadhodnocuje energetický bazální výdej. Naopak IC v otevřeném okruhu je přesnější a umožňuje delší měření. Vyžaduje ale průtok vzduchu se známým složením a má vyšší náklady kvůli určení O_2 a CO_2 infračerveným a magnetickým systémem. Existuje několik metod IC s otevřeným okruhem, které se liší v systému odebírání vydechovaného vzduchu. (12)

Princip Haldaneovy transformace předpokládá, že dusík je nerozpustný plyn a neúčastní se výměny plynů. V důsledku toho je jeho množství konstantní jak ve vdechovaném, tak ve vydechovaném objemu. Za předpokladu, že kyslík a oxid uhličitý jsou jedinými plyny vyměňovanými v plicích, lze vdechovaný objem vypočítat z objemu vydechovaného. (14)

Metoda s otevřeným okruhem byla jedním z prvních typů kalorimetrů a používá se dodnes. Subjekt dýchá z atmosféry a vydechuje do samostatného vývodu nebo subjekt vdechuje a vydechuje do proudu procházejícího vzduchu. V obou případech se proud vzduchu měří buď na vstupní, nebo na výstupní straně subjektu a buď se odebírá periodicky, nebo se vzorky pro analýzu plynů odebírají kontinuálně. Nejčastěji používanou metodou pro analýzu O_2 je paramagnetický senzor nebo senzor s palivovým článkem a pro CO_2 se využívá infračervený analyzátor. (20; 26)

Měření IC lze provádět pomocí ventilačního okruhu u mechanicky ventilovaných pacientů nebo pomocí kanopy či obličejové masky u spontánně dýchajících pacientů k analýze jejich nádechu a výdechu. (*Obrázek 5*) (20)



Obrázek 5: Schéma nepřímé kalorimetrie (18)

Pro měření IC je k dispozici mnoho zařízení. Deltatrac® byl nejvíce validovaným monitorovým zařízením, ale jeho výroba byla zastavena. Další zařízení, jako Quark RMR®, E- COVX®, CCM Express® a Vmax®, se ukázala jako rovnocenná nebo horší než Deltatrac. Některé mechanické ventilátory integrovaly funkce IC, ale nebyly validovány. Přenosná zařízení, jako Fitmate® nebo MedGem®, nebyla validována u kriticky nemocných pacientů. Pro překonání těchto nevýhod byl vyvinut Q-NRG®, jediné zařízení testované proti hmotnostní spektrometrii pro přesnost při určování inspiračního podílu kyslíku (FiO2) a lze ho použít u mechanicky ventilovaných i spontánně dýchajících pacientů. (12)

Současné údaje naznačují, že nový přístroj Q-NRG vyplňuje dlouholetou mezeru v péči o pacienty na jednotkách intenzivní péče a v klinické výživě. Je přesný, jednoduchý a snadno použitelný pro dlouhodobé měření IC u řady pacientů v prostředí JIP i mimo něj. Tyto vlastnosti umožňují široké použití IC u kriticky nemocných pacientů. Na základě přesné nutriční terapie se potenciálně omezí nedostatečná či nadměrná výživa. (24)

Řada studií se zaměřila na optimální podmínky pro provádění nepřímé kalorimetrie. Pro získání přesných výsledků musí být měření prováděna za přísného dodržování klidových podmínek. Záznam by měl být prováděn v tichém prostředí s tím, že jedinec odpočívá 10–15 minut před měřením. Subjekt by neměl přijímat stravu po dobu minimálně 5 hodin, měl by se vyvarovat cvičení po dobu minimálně 4 hodin a měl by vynechat příjem nikotinu, kofeinu a stimulačních doplňků stravy po dobu minimálně 4 hodin před kalorimetrickým hodnocením. (12)

Při měření je třeba brát v úvahu několik faktorů, které ovlivňují spolehlivost výsledků. Typ ventilace může ovlivnit měřený energetický výdej tím, že mění průtok plynu používaného pro výpočet. Vyšší frakce vdechovaného kyslíku (FiO2) může snížit množství dusíku, což může vést k nepřesným výsledkům. Použití dusíku nebo kyslíku může také ovlivnit měření dýchací kapacity, zejména při vyšších hodnotách FiO_2. Vysoká respirační frekvence může znesnadnit analýzu plynu. Pacienti s nekontrolovanými úniky vzduchu by měli být z měření vyřazeni, protože to může ovlivnit spolehlivost sběru dat. Změny v nastavení ventilátoru nebo vysoký tlak výdechu mohou vést k chybám v měření. Při poskytování dodatečného kyslíku není jeho množství v plynné směsi správně měřeno nebo zahrnuto do výpočtů.

Zařízení IC nejsou odolná vůči vlhkosti, a proto by vlhkost v obvodu připojeném k mechanickému ventilátoru měla být co nejvíce omezována použitím správných filtrů, nasměrováním všech odběrových linek nahoru, odkladem nebulizace až po provedení měření a prováděním včasné aspirace tracheální trubice (avšak ne v rozmezí 20 minut před měřením, aby se zabránilo agitaci). Měření EE u spontánně dýchajících pacientů při vědomí může být obtížné, protože mohou mít potíže s přijetím kanopy nebo obličejové masky kvůli agitaci, klaustrofobii nebo nevolnosti. Zařízení IC obsahuje různé součástky v obvodu určené k jednorázovému použití, jako jsou průtokoměry, filtry, adaptéry a odběrové linky, aby byla zajištěna maximální hygiena. Samotné zařízení by mělo být po každém použití zcela dezinfikováno. (13)

8 Energetický příjem

Člověku je neustále zapotřebí dodávat živiny, aby jeho tělo mohlo dlouhodobě provádět životně důležité funkce, obnovovat tkáně a plnit další biologické úkoly. Složení a množství přijaté potravy jsou posuzovány z hlediska energetických a nutričních potřeb

a každé tělo má individuální požadavky. Výživový příjem by měl být v souladu s energetickým výdejem, s výjimkou období růstu a regenerace, kdy jsou vyšší energetické nároky. Přebytečný příjem energie může vést k ukládání tuku v těle a dlouhodobě způsobovat obezitu.

Některé látky jsou pro lidský organismus esenciální a nemohou být vytvářeny v těle, a proto je nezbytné je přijímat z potravy. Patří sem určité aminokyseliny, mastné kyseliny, vitamíny, minerální látky a stopové prvky. (15)

8.1 Intermediární metabolismus

Tento typ metabolismu popisuje přeměnu hlavních složek výživy na buněčné úrovni. Přesněji se jedná o metabolismus lipidů, sacharidů a proteinů. Na základě tohoto metabolismu lze vypozorovat i metabolismus podsubstrátů jako jsou nukleové kyseliny. Intermediární přeměna látek je regulovaná hormony, cytokiny a biochemickými substancemi, které upravují jednotlivé kroky reakcí. (27)

8.1.1 Sacharidy

Sacharidy jsou polyhydroxyalkoholy s aldehydovými nebo ketonovými skupinami. Dělíme je podle struktury na monosacharidy, disacharidy (3–10 monosacharidů) a oligosacharidy (více než 10 monosacharidů). Čím je sacharidová struktura větší, tím je méně rozpustná a polární. Sacharidy jsou obvykle přijímány ve formě polysacharidů, jako je škrob a glykogen, a v menším množství ve formě disacharidů, například sacharózy a laktózy, a monosacharidů, jako je glukóza a fruktóza. Organismus musí větší sacharidové struktury anabolicky rozložit na monosacharidy, aby získal energii. Některé sacharidy, jako je vláknina (např. celulóza, hemicelulóza, pektiny), jsou rezistentní vůči trávicím enzymům.

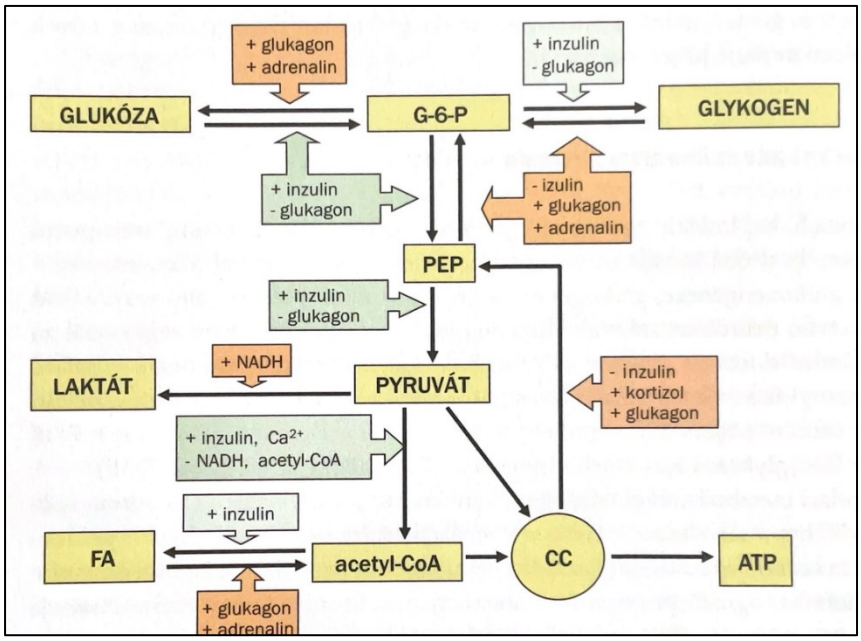
Fyziologicky nejdůležitějším sacharidem je glukóza, což je polární molekula, která v krvi nepotřebuje transportér. K přenosu glukózy přes membránu se však využívají přenašečové systémy, jako jsou GLUT 1-5 či SGLT. Hexokináza a glukóza-6-fosfatáza jsou hlavními regulačními enzymy transportu glukózy.

K rozkladu glukózy na ATP slouží glykolýza, zatímco k syntéze glukózy se využívá glykoneogeneze. Glykolýza může probíhat aerobně, což vede k většímu zisku

ATP, nebo anaerobně, kdy získáme pouze 2 ATP. Glykogenolýza je procesem, při kterém se glykogen rozkládá zpět na glukózu.

Glykogen, zásobní forma glukózy, se ukládá hlavně v játrech. Glykogeneze spočívá v přeměně glukóza-6-fosfátu na glykosyl, který se váže na glykogen. Glykogenolýza je opačným procesem.

Na následujícím obrázku (*Obrázek 6*) jsou popsány všechny přeměny glukózy a jejich regulační systémy. (28)



Obrázek 6: Metabolismus glukózy (28)

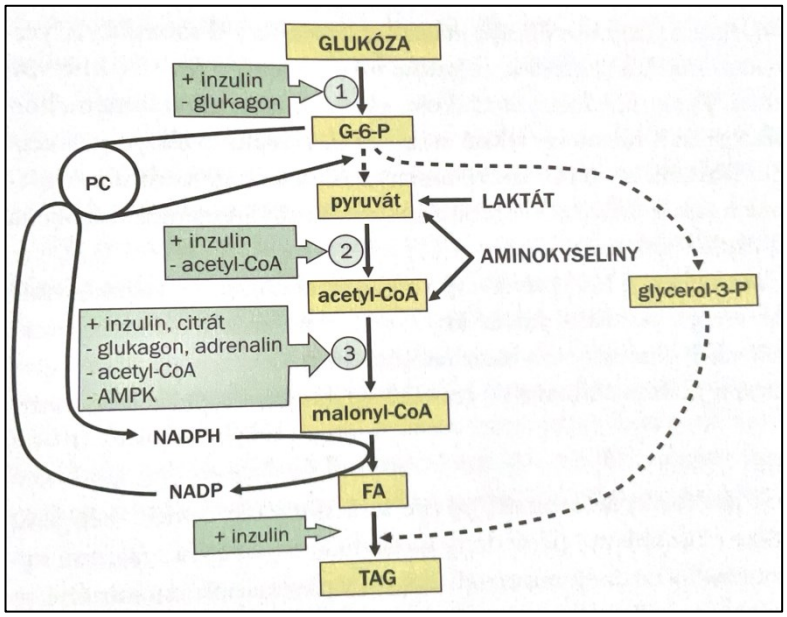
8.1.2 Lipidy

Lipidy jsou rozsáhlou skupinou látek charakterizovaných nerozpustností v polárním prostředí a nejvyšší energetickou hodnotou (39 kJ/g) ve srovnání s ostatními makronutrienty. Nejvýznamnějšími skupinami jsou mastné kyseliny, triacylglyceroly, fosfolipidy a cholesterol, z nichž se odvozují lipoproteiny, glykolipidy, vitaminy a steroidní hormony.

