

UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE
FARMACEUTICKÁ FAKULTA V HRADCI KRÁLOVÉ
KATEDRA BIOLOGICKÝCH A LÉKAŘSKÝCH VĚD



DIPLOMOVÁ PRÁCE

Klidový energetický výdej u polytraumatických pacientů

Vedoucí diplomové práce: PharmDr. Miloslav Hronek, Ph.D.

HRADEC KRÁLOVÉ, 2013

Ondřej Šimandl

Poděkování

Děkuji vedoucímu své diplomové práce PharmDr. Miloslavu Hronkovi, Ph.D. za odbornou pomoc, cenné rady i ochotu dialogu. Mé poděkování patří i vedoucímu lékaři 1. chirurgické JIP FN v Hradci Králové MUDr. Eduardu Havlovi, Ph.D. i celému personálu oddělení, díky kterým naše měření probíhala za více než optimálních podmínek. V neposlední řadě bych chtěl též poděkovat kolegyni Gabriele Valentové za dobrou spolupráci při vyšetřování pacientů na JIP.

„Prohlašuji, že jsem tuto práci vypracoval samostatně a nevyužil jsem ji k získání jiného nebo stejného titulu. V práci jsem uvedl veškeré informační zdroje, ze kterých jsem při její tvorbě čerpal.“

V Hradci Králové 23. dubna 2013

Ondřej Šimandl

Obsah

Poděkování.....	2
Obsah	3
1 Úvod.....	6
2 Zadání – cíl práce.....	7
TEORETICKÁ ČÁST	8
3 Energetický výdej	8
3.1 Bazální energetický výdej	9
3.2 Klidový energetický výdej organismu za fyziologického stavu	12
3.3 Klidový energetický výdej organismu v kritickém stavu	12
3.3.1 Metabolické reakce organismu na kritický stav	14
3.3.1.1 Hypometabolická (ebb- odlivová) fáze šoku	15
3.3.1.2 Hypermetabolická (flow- přílivová) fáze šoku	15
3.3.1.3 fáze uzdravení	18
3.3.2 Malnutrice	19
3.3.2.1 prosté hladovění.....	23
3.3.2.2 stresové hladovění	23
3.4 Klidový energetický výdej u polytraumatických pacientů	25
3.4.1 Definice a patofyziologie polytraumatu	25
3.4.2 Klasifikace polytraumatu	26
3.4.2.1 Skórovací systém ISS	27
3.4.2.2 Skórovací systém APACHE II	27
3.4.3 Vliv polytraumatu na energetický výdej	28
4 Stanovení energetického výdeje	30
4.1 Predikční rovnice pro výpočet energetického výdeje.....	31
4.1.1 Harris–Benedictova rovnice.....	31
4.1.2 Rovnice pro výpočet aktuálního energetického výdeje	32
4.1.3 Ireton–Jonesova rovnice.....	34
4.1.4 Predikční rovnice dle WHO	35

4.2	Indirektní kalorimetrie	36
4.2.1	Kalorimetr a princip IC	37
4.2.2	Podmínky pro vyšetření pomocí IC	39
4.2.3	REE a utilizace jednotlivých nutričních substrátů	41
4.2.3.1	Stanovení REE	42
4.2.3.2	Vyjádření REE	43
4.2.3.3	Stanovení utilizace jednotlivých nutričních substrátů	45
4.2.3.4	Vyjádření utilizace nutričních substrátů	50
4.2.4	Další využití IC	51
5	Stanovení složení těla pomocí bioimpedanční analýzy (BIA)	52
5.1	Princip bioimpedanční analýzy BIA	52
5.2	Lean tissue mass (LTM)	53
5.3	Overhydration (OH)	54
5.4	Využití BIA	54
	EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	55
6	Charakteristika pacientů	55
7	Přístrojové vybavení a metodika vyhodnocení dat	59
7.1	Kalorimetr	59
7.2	Monitor složení těla	59
7.3	Metodika zpracování a vyhodnocení dat (PC-program)	60
8	Výsledky	60
8.1	Energetický výdej a utilizace nutričních substrátů	60
8.1.1	Energetický výdej	60
8.1.2	Utilizace nutričních substrátů	68
8.2	Korelace	71
8.2.1	Statisticky významné korelace mezi REE a vybranými markery	71
8.2.2	Statisticky nevýznamné korelace mezi REE a vybranými markery	77
8.2.3	Statisticky významné korelace mezi mírou utilizace nutričních substrátů a vybranými markery	78
8.2.4	Statisticky nevýznamné korelace mezi mírou utilizace nutričních substrátů a vybranými markery	80

8.3	T-test.....	81
9	Diskuse	84
10	Závěr	89
	Abstrakt	91
	Abstract.....	92
	Použité zkratky	93
	Seznam tabulek	96
	Seznam rovnic.....	98
	Seznam obrázků	99
	Seznam grafů	100
	Použitá literatura	101

1 Úvod

Malnutrice je jednou z nejčastějších situací, se kterou se lékaři setkávají. Je uváděno, že až 80 % hospitalizovaných pacientů trpí některou z forem malnutrice (Sobotka, 2011), a až u 2/3 z nich dochází během pobytu v nemocnici k jejímu prohloubení. (Grofová, 2012) Zvláště rizikovými skupinami jsou např. senioři, chronicky nemocní a pacienti v kritickém stavu, u nich se předpokládá toto riziko až v 65 %. (Zadák, 2011)

Během vystupňovaného katabolického stavu navozeného např. sepsí, SIRS, MODS, operací či polytraumatem, dochází po překonání krátce trvající hypometabolické fáze k hypermetabolismu, spojenému s rozdílnou substrátovou potřebou organismu, než za stavu fyziologického. Znalost potřeb organismu v této oblasti, a jejich hrazení nutriční intervencí, může napomoci snížení rizika rozvoje komorbidit, mortality a zkrácení doby hospitalizace.

Odhad energetické potřeby, tím spíše poměru jednotlivých energetických substrátů, není snadný, a jak ukazují tuzemské i zahraniční studie, nelze se spolehnout na predikční rovnice či tabelované hodnoty. (Kross, 2012; Neelemaat, 2012; Aimová, 2012) Literatura uvádí blízkou diferenci mezi hodnotou reálného klidového energetického výdeje a výslednou hodnotou predikčních rovnic Iretonových (Tichá, 2012).

Harris-Benedictova rovnice je, ač v klinické praxi hojně využívána, nevyhovující, neboť nikterak nezohledňuje aktuální stav pacienta. (Martins, 2011; Aimová, 2011) Z tohoto důvodu je důležité stanovení reálného klidového energetického výdeje a substrátových potřeb organismu pomocí metody nepřímé kalorimetrie, která pomáhá stanovit individuální potřeby organismu u jednotlivých pacientů, podle kterých je možné nastavit odpovídající nutriční podporu.

2 Zadání – cíl práce

Indirektní kalorimetrie je metoda založená na dechové analýze. Na základě stanovení množství inspirovaného kyslíku, exspirovaného oxidu uhličitého a odpadu dusíku v moči, lze pomocí Weirovy rovnice určit přesně nejen aktuální klidový energetický výdej, ale též potřebu jednotlivých nutričních substrátů.

Tato práce je zaměřena na stanovení klidového energetického výdeje a utilizace jednotlivých nutričních substrátů u polytraumatických pacientů na chirurgické JIP 1 FN v Hradci Králové.

Za cíl si klade zhodnotit nejen vztah mezi klidovým energetickým výdejem, utilizací nutričních substrátů a traumatem, ale též hledat případnou souvislost mezi velikostí klidového energetického výdeje či preferencí určitých nutričních substrátů a pohlavím, věkem, mírou traumatu, časem uplynulým od inzultu či vlivem složení těla pacienta. Za tímto účelem byla mj. provedena i bioimpedanční analýza složení těla pacienta v den vyšetření indirektní kalorimetrií.

TEORETICKÁ ČÁST

3 Energetický výdej

Jak uvádí Hronek, lidský organismus se chová jako termodynamicky vyvážený systém udržující bez ohledu na zevní prostředí stálou teplotu. Jedná se tedy o homoiotermní systém (Hronek et Zadák, 2011), který je schopen regulací intenzity metabolismu a změnami tepelné izolace kůže udržet stabilní vnitřní tělesnou teplotu v úzkém rozmezí. (Koudelová et Mourek, 2003)

Celková energetická potřeba, resp. výdej, představuje spolu s bazálním energetickým výdejem (BEE; Basal Energy Expenditure) zajišťujícím homeostázu organismu v naprostém klidu, i variabilní množství energie, která je nutná pro aktuální individuální potřeby organismu. Za fyziologického stavu tedy základní energetický výdej odpovídá asi 70 až 80 % z celkového energetického výdeje. (Zadák, 2008)