Mastné kyseliny mohou existovat jako volné nebo vázané ve formě triacylglycerolů, fosfolipidů a esterů cholesterolu. Mají hydrofobní a hydrofilní část, přičemž hydrofobní část tvoří uhlíkatý řetězec, jehož hydrofobicitu ovlivňuje počet

uhlíků. Rozlišujeme nasycené a nenasycené mastné kyseliny podle přítomnosti dvojných vazeb, což má vliv na fluiditu membrán a funkci receptorů.

Triacylglyceroly jsou estery glycerolu a mastných kyselin, které slouží jako zásobní forma energie v tukové tkáni, poskytující organismu zásobu na 2–3 měsíce. Tvoří lipoproteiny pro transport cholesterolu. Syntéza triacylglycerolů probíhá dvěma způsoby: monoacylglycerolová metoda ve střevní sliznici a fosfatidátová metoda v ostatních tkáních. (*Obrázek 7*)



Obrázek 7: Metabolismus lipidů (28)

Cholesterol je prekurzorem steroidních hormonů, žlučových kyselin a vitamínu D. Jeho nadměrné hromadění v těle může vést k ukládání do cév a vzniku aterosklerózy nebo ischemie. (28)

8.1.3 Proteiny

Po příjmu proteinů následuje trávení, během kterého se štěpí peptidové vazby za pomocí enzymů produkovaných v žaludku (pepsinogen, rennin), pankreatu (trypsinogen, proelastáza) a enterocytech (aminopeptidázy, dipeptidázy). Každá bílkovina má odlišnou strukturu, což ovlivňuje její stravitelnost.

Rozložení bílkoviny na aminokyseliny, dipeptidy a tripeptidy probíhá v lumen tenkého střeva, kde dochází k absorpci aminokyselin do vena portae. Některé aminokyseliny jsou v enterocytech syntetizovány zpět na proteiny, které jsou následně

využity jako zdroj energie. Pokud nedojde k rozštěpení bílkoviny v žaludku, protein se váže na mikroklky a endocytózou vstupuje do cytoplazmy enterocytu, odkud je exocytózou vypouštěn do krevního oběhu v nezměněné podobě.

Množství proteinů v těle je regulováno procesy proteosyntézy a proteolýzy, které se přizpůsobují různým obdobím v životě, například růstu či nemoci. Regulace probíhá na neurohumorální úrovni, kde parasympatikus podporuje syntézu proteinů, zatímco sympatikus má spíše degradační účinky. Humorální mechanismy regulace jsou dále popsány v tabulce. (*Tabulka 2*)

Kosterní svalstvo při zátěži slouží jako zdroj proteinů, protože tělo si zásoby proteinů netvoří.

Tabulka 2: Účinek hormonů na mechanismus proteinů (28)

Hormon	**Proteosyntéza**	**Proteolýza**	**Výsledný efekt**
Inzulin	+	0 (krátkodobě) -(dlouhodobě)	PA
Kortizol	-	+ (krátkodobě) NS (dlouhodobě)	PK
Glukagon	-	+	PK
Katecholaminy	?	+	PA
Růstový hormon	+	NS	PA
IGF-1	NS	-	PA
T3, T4	+	+	PA, PK (podle dávky)
Testosteron	+	NS	PA

PA – proteoanabolický efekt, PK – proteokatabolický efekt, NS – nesignifikantní účinek, + - stimulace, - - inhibice, 0 – bez účinku (28)

8.2 Metabolismus kriticky nemocných pacientů

Kriticky nemocní pacienti trpí hypermetabolickým stavem způsobeným aktivací katabolických hormonů, což vede k vyšší energetické spotřebě a riziku podvýživy. REE se zvyšuje u pacientů např. po zlomenině kostí o 20 %. Popáleniny zvyšují REE až dvojnásobně od původní hodnoty. Správné určení energetických potřeb pacientů je klíčové pro úspěšnou klinickou léčbu, protože optimální nutriční podpora může pozitivně

ovlivnit výsledky. Podvýživa i překrmování může vést ke komplikacím a zvýšené úmrtnosti, avšak ještě nejsou stanoveny přesné parametry ohledně optimálního kalorického cíle pro pacienty v kritickém stavu. (21; 25)

David Cuthbertson poprvé popsal metabolické změny, ke kterým dochází u pacientů po těžkém úrazu. Při traumatickém stresu pozoroval dramatický úbytek různých intracelulárních složek, včetně dusíku (ve formě močoviny), draslíku, fosforu, síry a kreatinu. Tuto ztrátu spojil se systémovým odbouráváním metabolicky aktivní tkáně, což později potvrdily i studie, v nichž metabolická měření ukázala současný nárůst spotřeby kyslíku v době vrcholu odbourávání tkáně u subjektů.

Fáze poúrazové metabolické změny, které popsal Cuthbertson zahrnují fáze vzestupu a poklesu. Podle jeho pozorování nastává nejdříve krátká fáze poklesu, která začíná bezprostředně po traumatickém šoku. Je charakterizována celkovým poklesem rychlosti metabolismu. Následuje fáze vzestupu, která se vyznačuje zvýšeným katabolismem s vysokou spotřebou kyslíku a zvýšenou rychlostí EE. Fáze vzestupu má větší klinický význam, protože trvá déle ve srovnání s krátkou fází poklesu. (25; 29)

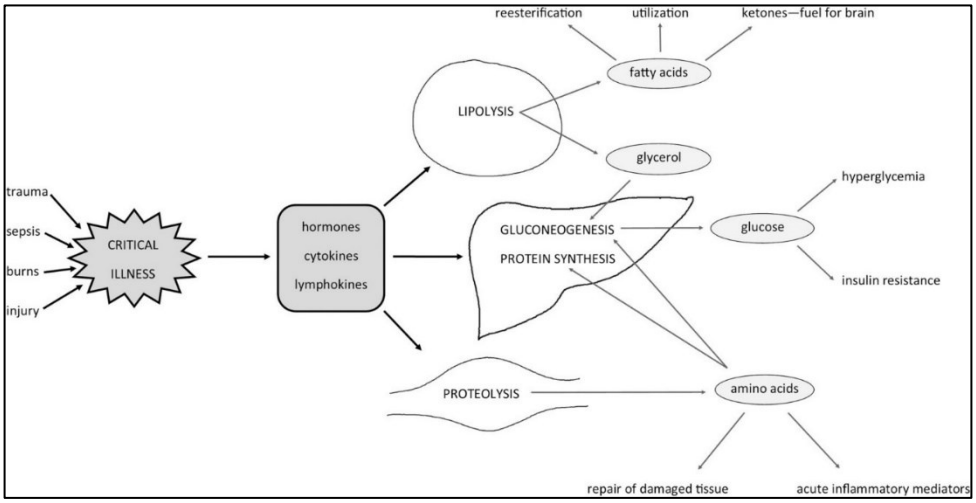
Během reakce na stres dochází k aktivaci hormonů zodpovědných za reakci "boj nebo útěk". Mezi tyto hormony patří glukagon, kortizol a katecholaminy (adrenalin a noradrenalin), což jsou všechno katabolické hormony. Jejich aktivace umožňuje tělu rychle katabolizovat makronutrienty ze svých zásob, aby pokrylo okamžité vysoké energetické nároky. Interleukiny, interferony a tumor nekrotizující faktor také zvyšují REE. (21; 25)

Cuthbertsonova teorie je často citována jako základní model energetického výdeje u kriticky nemocných pacientů, nicméně klinické studie nedokázaly potvrdit jednoznačný průběh energetického metabolismu u všech pacientů. Skutečnost je tedy složitější a komplexnější než tato teorie. Fáze poklesu nebyla v reálném životě jednoznačně identifikována, ale její klinický význam je sporný. (13)

Celkově v těle kriticky nemocného pacienta převažuje katabolismus bílkovin. Aminokyseliny uvolněné ze svalů jsou deaminovány v játrech a použity pro glukoneogenezi nebo přeměněny na zánětlivé proteiny. Během lipolýzy jsou TAG v tukové tkáni hydrolyzovány na VMK a glycerol. Glycerol je navíc využit pro

glukoneogenezi v játrech a MK mohou být využity v játrech a svalech při přeměně na ketolátky nebo jsou reesterifikovány. V důsledku glukoneogeneze dochází tak k hyperglykémii a inzulínové rezistenci.

I když se plazmatické koncentrace substrátů mohou v důsledku katabolismu zvýšit, jejich dostupnost pro využití v periferních tkáních může být snížena (kvůli inzulinové rezistenci a inhibici lipoproteinové lipázy). Tato situace byla označena jako autokanibalismus. (*Obrázek 8)* (19)



Obrázek 8: Vliv kritického stavu na metabolismus (19)

Observační studie, kterou provedli Faisy et al, prokázala, že velká negativní energetická bilance je nezávislým faktorem mortality na jednotce intenzivní péče u nemocných pacientů vyžadujících dlouhodobou mechanickou ventilaci, zejména pokud energetický deficit přesáhl 5 021 kJ za den. V další studii Wanga a kol, která se týkala pacientů na jednotkách intenzivní péče, autoři pozorovali, že dodávka energie nižší než 65 % odhadované energetické potřeby byla spojena se zvýšenou mortalitou. Weijs et al pozorovali, že u neseptických kriticky nemocných pacientů bylo časné překrmování (definované jako energetický příjem vyšší než 110 % naměřené EE) spojeno s vyšší mortalitou. (14; 25; 30)

Přehled nejnovějších údajů o využití IC ke zlepšení klinických a funkčních parametrů zahrnuje nedávná metaanalýza 8 randomizovaných kontrolovaných studií zahrnujících 991 subjektů, která prokázala, že podávání výživy na základě měření pomocí IC snižuje úmrtnost na jednotkách intenzivní péče. (22; 24)

Krátkodobá mortalita byla zkoumána v šesti studiích. Konkrétně byla pozorována relativní riziková míra 0,77, což znamená, že riziko úmrtí bylo o 23 % nižší ve skupině s IC než v kontrolní skupině. Zbývající dvě studie poskytly údaje o dlouhodobé mortalitě a prokázaly podobné přežití mezi oběma skupinami. (22)

Ukázalo se, že použití cílových hodnot k adekvátnímu zajištění kalorických potřeb vedených pomocí IC podporuje snížení katabolismu a odbourávání bílkovin, což by teoreticky mělo zvýšit zachování svalů a zlepšit zotavení. Je tedy nezbytné, aby se budoucí klinické studie nutriční terapie zaměřily spíše na svalovou funkci a celkovou kvalitu života než na to, aby pacient pouze přežil. Tyto budoucí studie by měly zahrnovat měřítka, jako je svalová síla, 6minutová vzdálenost chůze a aktivity denního života. (24)

8.2.1 Vhodná výživa pro kriticky nemocné

Podle většiny dostupných studií a nejnovějšího přehledu Gunsta a Van den Berghe současné poznatky nepodporují časné podávání parenterální výživy (PN) a naznačují, že pro pacienty je vhodnější nízký kalorický příjem během akutní fáze traumatu. (19; 24) Doba, kdy je zahájení PN bezpečné a účinné, však zůstává nejasná. Energetický příjem by měl tedy odpovídat 10–20 kcal na kg tělesné hmotnosti.

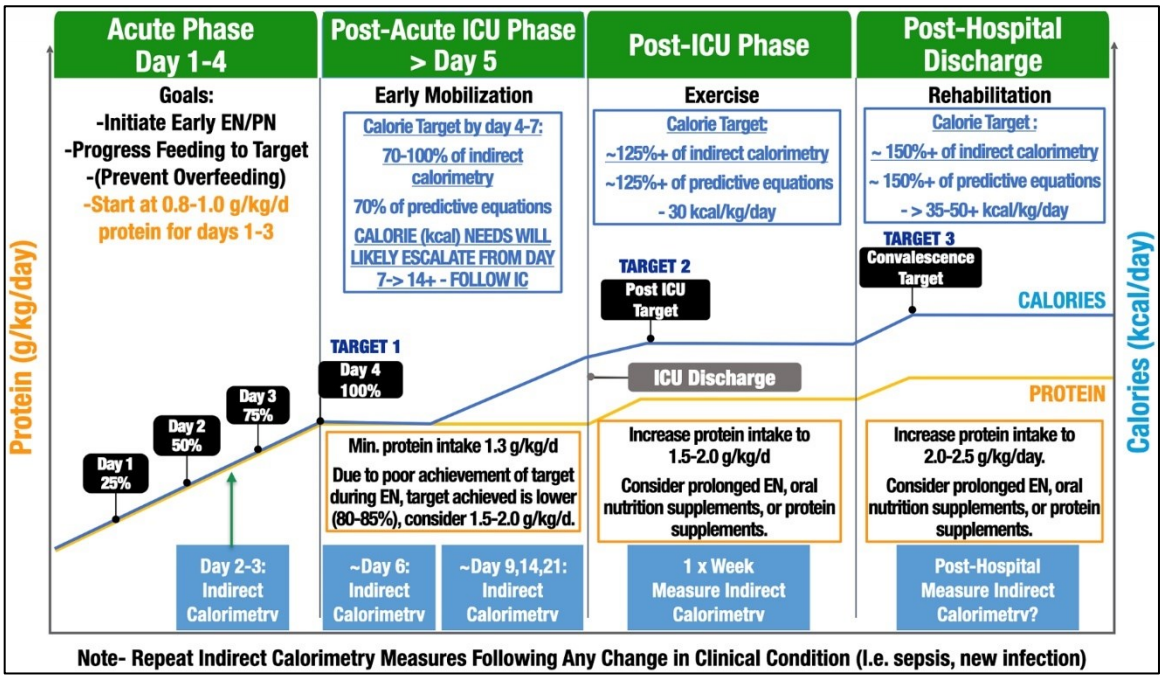
Ačkoli existují důkazy, které nepodporují podávání vyšších dávek aminokyselin u kritického onemocnění, tak se názory na tuto záležitost různí. Tento zdroj upřednostňuje vysokoproteinovou nutriční podporu, protože vyšší dávky bílkovin zřejmě zlepšují dusíkovou bilanci a přispívají k lepší prognóze spolu s hypokalorickou výživou. Dávky bílkovin by se měly pohybovat mezi 2,0 a 2,5 g. kg^{-1}. d^{-1}. (19; 21)

Exogenní přísun glukózy nebo sacharidů neovlivňuje rychlost glukoneogeneze u zraněných nebo septických pacientů. U kriticky nemocných pacientů zvyšuje aktivita sympatického nervového systému lipolýzu, což zvyšuje dostupnost volných mastných kyselin (VMK) a snižuje využití glukózy. Vysoký příjem sacharidů tak může spíše zesílit zánětlivou reakci a vyvolat inzulinovou rezistenci. Sacharidy nejsou pro člověka esenciální živinou, ale přesto je glukóza nezbytná pro stimulaci sekrece inzulinu a dalších hormonů, které podporují syntézu proteinů a brání lipolýze. Vzhledem k vysokému riziku hypoglykémie, která může být pro tyto pacienty fatální, je důležité udržovat koncentraci glukózy v krvi na 120-150 mg/dl.

Pro dodání lipidů se používají lipidové emulze s nižším obsahem fytosterolů a ω- 6 mastných kyselin. Jsou důležitým zdrojem energie, protože jsou plně využitelné v těle kriticky nemocných pacientů. Maximální doporučená dávka lipidové emulze je ~1,0-1,2 g. kg^{-1}. d^{-1}. (19)

U kriticky nemocných trpících na COVID-19 se nedávno ukázalo, že metabolismus se během pobytu na jednotce intenzivní péče denně značně liší (až o 1000 kcal/den). To běžně souviselo se změnami klinického stavu – novou horečkou, novými septickými epizodami. Proto byla navržena nová metoda podávání výživy. (*Obrázek 9*)

Neustálé změny ve fyziologii a klinické péči o pacienta na jednotce intenzivní péče také vyžadují, aby se opakovaná měření IC prováděla při jakékoli významné změně klinického stavu nebo klinické péče o pacienta. (24)



Obrázek 9: Schéma měření REE (24)

9 Obezita

V posledních 50 letech došlo k výraznému celosvětovému nárůstu obezity. Zatímco kdysi byla obezita považována za problém zemí s vysokými příjmy, od počátku roku 2000 se míra výskytu obézních dětí nebo dětí s nadváhou v zemích s vysokými příjmy, včetně Spojených států, Švédska, Dánska, Norska, Francie, Austrálie a Japonska

snížila nebo se ustálila. V zemích s nízkými a středními příjmy míra nadváhy a obezity stoupá zejména v městských oblastech.

V Číně byla provedena studie založená na datech od 12 543 účastníků sledovaných po dobu 22 let, která odhalila, že prevalence obezity v závislosti na věku vzrostla u obou pohlaví z 2,15 % na 13,99 %, z toho u žen z 2,78 % na 13,22 % a u mužů z 1,46 % na 14,99 %. Míra nadváhy afrických dětí mladších 5 let se od roku 2000 zvýšila o 24 %. Od roku 2019 byla téměř polovina asijských dětí do 5 let obézních nebo s nadváhou. (31)

Obezita je stav, kdy dochází k nadbytečnému hromadění tukové tkáně (u mužů více jak na 25 % a u žen více než na 30 %) na základě pozitivní energetické bilance. Pro detekci množství tukové tkáni v těle se využívá index tělesné hmotnosti (*Tabulka 3*). Tento index se stanoví následujícím vzorcem:

$$BMI = (\text{tělesná hmotnost [kg]}/\text{výška}^2\text{[m]})\ [kg/m^2] \quad (17)$$

Tabulka 3: Index tělesné hmotnosti (27)

Index tělesné hmotnosti	**Tělesný stav**
18,5 - 25	Normální
25 – 29,9	Nadváha
30 – 34,9	Obezita 1. stupně
35 – 39,9	Obezita 2. stupně
Nad 40	Obezita 3. stupně

Avšak tento parametr není úplně přesný, protože nebere v potaz množství svalové tkáně, vody a vývinu kostry. Využívají se proto i jiné metody, které stanovují pouze množství tuků. Patří mezi ně měření obvodu pasu, kdy u mužů se s obvodem více než 102 cm a u žen větším než 88 cm zvyšuje riziko komplikací spojených s obezitou. Poměření obvodu pasu a boků udává rozložení tuků v centrální oblasti. Také se měří tloušťka kožních řas pomocí kaliperu.

Pokud pacient trpí obezitou, má pozměněný metabolismus živin. Funkce sympatiku, který působí katabolicky, je zeslabená. Vede to ke změně produkce hormonů, které regulují metabolické procesy. Je zaznamenaný nárůst glukózy, TAG a inzulinorezistence. (27; 28)

Zásadní vliv na tvorbu komplikací (inzulinorezistence) má intra-abdominální tuk, který se ukládá kolem orgánů. S rostoucí hmotností roste i pravděpodobnost, že jedinec bude trpět na určité onemocnění. Konkrétně se může jednat o:

- kardiovaskulární komplikace (cévní mozková příhoda, hypertenze, ICHS, náhlá smrt nebo tromboembolické onemocnění),
- metabolické komplikace (diabetes mellitus, dyslipidémie, dna),
- respirační komplikace (syndrom spánkové apnoe),
- kožní komplikace (mykózy),
- artrózu kloubů,
- psychické a psychosociální komplikace. (23; 27; 28; 31)

Běžná obezita je determinovaná mnoha geny oproti monogenní formě obezity. Analýzy rodinných a dvojčatových studií ukázaly, že přibližně 40-70 % variability obezity u lidí je způsobeno genetickými faktory. Dále má vliv prostředí, stres, deprese, zvýšená konzumace alkoholu, kouření a nízká pohybová aktivita.

Můžeme tak rozlišit geny, které snižují pravděpodobnost růstu hmotnosti (leptogenní geny) a geny, které zvyšují náchylnost k obezitě (obezigenní geny). Interakce mezi těmito geny a prostředím, ve kterém se jedinec nachází, rozhoduje, jestli se obezita bude rozvíjet. Tato skupina genů tak reguluje příjem potravy, pocit hladu a sytosti, preference potravin, vstřebávání a zpracování živin, jejich spalování a energetický výdej. Metody GWAS (Genome-wide association scans) identifikovaly více než 400 genů spojených s diabetem 2. typu, tyto geny však předpovídají pouze 5% riziko obezity. (31; 32)

Dítě s jedním obézním rodičem má trojnásobné riziko, že bude v dospělosti obézní, zatímco pokud jsou oba rodiče obézní, má dítě desetinásobné riziko budoucí obezity. Průřezová observační studie 260 dětí (139 dívek, 121 chlapců, ve věku 2,4 a 17,2 roku) prokázala, že rodinná anamnéza kardiometabolických onemocnění a obezity jsou rozhodujícími rizikovými faktory pro závažnost obezity v dětství.

Celosvětovým problémem rozvoje obezity je však obezogenní prostředí. Ve 13leté studii provedené na 3 000 mladých lidech, kteří konzumovali velké množství jídla z rychlého občerstvení, bylo zjištěno, že váží v průměru o 6 kg více a mají větší obvod

pasu než ti, kteří konzumovali nejméně jídla z rychlého občerstvení. Bylo také zjištěno, že mají vyšší výskyt negativních zdravotních problémů souvisejících s hmotností, jako jsou zvýšené TAG a dvojnásobná pravděpodobnost vzniku metabolického syndromu.

Bylo také prokázáno, že nerovnováha mikrobiálních populací souvisí s celou řadou onemocnění, včetně neurologických poruch, zánětlivých střevních onemocnění, podvýživy, rakoviny, cukrovky a obezity. Nejnovější výzkumy naznačují, že omezení příjmu kalorií může příznivě změnit podobu střevního mikrobiomu a že užívání antibiotik může negativně poškodit střevní mikrobiom způsobem, který vede k cukrovce a obezitě. Studie na lidech potvrzují zjištění, že změny mikrobiomu souvisejí s obezitou. Přesné mechanismy (tj. poměry a míra rozmanitosti mikrobiomu) však dosud nejsou známy. (31)

9.1 Spánek a obezita

Endokrinní a metabolický systém je významně ovlivňován spánkem. Příjem potravy i spánek jsou řízeny hypothalamem, který je dále ovlivňován homeostatickými a cirkadiánními mechanismy. V noci jsou potlačeny všechny mechanismy spojené s příjmem potravy, aby nedošlo k narušení spánku. Glykémie během spánku neklesá na základě regulace přes nuclei suprachiasmatici v hypothalamu.