Pro klinické účely byl proto zaveden a definován termín klidový energetický výdej (REE; Resting Energy Expenditure), který odpovídá celkovému energetickému výdeji v reálném čase u konkrétního pacienta. Nejpřesněji ho lze stanovit metodou indirektní kalorimetrie (IC; Indirect Calorimetry). Existují však i matematické vztahy pro určení jeho velikosti, např. Ireton–Jonesova rovnice. Chyba odhadu energetické potřeby, resp. výdeje, se podle Mahalka obecně pohybuje v rozmezí 20 až 30 %. (Rušavý, 2008)

Pro hrazení energetických potřeb organismu je využívána, kromě vlastních zásob, zejm. potrava. Termický efekt potravy definoval Rušavý jako nárůst energetického výdeje postprandiálně s maximem za 90 min po perorálním příjmu potravy a návratem k preprandiálním hodnotám za 2 až 4 hodiny. (Rušavý, 2008) Termický efekt je u sacharidů stanoven na 5 až 10 %, což znamená, že při příjmu sacharidů odpovídajícím 1000 kcal se zvýší klidový energetický výdej o 50-100 kcal. U tuků činí termický efekt 0 až 3 %, a u bílkovin 20 až 30 %. (Rušavý, 2008)

Uvolňování energie oxidativní nebo glykolytickou cestou je součástí jediného systému, jenž využívá dle aktuální potřeby obě formy. (Máček et Radvanský, 2011) Obě tyto cesty působí synergicky s cílem co největšího efektu a dostatečné rychlosti nárůstu resyntézy makroergních fosfátů, zejm. ATP, které jsou prakticky jediným okamžitým zdroje energie

pro buněčné děje. A to při co nejnižším energetickém výdeji. Tím je regulován i výběr nutričních substrátů a míra jejich utilizace.

Energie je naopak čerpána např. při pohybové aktivitě, která je nedílnou součástí života člověka. Ta zvyšuje energetický výdej o 20 až 60 % v závislosti na typu zátěže. (Rušavý, 2008) Naopak u jedinců imobilních, např. upoutaných na lůžku v nemocničním zařízení, energetický výdej z tohoto pohledu klesá. Zároveň ale roste jejich energetický výdej z důvodu patologického procesu, kterým jsou postiženi, a proto je třeba kalkulovat i s tímto faktem.

Energetický výdej je nejčastěji vyjádřen jako množství energie vztažené na jednotku času, tedy kcal za den (= 24 hod), ev. kJ za den.

3.1 Bazální energetický výdej

Bazální energetický výdej (BEE; Basal Energy Expenditure), resp. potřeba, představuje minimální velikost energie nutné k udržení homeostázy vč. práce srdečního svalu, svalové kontrakce v klidu, sekreční funkce a energie potřebné pro respiraci. (Hronek et Zadák, 2011) A to v bdělém stavu, v teplotně neutrálním prostředí, po 12-ti hodinovém lačnění a úplném fyzickém i psychickém klidu. O jeho velikosti rozhoduje nemálo faktorů, vč. pohlaví, věku, tělesné teploty, fyzického a emočního stavu, tak, jak to upřesňuje Tabulka 1.

Velikost BEE však v klinické praxi nemá zásadní význam, neboť neodráží energetický výdej v průběhu 24 hodin, ale v pouze výše definovaném okamžiku, nejčastěji však těsně po ranním probuzení. (Rušavý, 2008) Jeho velikost nám však může posloužit k posouzení míry energetického výdeje vůči její reálné hodnotě, tedy REE.

Tabulka 1 - Faktory ovlivňující bazální energetický výdej

faktor	vliv na BEE
pohlaví	ženy: ↓
věk	novorozenci: ↓ v 5 letech max.
rasa	Číňané: ↓ Eskymáci: ↑ o 33% než Evropané a Američané
povrch těla	menší vzrůst: ↑
tělesná teplota (TT)	↑ TT o 1°C: ↑ o 12-14%
účinky hormonů	hyperthyreóza: ↑ catecholaminy krátkodobě: ↑ Cushing. syndrom: ↑ Addison. syndrom: ↓
stav výživy	hladovění: ↓ až o 40%
svalová námaha	zátěž: ↑
vliv onemocnění	zvýšená buněčná aktivita (některé anemie, srdeční vady, hypertenze, dyspnoe): ↑
růst	↑
mentální aktivita	(↑ VO ₂ a VCO ₂ až o 40%)
emoční stav	úzkost a nervové vyčerpání: ↑ apatie a deprese: ↓
spánek	↓ až o 10%
těhotenství	(↑ spotřeby O ₂ plodem)
podnebí	horké podnebí: ↑

Zdroj: Hronek et Zadák, 2011 (přepřacováno z textu do tabulky)

BEE – Basal Energy Expenditure; bazální energetický výdej stanovený dle Harris-Benedictovy rovnice; [kcal·den⁻¹]

Pro výpočet BEE vytvořili již v roce 1900 Harris a Benedict rovnici, jejíž znění a význam jednotlivých proměnných bude uveden níže (kap. 4.1.1).