Zkrácené trvání spánku souvisí s nižší produkcí leptinu a zvýšením sekrece ghrelinu, kdy výsledkem je větší chuť k jídlu a větší pocit hladu. Dále nedostatek spánku souvisí se sníženou pohybovou aktivitou v důsledku únavy. V některých studiích se zmiňuje, že i nadbytek spánku může být také spojován s obezitou v důsledku nízké pohybové aktivity. (32)

Cyklus spánek-bdění reguluje především cirkadiánní rytmus. Epidemiologická studie uvádí, že délka nočního spánku se během posledních 30 let snížila o 18 min. Zhoršení cyklu spánek-bdění, zejména u zdravých jedinců, může být hlavní příčinou mnoha onemocnění, jako je obezita, zhoršená tolerance glukózy, cukrovka, psychické poruchy, úzkost, deprese, progrese rakoviny, únava a ztráta koncentrace. (33)

Jedním z nejdůležitějších faktorů ovlivňujících bazální metabolickou rychlost je spánkový režim. Spánek a cirkadiánní rytmus jsou hlavními složkami regulace energetického metabolismu. Existují 2 fáze spánku: rychlý pohyb očí (REM) a non-REM. V období REM se zvyšuje aktivita sympatického nervového systému a dochází ke snění.

Spolu s tím se zvyšuje i tělesná teplota, srdeční frekvence, dechová frekvence a krevní tlak.

V důsledku zvýšení tělesné teploty a energetického výdeje v mozku (spotřeba energie mozku v tomto období činí přibližně 25 % celkového energetického výdeje) dosahuje rychlost metabolismu během spánku nejvyššího bodu ve fázi REM. Zhoršení spánkového cyklu v důsledku pozdního usínání, práce na směny atd. může vést ke snížení bazální metabolické rychlosti změnou načasování REM fáze spánku. (33)

9.2 Měření REE pomocí IC u obézních pacientů

Jak obezita, tak anorexia nervosa byly spojeny se změněným REE hlavně kvůli odlišnému vzoru tělesného složení ve srovnání se subjekty s normální váhou. Obézní pacienti vykázali významně vyšší REE ve srovnání s neobézními pacienty. Nicméně ve většině případů tato odlišnost zmizela po upravení na hmotnost bez tuku.

Energetické požadavky mohou být ještě obtížněji předpověditelné u pacientů s chronickými stavy kvůli velkým individuálním variacím v REE. Jak hyper-, tak hypo-metabolismus byly prokázány u chronických patologií kvůli změnám v metabolismu, svalové hmotě, funkci orgánů a přítomnosti zánětu. (34)

Z další studie se zjistilo, že RMR byla vyšší u obézních žen se syndromem obstrukční spánkové apnoe (OSAS – obstructive sleep apnea syndrome) ve srovnání s obézními ženami bez OSAS. Pacienti s OSAS jsou obvykle obézní a jejich dechová práce je zvýšená, což může vést ke zvýšené energetické spotřebě.

Stejně tak bylo zjištěno, že RMR se významně liší u obézních žen se zhoršeným glykemickým stavem ve srovnání s normoglykemickými jedinci. Tato skutečnost poukazuje na význam glykemického stavu při hodnocení bazálního metabolismu u obézních jedinců. (23)

Cílem brazilské studie, která byla realizována mezi lety 2009 až 2012 na jednotce intenzivní péče v Clínica São Vicente v Rio de Janeiro bylo provést odhad REE u pacientů s nadváhou a obezitou. Vytvořila 4 skupiny pacientů na základě BMI (*Tabulka 3*) a přišla na odhadované hodnoty: 22 kcal/kg pro pacienty s nadváhou, 18,4 kcal/kg pro pacienty s obezitou třídy I a II. Pro pacienty s obezitou třídy III nelze doporučit použití žádné

hodnoty pro odhad REE, protože hodnota 16,9 kcal/kg/d by mohla podhodnocovat EE této podskupiny pacientů. (35)

Přesný odhad energetického výdeje EE obézních pacientů je obtížné získat a ideální metoda pro tento konkrétní účel je stále sporná. Pro adekvátní stanovení EE by se u této populace měla přednostně provádět pomocí IC, protože existuje mnoho možných zdrojů chyb při predikci jejich potřeb pomocí zavedených rovnic. (23; 35)

9.3 Léčba obezity

Pro snížení poměru množství tělesných tuků a celkové hmotnosti těla je potřeba regulovat zejména příjem potravy a pohyb pacienta. Dále může dopomoci farmakoterapie a bariatrická chirurgie. Regulace příjmu potravin spočívá hlavně v náhradě potravin s vysokou kalorickou hodnotou za nízkokalorické. Dále je také důležité zaměnit potraviny s vysokým glykemickým indexem. Ve studiích se prokázalo, že změna poměru makronutrientů v kratších nebo středně dlouhých dietách nemá tak významný vliv při hubnutí. Z toho plyne, že primární úkol pro pacienta je snížit množství přijaté energie. (32; 36)

Určitý poměr maktronutrientů napomáhá k lepšímu pocitu zasycení, a tedy ke snížení nadbytečné spotřeby potravin často s vyšší kalorickou hodnotou. Důležitou roli v zasycení má zvýšený procentuální poměr bílkovin. Při redukci se doporučuje zvýšit množství bílkovin na 25 % celkového přijmu. Sacharidy by měly tvořit asi 50 % jídelníčku, protože se jedná o hlavní zdroj energie. Mělo by se jednat hlavně o polysacharidy s nízkým glykemickým indexem. Obzvláště pro snížení pocitu hladu působí příznivě vláknina. Dále 30% zastoupení tvoří tuky, kdy je vhodné vybírat správný zdroj tuků. Každodenní příjem PUFA řady n-3 snižuje riziko metabolického syndromu, kdy testování na myších prokázalo zvýšení inzulinové rezistence a hypolipidemického účinku. (32)

Zařazením pravidelné pohybové aktivity dochází ke zvýšení energetického výdeje, ovlivňuje se klidový energetický výdej, zastoupení tuků v těle a postpradiální termogeneze. Energetický výdej závisí na druhu pohybové aktivity. Silově dynamický typ cvičení zvyšuje tvorbu svalové hmoty, ale nenapomáhá redukci váhy. Doporučuje se tedy spíše aerobní aktivity jako je plavání, jízda na kole nebo chůze. Při pravidelné fyzické

zátěži začne tělo více utilizovat tuky a méně využívá sacharidy. Dochází tak k redukci nitrosvalových TAG, které souvisí s inzulinovou rezistencí. (32; 36)

Farmakoterapie je indikována pacientům s BMI ≥ 30 nebo s BMI ≥ 27 za přítomnosti závažných komplikací spojených s obezitou. FDA (Food and Drug Administration) schválil několik nových léků pro krátkodobou léčbu obezity. Po stažení Lorcaserinu je nyní k dispozici pouze pět léků schválených pro dlouhodobé užívání: Gelesis, Naltrexon-Bupropion (Contrave), Orlistat (Xenical, Alli), Liraglutid (Saxenda) a Fentermin-Topiramát (Qsymia). Dlouhodobé podávání antiobezitik je indikováno pro pacienty, na které léčiva zabírají během krátkodobé terapie. Tedy pokud během 3 měsíců došlo k úbytku váhy alespoň o 5 %. (31; 32)

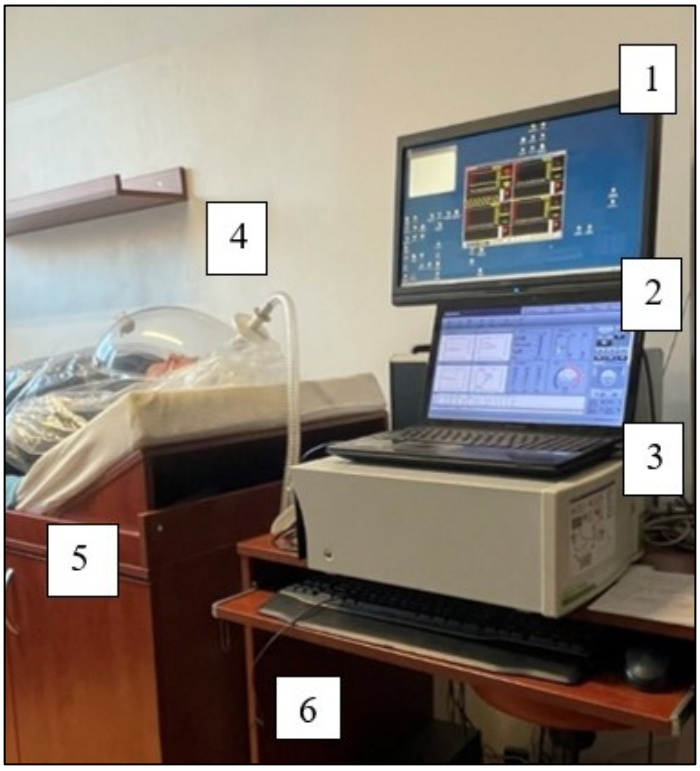
Bariatrická léčba spočívá v provedení chirurgické operace, která omezí přijetí živin. Indikuje se při BMI ≥ 40 nebo u BMI ≥ 35, kdy pacient trpí komplikacemi spojenými s obezitou. Lze rozlišit podle principu 2 operační metody. Restrikční metody zamezují množství přijaté potravy pomocí gastrické bandáže (zaškrcení žaludku) nebo plikace (zavinutí velkého zakřivení žaludku). Malabsorpční metody se využívají v případě, že první skupina metod nepomohla a jedná se o např. biliopankreatickou diverzi, která zahrnuje oddělení žaludečního obsahu, přesměrování tráveniny na menší část tenkého střeva a opětovné spojení tenkého střeva s trávicím traktem k omezení příjmu potravy a absorpce živin. (32)

Studie uvádějí, že přínosy bariatrické chirurgie přesahují pouhé snížení hmotnosti. Bariatrická chirurgie snižuje chronický zánět, který se podílí na obezitě, a vede ke změně biomarkerů, střevní mikroflóry a dlouhodobé remisi diabetu 2. typu.

Transplantace fekální mikrobioty (FMT – fecal microbiota transplantation) je novým směrem v léčbě obezity, kdy se mikroby zdravých jedinců přenášejí pacientům s obezitou. Studie na myších ukázaly, že přenos mikrobů od zdravých jedinců udržuje štíhlou hmotnost, zatímco mikroby od obézních způsobují obezitu. U lidí se také pozoruje zlepšení mikrobiální diverzity a citlivosti na inzulín po transplantaci mikrobů od štíhlých dárců. I když je FMT stále v raném stadiu, je to slibná možnost nahrazení obezigenního mikrobiomu. (31)

10 Příklad použití nepřímé kalorimetrie

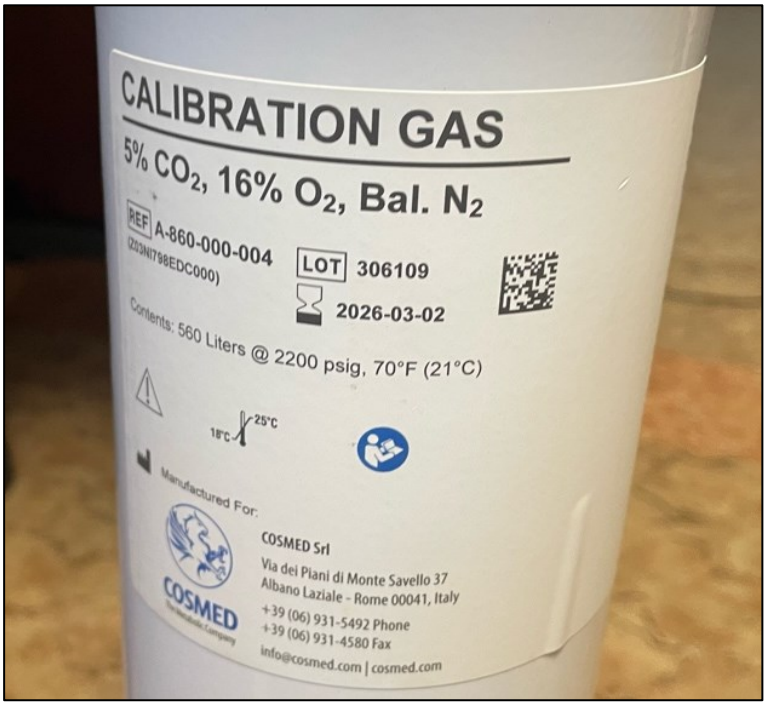
18. 12. 2023 jsem měla možnost navštívit EUC kliniku, kde mi bylo ukázáno, jak probíhá praktické měření nepřímé kalorimetrie. Jedná se o poměrně jednoduché a neinvazivní měření, které je pro pacienta pohodlné. Pro měření je za potřebí přístroj Quark RMR, který vyhodnocuje parametry jako jsou V_{CO2} (objem vydechovaného CO_2), V_{O2} (objem vydechovaného O_2), REE, RQ. Dále také měří procentuální utilizaci substrátů. Pro samotné zachycení vydechovaného plynu je zapotřebí kanopa, ventilátor nebo obličejová maska. Záznam měření je prováděn na počítači ve speciálním programu. (*Obrázek 10*) (37)



Obrázek 10: Instrumentace nepřímé kalorimetrie (1 – měření pulsu a krevní saturace, 2 – PC program, 3 – Quark RMR, 4 – kanopa, 5 – lůžko, 6 – kalibrační směs plynů)

Pro stanovení objemu CO_2 se využívá infračervený senzor (NDIR – nondispersive infrared sensor) a pro O_2 se aplikuje paramagnetický senzor. NDIR metoda je založena na absorpci infračerveného záření, kdy CO_2 tlumí intenzitu záření. Z Lambert-Beerova zákona lze stanovit koncentraci CO_2. A paramagnetický senzor stanovuje objem O_2 pomocí vtahování kyslíku do magnetického pole. Podle typu detektoru se dále

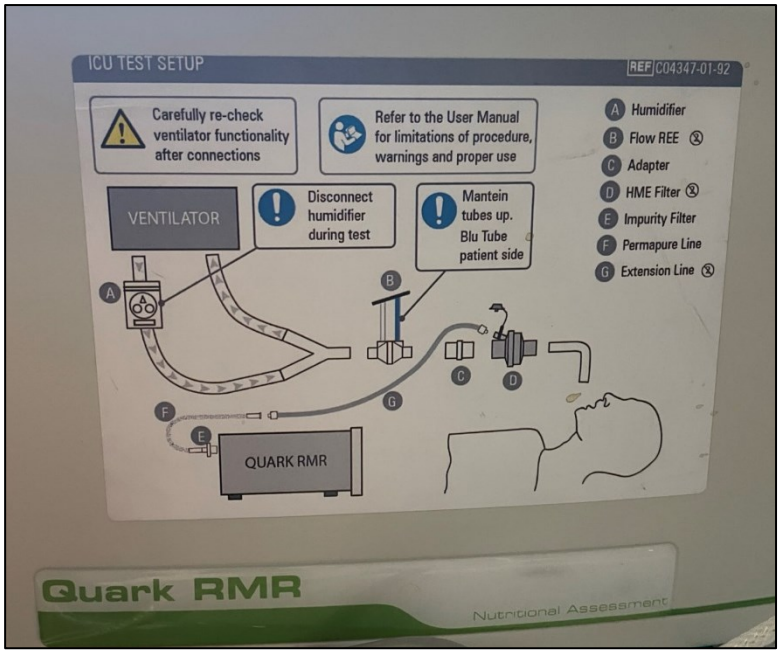
vyhodnocuje množství kyslíku. Pro kalibraci se využívá směs plynů z 5% CO_2, 16% O_2 a zbytek tvoří N_2. (*Obrázek 11*) (38; 39)



Obrázek 11: Kalibrační plyn

Před tím, než pacient dorazí na měření, jsou zjištěny jeho antropometrické údaje jako je hmotnost a výška. Dále se pacient před návštěvou stravuje potravou se sníženým množstvím bílkovin a na kliniku se dostaví v ranních hodinách nalačno.

Ve fázi, kdy pacient ulehl na lůžko, je mu na obličejovou část přiložena kanopa, kam putuje z ventilátoru zvlčený vzduch skrz adaptér a HME filtr. Pacient se nadechne a dále vydechovaný vzduch putuje zpět do stejného otvoru, kdy v rozdvojené části putuje trubičkou bez zvlhčovače zpět do ventilátoru. HME filtr obsahuje odvod pro menší množství vydechovaného vzduchu, který putuje přes očišťovací filtr do analyzátoru. Měření trvá 25 minut a parametry jsou vyhodnocovány kontinuálně. Během měření se také zaznamenává puls a pacient by měl být, co nejvíce v klidu. (Obrázek *12*)



Obrázek 12: Přísun vzduchu

Záznam hodnot je prováděn v programu na počítači, kdy si můžeme všimnout 4 grafů v levé části obrázku (Obrázek *13*). První graf vlevo nahoře ukazuje objem vydechovaného O_2 a CO_2 v čase. Hned napravo je graf, který zaznamenává respirační kvocient a energetický výdej v čase. Vlevo dole se kontroluje vzduch proudící do kanopy a vpravo dole se hodnotí utilizace substrátů. Uprostřed obrázku jsou přehledně vypsané hodnoty jako je bazální rychlost metabolismu, respirační kvocient a procentuální utilizace substrátů. V pravé části obrázku je znázorněn procentuální V_{O2}, V_{CO2} a množství CO_2 v poskytovaném vzduchu. Také si lze všimnout, že je možná regulace pumpy přímo z programu.

Obrázek 13: Záznam hodnot

Ze zadaných informací (*Příloha 1*) si můžeme všimnout, že pacientka měří 170 cm a váží 104 kg, kdy výsledné BMI je 36 kg/m^2. Pokud budeme vycházet z tabelových hodnot (*Tabulka 3*), tak se jedná o obezitu 2. stupně. Z měření byly zjištěny následující informace. Respirační koeficient byl naměřen 0,85, kdy 49,8 % jsou tuky a 50,2 % jsou sacharidy. Bazální rychlost metabolismu (RMR) je 2726 kcal/den, což dle vyhodnocení programu se jedná o rychlý RMR.

Mezi další postupy bude doporučeno změřit glukózu v krvi. V případě, že bude glukóza zvýšená, tak se provede pro upřesnění orální glukózový toleranční test. Dále bude následovat doporučení vhodné stravy a zvýšení fyzické aktivity. Pokud by to nepomohlo, tak lze předepsat antiobezitika, která napomohou sníženému pocitu hladu nebo inhibici vstřebávání živin.

11 Závěr

Bakalářská práce by měla poskytnout podrobný pohled na problematiku energetického metabolismu a zhodnotit jeho vztah k důležitým zdravotním stavům, jako je obezita a kritické stavy u pacientů závislých na intenzivní péči. V práci je rovněž zdůrazněn význam nepřímé kalorimetrie jako efektivní metody pro měření energetické spotřeby organismu, což má zásadní dopad na lékařskou diagnostiku a terapii. V poslední době se nepřímá kalorimetrie stala nenahraditelným zlatým standardem v oblasti studia energetického metabolismu.

Cílem této práce bylo přispět k hlubšímu porozumění vztahu mezi energetickým metabolismem a zdravotními stavy spojenými s metabolickými poruchami. Práce přinesla aktuální poznatky o využití nepřímé kalorimetrie jako diagnostického nástroje a její roli v sledování a léčbě kriticky nemocných pacientů.

Vzhledem k neustálému pokroku v oblasti medicíny a výzkumu je důležité nadále zdokonalovat metody nepřímé kalorimetrie a rozšiřovat naše znalosti o energetickém metabolismu. Pouze tak můžeme efektivněji bojovat proti metabolickým onemocněním a dosáhnout lepšího zdravotního stavu populace.

12 Použitá literatura

1. **PRESSL, Zdeněk.** *Molekulová fyzika a termodynamika pro zahraniční studenty.* Praha : Karolinum, 2022. 978-80-246-4543-8.

2. **KRÁLOVÁ, Magda.** Fázový diagram. *Techmania Science Center.* [Online] [Citace: 8. Listopad 2023.] https://edu.techmania.cz/cs/encyklopedie/fyzika/skupenstvi/fazovy-diagram.

3. **OBDRŽÁLEK, Jan.** *Úvod do termodynamiky, molekulové a statistické fyziky.* Praha : Matfyzpress, 2015. stránky 13-144. 978-80-7378-287-0.

4. **HADDAD, Wassim M.** Thermodynamics: The Unique Universal Science. [Online] 17. listopad 2017. [Citace: 12. květen 2024.] https://doi.org/10.3390/e19110621.

5. **Lumen Learning.** Introduction to the Second Law of Thermodynamics: Heat Engines and Their Efficiency. [Online] [Citace: 21. březen 2024.] https://courses.lumenlearning.com/suny-physics/chapter/15-3-introduction-to-the-second-law-of-thermodynamics-heat-engines-and-their-efficiency/.

6. **TROJAN, Stanislav.** *Fyziológia.* Martin : Osveta, 1992. 80-217-0452-7.

7. **Texas Gateway.** Energy Conversion in Humans. *Work, Energy, and Power in Humans.* [Online] [Citace: 21. březen 2024.] https://www.texasgateway.org/resource/78-work-energy-and-power-humans.

8. **WILSON, Thad E. a METZLER-WILSON, Kristen.** Autonomic Thermoregulation. [Online] 28. únor 2018. [Citace: 21. březen 2024.] https://doi.org/10.1093/acrefore/9780190264086.013.15.

9. **PATEL, Hiran, KERNDT, Connor C. a BHARDWAJ, Abhishek.** *Physiology, Respiratory Quotient.* Treasure Island (FL) : StatPearls Publishing, 13. únor 2023. DOI: 30285389 PMID: 30285389.

10. **PETRUZZELLO, Mellissa.** Adenosine triphosphate. [Online] 1. únor 2024. [Citace: 21. březen 2024.] https://www.britannica.com/science/adenosine-triphosphate.

11. **Institut Galenus.** Kalorická hodnota potravin. [Online] [Citace: 24. březen 2024.] https://www.galenus.cz/clanky/bioenergetika/bioenergetika-kaloricka-hodnota-potravin.