Tým pod vedením B. Saltina provedl v roce 1968 pokus, kdy nechali skupinu zdravých studentů ležet na lůžku po dobu 3 týdnů (Máček et Radvanský, 2011), čímž u nich navodili z pohledu energetického metabolismu stav blízký bazálnímu energetickému výdeji. Závěry této studie shrnuje Tabulka 2, z níž vyplývá, že i pouhá imobilita zhoršuje stav pacienta a v kombinaci s patologií může významně u nemocného zhoršit jeho prognózu.

Tabulka 2 - Reakce zdravého organismu na fyzickou inaktivitu

systém	reakce
vegetativní nervový systém	sympatikus >> parasympatikus
oběhový systém	<ul style="list-style-type: none"> ↓ maximálního tepového objemu ↓ objemu krve o 7-20 % ↓ tepového objemu až o 17 % ↑ tepové frekvence (reflexní) o 5-10 % ↓ celkového množství erytrocytů ↓ fibrinolytické aktivity ↓ perfuze tkání ↓ tloušťky stěny levé komory o 25%
dýchací systém	<p>dušnost již při malé zátěži v důsledku atrofie dýchacích svalů</p> <ul style="list-style-type: none"> ↓ maximální spotřeby kyslíku o 20 - 35 %
pohybový systém	<p>žádný pokles počtu červených ani bílých svalových vláken, pouze ↓ plochy jejich průřezu</p> <p>pokles svalové síly</p>
kosterní systém	vyplavování vápníku z kostí (až 1,5 g za týden, postižena zejm. axiální část skeletu)
metabolismus	<p>hypometabolismus</p> <ul style="list-style-type: none"> ↑ RQ (↓ util. tuků a ↑ util. glykogenu) ↓ tolerance glukózy a inzulínová rezistence negativní dusíková bilance (až 8g bílkovin za den; v důsl. ↓ aktivní tělesné hmoty) ↓ konc. transportéru svalové bílkoviny GLUT-4 o 20 – 30 % ↑ postprandiální lipidemie, ↓ HDL a ↑ LDL frakce cholesterolu) ↓ hodnoty laktátového prahu
enzymatický aparát	<ul style="list-style-type: none"> ↓ aktivity svalové lipoproteinové lipázy o 45 – 70 % ↑ aktivity lipoproteinové lipázy v oblasti tukových rezerv, což znamená jejich zvětšování ↓ glykogensyntázy až o 40 % již po 5 dnech
tělesná teplota	↓
ostatní	rychlá únavnost, pocit slabosti, závrať, pocit pracovní neschopnosti, bolest hlavy, bolesti zad, pocit studených končetin, bušení srdce

Zdroj: Máček et Radvanský, 2011 (přepřacováno z textu do tabulky)

3.2 Klidový energetický výdej organismu za fyziologického stavu

Klidový energetický výdej (REE; Resting Energy Expenditure) na rozdíl od BEE odpovídá reálné potřebě organismu. Ve srovnání s BEE je REE asi o 3 % vyšší. (Hronek et Zadák, 2011) Reálná energetická potřeba jedince odpovídá totiž součtu BEE, již zmiňovaného termického efektu přijaté potravy, energetické potřeby hradící fyzickou aktivitu a ev. i přítomné choroby či jiné stresové situace. (Rušavý, 2008)