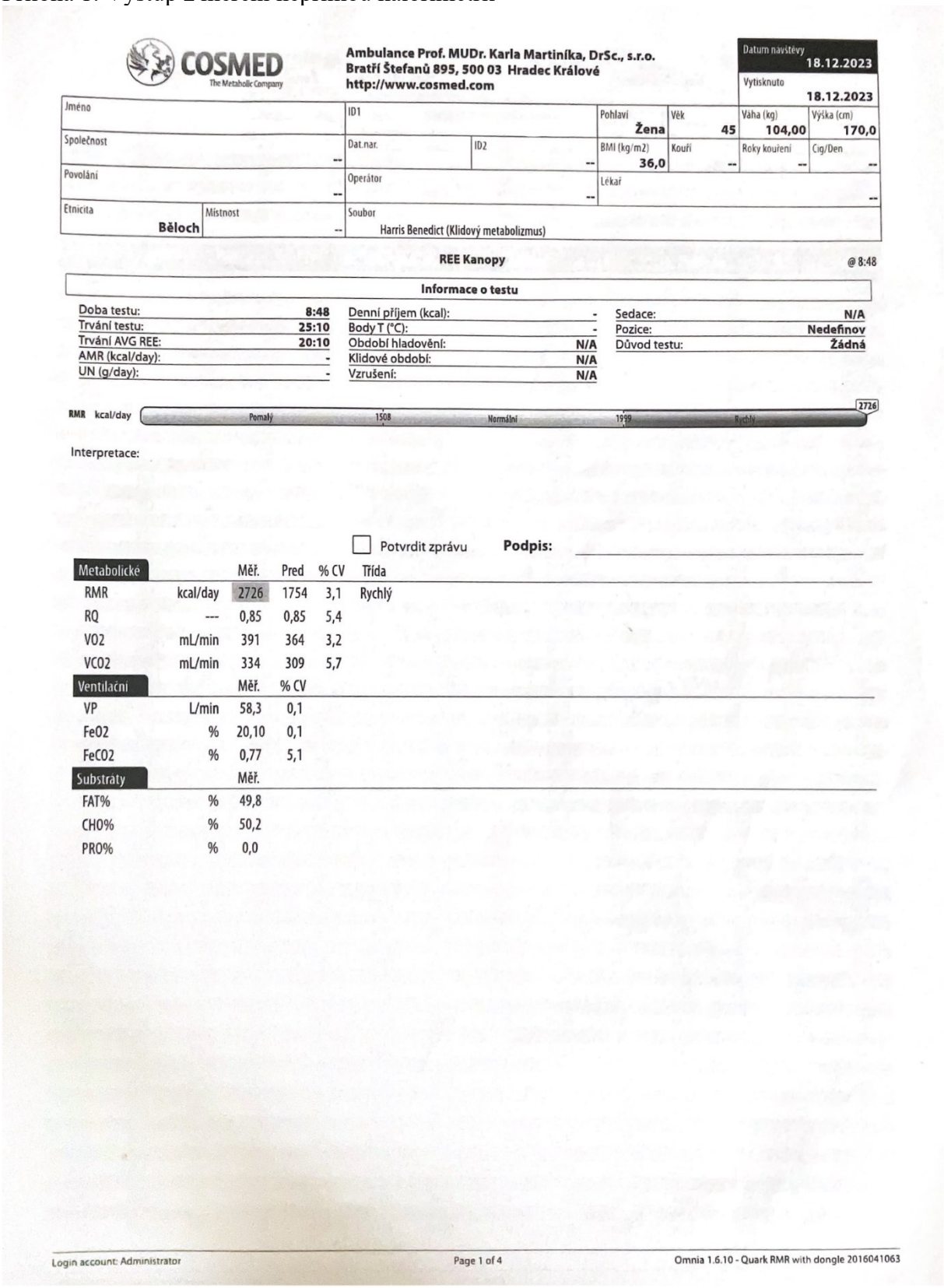
12. **GUPTA, Riddhi Das, a další.** Indirect Calorimetry: From Bench to Bedside. [Online] 21(4). srpen 2017. [Citace: 10. březen 2024.] https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5477450/. doi: 10.4103/ijem.IJEM_484_16.

13. **MOONEN, H. P. F. X., BECKERS, K. J. H. a VAN ZANTEN, A. R. H.** Energy expenditure and indirect calorimetry in critical illness and convalescence: current evidence and practical considerations. [Online] 12. leden 2021. [Citace: 12. březen 2024.] https://doi.org/10.1186/s40560-021-00524-0. PMID: 33436084 PMCID: PMC7801790 DOI: 10.1186/s40560-021-00524-0.
14. **AHMAD, Danish, HALPIN, Kellie Joseph a HALPIN, Christopher.** Nutrition and Indirect Calorimetry. [Online] 30. listopad 2016. [Citace: 6. květen 2024.] DOI: 10.5772/64385.
15. **HRONEK, Miloslav.** *Praktická cvičení z morfologie a fyziologie pro posluchače Farmaceutické fakulty.* Praha : Karolinum, 2013. stránky 75-81. 978-80-246-2293-4.
16. **REDONDO, Raquel Blasco.** Resting energy expenditure; assessment methods and applications. [Online] 2015. [Citace: 22. březen 2024.] doi: 10.3305/nh.2015.31.sup3.8772.
17. **LAM, Yan Y a RAVUSSIN, Eric.** Analysis of energy metabolism in humans: A review of methodologies. [Online] 20. září 2016. [Citace: 2. květen 2024.] PMID: 27818932 PMCID: PMC5081410 DOI: 10.1016/j.molmet.2016.09.005.
18. **WASYLUK, Weronika, a další.** Methodological Aspects of Indirect Calorimetry in Patients with Sepsis—Possibilities and Limitations. [Online] 22. únor 2022. [Citace: 5. květen 2024.] PMCID: PMC8912694 PMID: 35267903 DOI: 10.3390/nu14050930.
19. **PATKOVÁ, Anna, a další.** Energy, Protein, Carbohydrate, and Lipid Intakes and Their Effects on Morbidity and Mortality in Critically Ill Adult Patients: A Systematic Review. [Online] 6. červenec 2017. [Citace: 29. březen 2024.] https://doi.org/10.3945/an.117.015172.
20. **MTAWEH, Haifa, a další.** Indirect Calorimetry: History, Technology, and Application. *Frontiers.* [Online] 19. září 2018. [Citace: 25. únor 2024.] https://doi.org/10.3389/fped.2018.00257. doi: 10.3389/fped.2018.00257.
21. **BATTEZZATI, A a VIGANO, R.** Indirect calorimetry and nutritional problems in clinical practice. [Online] 2001. [Citace: 2. květen 2024.] PMID: 11487171 DOI: 10.1007/s005920170022.
22. **DUAN, Jing-Yi, a další.** Energy delivery guided by indirect calorimetry in critically ill patients. *a systematic review and meta-analysis.* [Online] 27. únor 2021. [Citace: 12. březen 2024.] https://doi.org/10.1186/s13054-021-03508-6.

23. **HAGEDORN, Theresa, a další.** Indirect calorimetry in obese female subjects: Factors influencing the resting metabolic rate. [Online] 20. červen 2012. [Citace: 5. květen 2024.] PMCID: PMC3905585PMID: 24520534 DOI: 10.5493/wjem.v2.i3.58.
24. **DE WAELE, Elisabeth, JONCKHEER, Joop a WISCHMEYER, Paul.** Indirect Calorimetry In Critical Illness: A New Standard of Care? [Online] 1. srpen 2021. [Citace: 31. březen 2024.] DOI: 10.1097/MCC.0000000000000844, PMID: 33990505; PMCID: PMC8367824..
25. **NDAHIMANA, Didace a KIM, Eun-Kyung.** Energy Requirements in Critically Ill Patients. [Online] 17. duben 2018. [Citace: 28. březen 2024.] https://doi.org/10.7762/cnr.2018.7.2.81. PMID: 29713616 PMCID: PMC5921333 DOI: 10.7762/cnr.2018.7.2.81.
26. **PRIEM, Sebastiaan, a další.** Indirect Calorimetry in Spontaneously Breathing, Mechanically Ventilated and Extracorporeally Oxygenated Patients: An Engineering Review. [Online] 20. duben 2023. [Citace: 14. květen 2024.] DOI: 10.3390/s23084143 PMCID: PMC10144739 PMID: 37112483.
27. **MARTINÍK, Karel.** *Obezita, nadváha: Od teorie k praxi.* Hradec Králové : Garamon s.r.o., 2008. 978-80-86472-37-9.
28. **HOLEČEK, Milan.** *Regulace metabolismu základních živin u člověka.* 2016. stránky 66-226. 978-80-246-2976-6.
29. **CUTHBERTSON, David P, ZANUY, Angeles Valero a SANZ, León.** *Post-shock metabolic response.* místo neznámé : Nutricion hospitalaria (2001), 1942. stránky 176-182. 2396189, PMID: 11708288.
30. **ROSSEEL, Zenzi, CORTOOS, Pieter-Jan a DE WAELE, Elisabeth.** Energy Guidance Using Indirect Calorimetry for Intestinal Failure Patients with Home Parenteral Nutrition: The Right Bag Right at the Start. [Online] 17. březen 2023. [Citace: 5. květen 2024.] https://doi.org/10.3390/nu15061464.
31. **LIN, Xihua a LI, Hong.** Obesity: Epidemiology, Pathophysiology, and Therapeutics. [Online] 6. září 2021. [Citace: 10. duben 2024.] doi: 10.3389/fendo.2021.706978.
32. **KUNEŠOVÁ, Marie et al.** *Základy obezitologie.* Praha : Galén, 2016. 978-80-7492-217-6.
33. **SERIN, Yeliz a ACAR TEK, Nilüfer.** Effect of Circadian Rhythm on Metabolic Processes and the Regulation of Energy Balance. [Online] 23. Duben 2019. 14219697.

34. **DELSOGLIO, Marta, a další.** Indirect Calorimetry in Clinical Practice. [Online] 5. září 2019. [Citace: 13. duben 2024.] https://doi.org/10.3390/jcm8091387.
35. **ALVES, Valéria Girard, GONZALEZ, Maria Cristina a DA ROCHA, Eduardo Eiras.** Resting Energy Expenditure Measured by Indirect Calorimetry in Obese Patients: Variation Within Different BMI Ranges. [Online] 22. duben 2019. [Citace: 14. duben 2024.] https://doi.org/10.1002/jpen.1589.
36. **CHOPRA, Sakshi, a další.** Lifestyle-related advice in the management of obesity: A step-wise approach. [Online] 28. září 2020. [Citace: 6. květen 2024.] PMCID: PMC7652086 PMID: 33209931 DOI: 10.4103/jehp.jehp_216_20.
37. **Cosmed.** s-medics.cz. [Online] 8 2012. [Citace: 22. únor 2024.] https://www.s-medics.cz/katalogy/RMR_Medical_Brochure_CZ_C03098-12-93web.pdf.
38. **Nanjing AIYI Technologies Co.** Principy, Výhody A Nevýhody Běžných Senzorů Detektorů Plynu. *Gasdetectorchina.* [Online] 2. červen 2020. [Citace: 22. únor 2024.] https://cz.gasdetectorchina.com/info/principles-advantages-and-disadvantages-of-co-46247612.html.
39. **Fuji Electric.** Analyzátory plynů. *Amtek.* [Online] [Citace: 22. únor 2024.] https://www.amtek.cz/download/cz/proc-instr-analyzatory-bioplynu/Gas_analyzers_21c2-CZ-0005c_Amtek_reduced.pdf.

Příloha 1: Výstup z měření nepřímou kalorimetrií



COSMED
The Metabolic Company

Ambulance Prof. MUDr. Karla Martiníka, DrSc., s.r.o.
Bratří Štefanů 895, 500 03 Hradec Králové
http://www.cosmed.com

Datum návštěvy: **18.12.2023**
Vytisknuto: **18.12.2023**

Jméno	ID1		Pohlaví	Věk	Váha (kg)	Výška (cm)
			Žena	45	104,00	170,0
Společnost	Dat.nar.	ID2	BMI (kg/m2)	Kouří	Roky kouření	Cig/Den
--	--		36,0	--	--	--
Povolání	Operátor		Lékař			
--	--					--
Etnicita	Místnost	Soubor				
Běloch	--	Harris Benedict (Klidový metabolizmus)				

REE Kanopy @ 8:48

Informace o testu

Doba testu:	8:48	Denní příjem (kcal):	-	Sedace:	N/A
Trvání testu:	25:10	Body T (°C):	-	Pozice:	Nedefinov
Trvání AVG REE:	20:10	Období hladovění:	N/A	Důvod testu:	Žádná
AMR (kcal/day):	-	Klidové období:	N/A		
UN (g/day):	-	Vzrušení:	N/A		