REE vyjadřuje metabolické nároky organismu kdykoli během dne, a proto je jeho stanovení v klinické praxi hojně využíváno. (Rušavý, 2008) Nejčastějším a zároveň nejpresnějším způsobem jak jej stanovit je indirektní kalorimetrie (IC; Indirect Calorimetry) (viz kap. 4.2), která je založena na principu dechové analýzy (breath-by-breath) a následné kalkulaci dle vztahů odvozených od Weirovy rovnice. Dle Dastycha nepřesahuje odchylka hodnoty REE oproti jeho opakovaným měřením během 24 hodin 4 – 7 %. (Rušavý, 2008) Preference nutričních substrátů, zajišťujících nejvýznamnější zdroj energie díky resyntéze makroergních fosfátů, je určena mírou náročnosti jejich syntézy v daný okamžik. Vzájemný poměr utilizovaných nutričních substrátů je u každého jedince individuální. Za fyziologického stavu má být energetická potřeba organismu kryta z 50 až 55 % sacharidy, z 15 až 20 % proteiny a z 25 až 30 % lipidy. (Mourek et Koudelková, 2003)

Hronek uvádí, že se klidová energetická potřeba u dospělého člověka pohybuje přibližně kolem $1 \text{ kcal} \cdot \text{min}^{-1}$. (Hronek et Zadák, 2011)

3.3 Klidový energetický výdej organismu v kritickém stavu

Kritický stav pro člověka znamená vždy zátěž, a to ať už se jedná o zátěž fyzickou či psychickou. Často jsou provázány, přesto je fyzické trauma oproti tomu psychickému významnější a mnohdy fatální.

Bartůňková uvádí 3 fáze stresového syndromu – alarmovou (poplachovou), rezistenční (adaptační) a fázi vyčerpání (exhausce). (Bartůňková, 2010)

První fáze, fáze alarmová, slouží k mobilizaci energetických zdrojů. (Bartůňková, 2010) Dochází v ní k aktivaci mechanismů zajišťujících redistribuci krve směrem k mozku, srdci, kosterním svalům, i hospodaření s vodou a elektrolyty. Tato fáze trvá jen krátce, nicméně je nezbytnou pro překonání krize. Hlavním aktivovaným kompartmentem nervového

systému je, kromě stresových center v kůře mozkové, amygdale, hipokampu, hypotalamu a hypofýze, zejm. sympatikus. Děje odehrávající se během této fáze popisuje Tabulka 3. Odpovídá tedy rámcově svým charakterem tzv. hypometabolické (ebb) fázi reakce organismu na kritický stav (viz. kapitola 3.3.1.1), tak, jak ji popisuje Zadák (Zadák, 2008).

Tabulka 3 - Reakce organismu na stres v jeho 1. fázi – fázi alarmové (poplachové)

systém	reakce
vegetativní nervový systém	sympatikus >> parasympatikus
oběhový systém	↑ tepová frekvence (zajištění transportu kyslíku a energetických substrátů) ↓ fibrinolytické aktivity
pohybový systém	↑ svalového tonu a svalové síly
metabolismus	rychlá mobilizace energetických zdrojů (glukózy a mastných kyselin ze svalů, jater a tukové tkáně)
imunitní systém	↓ obranyschopnosti
GIT	potlačení trávicích pochodů útlumem peristaltiky a sekreční funkce tlusté střevo stimulováno uvolnit obsah
ostatní	↓ pocitu bolesti

Zdroj: Bartůňková, 2010 (přepřacováno z textu do tabulky)

Druhá, tzv. restriční, fáze se rozvíjí pod vlivem déletrvajícího působení stresoru. (Bartůňková, 2010) Adaptace tehdy nastává nejen na úrovni buněčné, ale i úrovni celého organismu. V této fázi je již do reakce zapojeno mnoho zpětnovazebných mechanismů, jejichž výsledkem je obnovení původního stavu systémů, které byly v 1. fázi aktivovány. Tato situace může být, alespoň v počátku, blízká svým charakterem tzv. hypermetabolické (flow) fázi reakce organismu na kritický stav (viz kapitola 3.3.1.2), která navazuje na fýzi hypometabolickou (viz Zadák, 2008).

Poslední, třetí fáze, fáze vyčerpání je charakterizována ztrátou rezistence organismu vůči stresu, ev. pouze její nedostatečností. (Bartůňková, 2010) Příčinou může být nejen nadměrná intenzita stresu, ale též porucha adaptačních mechanismů, např. selháním nadledvin.

Obecné schéma vlivů na energetický výdej u jedince v kritickém stavu představuje Obrázek 1.