RMR kcal/day — Pomalý 1508 — Normální 1999 — Rychlý — 2726

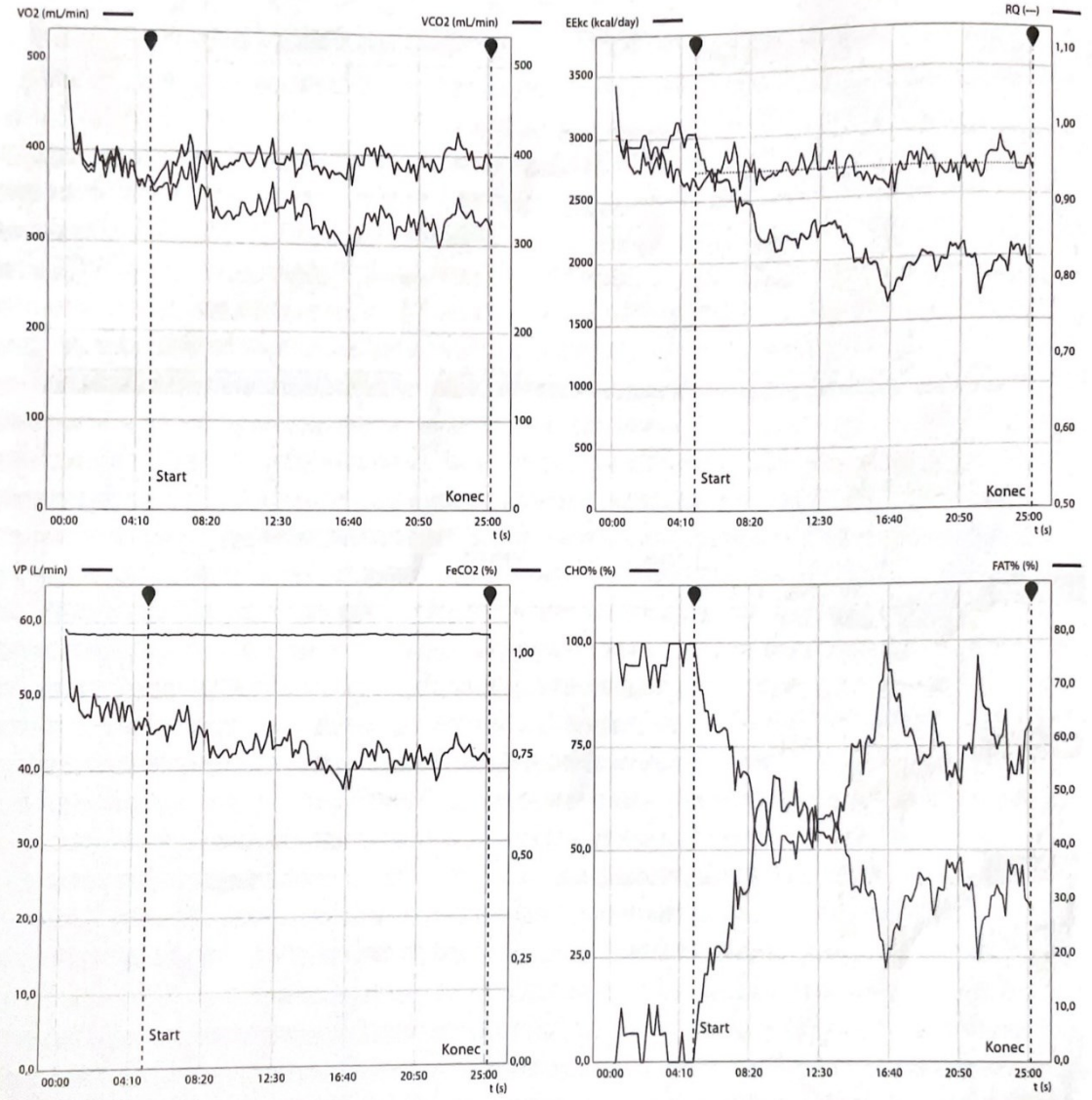
Interpretace:

☐ Potvrdit zprávu **Podpis:** _____

Metabolické		Měř.	Pred	% CV	Třída
RMR	kcal/day	2726	1754	3,1	Rychlý
RQ	---	0,85	0,85	5,4	
VO2	mL/min	391	364	3,2	
VCO2	mL/min	334	309	5,7	
Ventilační		Měř.	% CV		
VP	L/min	58,3	0,1		
FeO2	%	20,10	0,1		
FeCO2	%	0,77	5,1		
Substráty		Měř.			
FAT%	%	49,8			
CHO%	%	50,2			
PRO%	%	0,0			

Login account: Administrator — Page 1 of 4 — Omnia 1.6.10 - Quark RMR with dongle 2016041063

Jméno	ID1	Pohlaví	Věk	Váha (kg)	Výška (cm)
		Žena	45	104,00	170,0
Dat.nar.	Soubor				
	Harris Benedict (Klidový metabolizmus)				



Jméno	ID1	Pohlaví	Věk	Váha (kg)	Výška (cm)
		Žena	45	104,00	170,0
Dat.nar.	Soubor				
	Harris Benedict (Klidový metabolizmus)				

t	VP	VO2	VCO2	RQ	EEkc	FeO2	FeCO2	FiO2	FiCO2	FAT%	CHO%	PRO%	Fáze
hh:mm:ss	L/min	mL/min	mL/min	---	kcal/day	%	%	%	%	%	%	%	---
00:10	59,2	477	477	1,00	3432	19,91	1,05	20,89	0,07	0,0	100,0	0,0	Žádná
00:20	58,4	432	432	1,00	3109	19,99	0,97	20,89	0,07	0,0	100,0	0,0	Žádná
00:30	58,5	405	399	0,98	2906	20,05	0,90	20,89	0,07	5,1	94,9	0,0	Žádná
00:40	58,5	406	394	0,97	2906	20,05	0,89	20,89	0,07	10,2	89,8	0,0	Žádná
00:50	58,4	419	413	0,99	3005	20,02	0,93	20,89	0,07	4,9	95,1	0,0	Žádná
01:00	58,4	390	384	0,98	2798	20,08	0,87	20,89	0,07	5,3	94,7	0,0	Žádná
01:10	58,4	385	379	0,98	2763	20,09	0,86	20,89	0,07	5,4	94,6	0,0	Žádná
01:20	58,4	380	374	0,98	2729	20,10	0,85	20,89	0,07	5,4	94,6	0,0	Žádná
01:30	58,3	384	378	0,98	2758	20,09	0,86	20,89	0,07	5,4	94,6	0,0	Žádná
01:40	58,4	380	374	0,98	2729	20,10	0,85	20,89	0,07	5,4	94,6	0,0	Žádná
01:50	58,5	404	404	1,00	2907	20,05	0,91	20,89	0,07	0,0	100,0	0,0	Žádná
02:00	58,3	388	388	1,00	2793	20,08	0,88	20,89	0,07	0,0	100,0	0,0	Žádná
02:10	58,3	394	388	0,98	2827	20,07	0,88	20,89	0,07	5,2	94,8	0,0	Žádná
02:20	58,3	381	369	0,97	2723	20,10	0,84	20,89	0,07	10,9	89,1	0,0	Žádná
02:30	58,4	390	384	0,98	2798	20,08	0,87	20,89	0,07	5,3	94,7	0,0	Žádná
02:40	58,3	399	393	0,98	2862	20,06	0,89	20,89	0,07	5,2	94,8	0,0	Žádná
02:50	58,4	386	374	0,97	2763	20,09	0,85	20,89	0,07	10,7	89,3	0,0	Žádná
03:00	58,4	404	398	0,98	2901	20,05	0,90	20,89	0,07	5,1	94,9	0,0	Žádná
03:10	58,3	394	388	0,98	2827	20,07	0,88	20,89	0,07	5,2	94,8	0,0	Žádná
03:20	58,4	376	369	0,98	2694	20,11	0,84	20,89	0,07	5,5	94,5	0,0	Žádná
03:30	58,4	393	393	1,00	2833	20,07	0,89	20,89	0,07	0,0	100,0	0,0	Žádná
03:40	58,3	369	369	1,00	2655	20,12	0,84	20,89	0,07	0,0	100,0	0,0	Žádná
03:50	58,4	383	389	1,02	2764	20,09	0,88	20,89	0,07	0,0	100,0	0,0	Žádná
04:00	58,3	382	388	1,02	2759	20,09	0,88	20,89	0,07	0,0	100,0	0,0	Žádná
04:10	58,3	369	369	1,00	2655	20,12	0,84	20,89	0,07	0,0	100,0	0,0	Žádná
04:20	58,3	365	359	0,98	2620	20,13	0,82	20,89	0,07	5,7	94,3	0,0	Žádná
04:30	58,3	369	369	1,00	2655	20,12	0,84	20,89	0,07	0,0	100,0	0,0	Žádná
04:40	58,3	359	359	1,00	2586	20,14	0,82	20,89	0,07	0,0	100,0	0,0	Žádná
04:50	58,3	374	374	1,00	2690	20,11	0,85	20,89	0,07	0,0	100,0	0,0	Žádná
05:00	58,3	369	369	1,00	2655	20,12	0,84	20,89	0,07	0,0	100,0	0,0	Klid
05:10	58,4	361	355	0,98	2590	20,14	0,81	20,89	0,07	5,7	94,3	0,0	Klid
05:20	58,3	367	354	0,97	2620	20,13	0,81	20,89	0,07	11,3	88,7	0,0	Klid
05:30	58,4	372	360	0,97	2659	20,12	0,82	20,89	0,07	11,1	88,9	0,0	Klid
05:40	58,3	377	359	0,95	2688	20,11	0,82	20,89	0,07	16,4	83,6	0,0	Klid
05:50	58,2	382	363	0,95	2718	20,10	0,83	20,89	0,07	16,2	83,8	0,0	Klid
06:00	58,4	389	365	0,94	2762	20,09	0,83	20,89	0,07	21,3	78,7	0,0	Klid
06:10	58,2	362	344	0,95	2581	20,14	0,79	20,89	0,07	17,1	82,9	0,0	Klid
06:20	58,3	388	364	0,94	2757	20,09	0,83	20,89	0,07	21,3	78,7	0,0	Klid
06:30	58,3	383	359	0,94	2722	20,10	0,82	20,89	0,07	21,6	78,4	0,0	Klid
06:40	58,3	393	369	0,94	2791	20,08	0,84	20,89	0,07	21,0	79,0	0,0	Klid
06:50	58,3	407	383	0,94	2895	20,05	0,87	20,89	0,07	20,3	79,7	0,0	Klid
07:00	58,4	394	369	0,94	2796	20,08	0,84	20,89	0,07	21,0	79,0	0,0	Klid
07:10	58,3	399	369	0,92	2825	20,07	0,84	20,89	0,07	25,9	74,1	0,0	Klid
07:20	58,4	419	389	0,93	2968	20,03	0,88	20,89	0,07	24,7	75,3	0,0	Klid
07:30	58,2	406	363	0,90	2854	20,06	0,83	20,89	0,07	35,6	64,4	0,0	Klid
07:40	58,3	366	335	0,92	2584	20,14	0,77	20,89	0,07	28,3	71,7	0,0	Klid
07:50	58,4	382	345	0,90	2692	20,11	0,79	20,89	0,07	32,6	67,4	0,0	Klid
08:00	58,3	400	364	0,91	2825	20,07	0,83	20,89	0,07	31,0	69,0	0,0	Klid
08:10	58,3	396	359	0,91	2790	20,08	0,82	20,89	0,07	31,4	68,6	0,0	Klid
08:20	58,3	386	350	0,91	2721	20,10	0,80	20,89	0,07	32,1	67,9	0,0	Klid
08:30	58,3	402	359	0,89	2824	20,07	0,82	20,89	0,07	36,0	64,0	0,0	Klid
08:40	58,3	374	326	0,87	2617	20,13	0,75	20,89	0,07	44,2	55,8	0,0	Klid
08:50	58,2	394	339	0,86	2750	20,09	0,78	20,89	0,07	47,2	52,8	0,0	Klid
09:00	58,2	384	330	0,86	2681	20,11	0,76	20,89	0,07	48,3	51,7	0,0	Klid
09:10	58,3	380	326	0,86	2651	20,12	0,75	20,89	0,07	49,0	51,0	0,0	Klid
09:20	58,2	384	330	0,86	2681	20,11	0,76	20,89	0,07	48,3	51,7	0,0	Klid
09:30	58,2	383	335	0,87	2681	20,11	0,77	20,89	0,07	43,1	56,9	0,0	Klid
09:40	58,1	388	334	0,86	2711	20,10	0,77	20,89	0,07	47,8	52,2	0,0	Klid
09:50	58,2	386	325	0,84	2680	20,11	0,75	20,89	0,07	53,5	46,5	0,0	Klid
10:00	58,3	391	330	0,85	2719	20,10	0,76	20,89	0,07	52,9	47,1	0,0	Klid
10:10	58,2	390	330	0,85	2715	20,10	0,76	20,89	0,07	52,9	47,1	0,0	Klid
10:20	58,3	399	345	0,86	2789	20,08	0,79	20,89	0,07	46,6	53,4	0,0	Klid
10:30	58,2	399	344	0,86	2784	20,08	0,79	20,89	0,07	46,6	53,4	0,0	Klid
10:40	58,2	389	335	0,86	2715	20,10	0,77	20,89	0,07	47,8	52,2	0,0	Klid
10:50	58,3	385	330	0,86	2685	20,11	0,76	20,89	0,07	48,3	51,7	0,0	Klid
11:00	58,2	389	335	0,86	2715	20,10	0,77	20,89	0,07	47,8	52,2	0,0	Klid
11:10	58,3	396	335	0,85	2754	20,09	0,77	20,89	0,07	52,2	47,8	0,0	Klid
11:20	58,3	409	354	0,87	2858	20,06	0,81	20,89	0,07	45,5	54,5	0,0	Klid
11:30	58,2	399	344	0,86	2784	20,08	0,79	20,89	0,07	46,6	53,4	0,0	Klid
11:40	58,3	385	330	0,86	2685	20,11	0,76	20,89	0,07	48,3	51,7	0,0	Klid
11:50	58,3	395	340	0,86	2754	20,09	0,78	20,89	0,07	47,2	52,8	0,0	Klid
12:00	58,3	398	350	0,88	2789	20,08	0,80	20,89	0,07	41,6	58,4	0,0	Klid
12:10	58,3	417	369	0,88	2927	20,04	0,84	20,89	0,07	39,7	60,3	0,0	Klid
12:20	58,2	389	335	0,86	2715	20,10	0,77	20,89	0,07	47,8	52,2	0,0	Klid
12:30	58,3	389	340	0,88	2720	20,10	0,78	20,89	0,07	42,6	57,4	0,0	Klid
12:40	58,3	389	340	0,88	2720	20,10	0,78	20,89	0,07	42,6	57,4	0,0	Klid
12:50	58,2	388	339	0,88	2716	20,10	0,78	20,89	0,07	42,6	57,4	0,0	Klid

Jméno	ID1	Pohlaví	Věk	Váha (kg)	Výška (cm)
		Žena	45	104,00	170,0
Dat.nar.	Soubor				
	Harris Benedict (Klidový metabolizmus)				

t	VP	VO2	VCO2	RQ	EEkc	FeO2	FeCO2	FiO2	FiCO2	FAT%	CHO%	PRO%	Fáze
hh:mm:ss	L/min	mL/min	mL/min	---	kcal/day	%	%	%	%	%	%	%	---
13:00	58,3	398	350	0,88	2789	20,08	0,80	20,89	0,07	41,6	58,4	0,0	Klid
13:10	58,2	393	344	0,88	2750	20,09	0,79	20,89	0,07	42,1	57,9	0,0	Klid
13:20	58,3	408	359	0,88	2858	20,06	0,82	20,89	0,07	40,6	59,4	0,0	Klid
13:30	58,3	374	326	0,87	2617	20,13	0,75	20,89	0,07	44,2	55,8	0,0	Klid
13:40	58,2	383	335	0,87	2681	20,11	0,77	20,89	0,07	43,1	56,9	0,0	Klid
13:50	58,2	384	330	0,86	2681	20,11	0,76	20,89	0,07	48,3	51,7	0,0	Klid
14:00	58,2	399	344	0,86	2784	20,08	0,79	20,89	0,07	46,6	53,4	0,0	Klid
14:10	58,3	405	345	0,85	2823	20,07	0,79	20,89	0,07	51,0	49,0	0,0	Klid
14:20	58,3	401	340	0,85	2788	20,08	0,78	20,89	0,07	51,6	48,4	0,0	Klid
14:30	58,3	383	316	0,83	2650	20,12	0,73	20,89	0,07	59,4	40,6	0,0	Klid
14:40	58,2	387	320	0,83	2680	20,11	0,74	20,89	0,07	58,7	41,3	0,0	Klid
14:50	58,2	387	320	0,83	2680	20,11	0,74	20,89	0,07	58,7	41,3	0,0	Klid
15:00	58,2	377	311	0,82	2611	20,13	0,72	20,89	0,07	60,2	39,8	0,0	Klid
15:10	58,3	386	326	0,84	2685	20,11	0,75	20,89	0,07	53,5	46,5	0,0	Klid
15:20	58,3	383	316	0,83	2650	20,12	0,73	20,89	0,07	59,4	40,6	0,0	Klid
15:30	58,3	373	306	0,82	2581	20,14	0,71	20,89	0,07	61,0	39,0	0,0	Klid
15:40	58,3	383	316	0,83	2650	20,12	0,73	20,89	0,07	59,4	40,6	0,0	Klid
15:50	58,3	378	311	0,82	2616	20,13	0,72	20,89	0,07	60,2	39,8	0,0	Klid
16:00	58,3	379	306	0,81	2615	20,13	0,71	20,89	0,07	65,4	34,6	0,0	Klid
16:10	58,2	380	301	0,79	2610	20,13	0,70	20,89	0,07	70,7	29,3	0,0	Klid
16:20	58,3	376	297	0,79	2580	20,14	0,69	20,89	0,07	71,6	28,4	0,0	Klid
16:30	58,3	372	287	0,77	2545	20,15	0,67	20,89	0,07	77,8	22,2	0,0	Klid
16:40	58,3	396	311	0,79	2718	20,10	0,72	20,89	0,07	73,1	26,9	0,0	Klid
16:50	58,3	366	287	0,78	2511	20,16	0,67	20,89	0,07	73,4	26,6	0,0	Klid
17:00	58,2	389	311	0,80	2679	20,11	0,72	20,89	0,07	68,9	31,1	0,0	Klid
17:10	58,3	400	321	0,80	2753	20,09	0,74	20,89	0,07	67,3	32,7	0,0	Klid
17:20	58,3	390	311	0,80	2684	20,11	0,72	20,89	0,07	68,9	31,1	0,0	Klid
17:30	58,3	389	316	0,81	2684	20,11	0,73	20,89	0,07	63,8	36,2	0,0	Klid
17:40	58,3	408	335	0,82	2822	20,07	0,77	20,89	0,07	60,8	39,2	0,0	Klid
17:50	58,3	408	335	0,82	2822	20,07	0,77	20,89	0,07	60,8	39,2	0,0	Klid
18:00	58,4	399	326	0,82	2758	20,09	0,75	20,89	0,07	62,3	37,7	0,0	Klid
18:10	58,4	409	336	0,82	2827	20,07	0,77	20,89	0,07	60,8	39,2	0,0	Klid
18:20	58,4	388	321	0,83	2689	20,11	0,74	20,89	0,07	58,7	41,3	0,0	Klid
18:30	58,3	411	345	0,84	2857	20,06	0,79	20,89	0,07	55,3	44,7	0,0	Klid
18:40	58,2	406	339	0,84	2818	20,07	0,78	20,89	0,07	55,9	44,1	0,0	Klid
18:50	58,3	397	330	0,83	2754	20,09	0,76	20,89	0,07	57,3	42,7	0,0	Klid
19:00	58,4	403	336	0,83	2793	20,08	0,77	20,89	0,07	56,6	43,4	0,0	Klid
19:10	58,3	397	330	0,83	2754	20,09	0,76	20,89	0,07	57,3	42,7	0,0	Klid
19:20	58,3	379	306	0,81	2615	20,13	0,71	20,89	0,07	65,4	34,6	0,0	Klid
19:30	58,2	393	320	0,82	2714	20,10	0,74	20,89	0,07	63,1	36,9	0,0	Klid
19:40	58,3	388	321	0,83	2685	20,11	0,74	20,89	0,07	58,7	41,3	0,0	Klid
19:50	58,3	383	316	0,83	2650	20,12	0,73	20,89	0,07	59,4	40,6	0,0	Klid
20:00	58,3	383	316	0,83	2650	20,12	0,73	20,89	0,07	59,4	40,6	0,0	Klid
20:10	58,3	396	335	0,85	2754	20,09	0,77	20,89	0,07	52,2	47,8	0,0	Klid
20:20	58,2	381	320	0,84	2646	20,12	0,74	20,89	0,07	54,2	45,8	0,0	Klid
20:30	58,3	391	330	0,85	2719	20,10	0,76	20,89	0,07	52,9	47,1	0,0	Klid
20:40	58,3	372	311	0,84	2582	20,14	0,72	20,89	0,07	55,6	44,4	0,0	Klid
20:50	58,3	391	330	0,85	2719	20,10	0,76	20,89	0,07	52,9	47,1	0,0	Klid
21:00	58,3	401	340	0,85	2788	20,08	0,78	20,89	0,07	51,6	48,4	0,0	Klid
21:10	58,3	388	321	0,83	2685	20,11	0,74	20,89	0,07	58,7	41,3	0,0	Klid
21:20	58,3	392	326	0,83	2719	20,10	0,75	20,89	0,07	58,0	42,0	0,0	Klid
21:30	58,3	383	316	0,83	2650	20,12	0,73	20,89	0,07	59,4	40,6	0,0	Klid
21:40	58,3	397	330	0,83	2754	20,09	0,76	20,89	0,07	57,3	42,7	0,0	Klid
21:50	58,3	389	316	0,81	2684	20,11	0,73	20,89	0,07	63,8	36,2	0,0	Klid
22:00	58,3	382	297	0,78	2614	20,13	0,69	20,89	0,07	75,8	24,2	0,0	Klid
22:10	58,3	385	306	0,80	2649	20,12	0,71	20,89	0,07	69,8	30,2	0,0	Klid
22:20	58,2	404	325	0,81	2782	20,08	0,75	20,89	0,07	66,5	33,5	0,0	Klid
22:30	58,3	409	330	0,81	2822	20,07	0,76	20,89	0,07	65,7	34,3	0,0	Klid
22:40	58,4	410	331	0,81	2826	20,07	0,76	20,89	0,07	65,7	34,3	0,0	Klid
22:50	58,3	408	335	0,82	2822	20,07	0,77	20,89	0,07	60,8	39,2	0,0	Klid
23:00	58,3	408	335	0,82	2822	20,07	0,77	20,89	0,07	60,8	39,2	0,0	Klid
23:10	58,3	427	354	0,83	2960	20,03	0,81	20,89	0,07	58,1	41,9	0,0	Klid
23:20	58,3	413	340	0,82	2856	20,06	0,78	20,89	0,07	60,1	39,9	0,0	Klid
23:30	58,3	408	335	0,82	2822	20,07	0,77	20,89	0,07	60,8	39,2	0,0	Klid
23:40	58,3	409	330	0,81	2822	20,07	0,76	20,89	0,07	65,7	34,3	0,0	Klid
23:50	58,3	396	335	0,85	2754	20,09	0,77	20,89	0,07	52,2	47,8	0,0	Klid
24:00	58,3	407	340	0,84	2822	20,07	0,78	20,89	0,07	55,9	44,1	0,0	Klid
24:10	58,4	387	326	0,84	2690	20,11	0,75	20,89	0,07	53,5	46,5	0,0	Klid
24:20	58,4	387	326	0,84	2690	20,11	0,75	20,89	0,07	53,5	46,5	0,0	Klid
24:30	58,4	388	321	0,83	2689	20,11	0,74	20,89	0,07	58,7	41,3	0,0	Klid
24:40	58,3	386	326	0,84	2685	20,11	0,75	20,89	0,07	53,5	46,5	0,0	Klid
24:50	58,3	403	330	0,82	2788	20,08	0,76	20,89	0,07	61,6	38,4	0,0	Klid
25:00	58,3	398	326	0,82	2753	20,09	0,75	20,89	0,07	62,3	37,7	0,0	Klid
25:10	58,2	388	316	0,81	2679	20,11	0,73	20,89	0,07	63,8	36,2	0,0	Klid