Obrázek 1 - Faktory ovlivňující energetický výdej organismu postiženého traumatem



3.3.1 Metabolické reakce organismu na kritický stav

Stres obecně navozuje u organismu řadu reakcí, které probíhají zejm. pod dikcí CNS, zvláště oblastí hypotalamu a mozkového kmene. (Máček et Radvanský, 2011) Regulace odpovědi dalších orgánů pak podléhá ose hypotalamus – hypofýza – nadledviny a ose sympatikus – nadledviny – mícha. Při těžké zátěži se plně uplatňuje i funkční spojení mezi neuroendokrinním systémem a imunitní reakcí, která vede k tvorbě protilátek a specifických imunitních elementů, jako jsou cytokiny, protizánětlivé mediátory, již zmiňované neuroendokrinní hormony a další specifické působky. Všechny tyto děje jsou spojeny s významnými energetickými nároky na jejich průběh.

Metabolická odpověď na akutní inzult a kritický stav jsou tak charakterizovány hypermetabolismem, tedy celkovým zrychlením metabolismu. Ten ale navazuje až na několik málo dní trvající hypometabolismus. Oba tyto stavy jsou popsány v následujících dvou kapitolách. O jejich definování se zasloužil již v roce 1942 Cuthberson. (Zadák, 2008)

Významnou součástí reakce na kritický stav je i mobilizace energetických rezerv využívací glukózy, aminokyselin a tuků, která má za cíl zajistit odpovídající energii nutnou pro obranné reakce a dostupnost složek nutných pro obranu organismu před patogenním inzultem, a pro reparaci poškozených tkání. Při dlouhotrvajícím hypermetabolismu však dochází k oslabení obranných mechanismů organismu a zpomalení reparace poškozených tkání.

3.3.1.1 Hypometabolická (ebb- odlivová) fáze šoku

Tato fáze šoku se rozvíjí, spolu se sníženou oběhovou a metabolickou tkáňovou aktivitou bezprostředně po inzultu, a přetrvává 24 až 48 hodin po něm. Někdy se hovoří o odlivové fázi, která v příznivém případě přechází ve fázi přílivu – hypermetabolickou (flow). (Zadák, 2008)

Zadák hypometabolickou fází šoku charakterizuje jako hypoxemické a toxické potlačení metabolické aktivity tkání v souvislosti se sníženou spotřebou kyslíku, sníženým minutovým srdečním objemem, a výraznou periferní vasokonstrikcí. (Zadák, 2008) Tělesná teplota je snižena. Dochází k výrazné aktivaci sympatiku doprovázené zvýšením glykemie, rozvojem glukózové intolerance a inzulínové rezistence tkání. V důsledku hypoxie a hromadění kyselých katabolitů dochází ke zvýšené permeabilitě kapilár často vedoucí k mohutné sekvestraci tekutin do intersticia. Následkem toho je pak zhoršení transportu kyslíku a živin do buněk a zhoršení odvodu katabolitů z intracelulárního prostoru.

Celý proces charakterizující tuto fázi reakce na šok probíhá pod obrazem energeticko – dynamického selhání buněčného metabolismu (sick cell syndrome) blíže definovaného v Tabulce 5. (Zadák, 2008)

3.3.1.2 Hypermetabolická (flow- přílivová) fáze šoku

V příznivém případě navazuje, asi po 48 hodinách od inzultu, na fázi hypometabolickou (ebb). (Zadák, 2008) Vrcholu dosahuje asi po týdnu od inzultu. Různí autoři nabízejí různé vymezení tohoto stavu. Makk et al. jej definuje jako REE > 110 % BEE stanoveného pomocí predikční rovnice (Makk et al., 1990), Frankenfield et al. jako REE > 115 % BEE (Frankenfield et al., 1997).

Je charakterizována zvýšenou cirkulací s vasokonstrikcí, zvýšenou spotřebou kyslíku, dosahující vrcholu druhý týden od inzultu, a úspěšnou aktivací obranných a reparačních mechanismů organismu. Lze ji charakterizovat jako období rezistence a reparace, kdy již je organismus schopen dlouhodobé metabolické a energetické rovnováhy nutné pro přežití stresové situace. Metabolický obrat v postižených tkáních stoupá. Výjimkou není generalizovaný edém v důsledku perzistující hypernatremie s hypervolemii. (Zadák, 2008)

V důsledku zvýšené potřeby energetických substrátů dochází k významné mobilizaci zásob organismu, zejm. k rychlé utilizaci zásob proteinů a později i tuků. (Zadák, 2008) Z toho důvodu dochází ke zvyšování ztrát dusíku. Výrazný svalový katabolismus tak často vede k rychlému úbytku svaloviny. Též hladina glykemie, v důsledku glukózové intolerance a částečně i inzulínové rezistence, stoupá. Postupně však utilizace glukózy, zejm. v postižené tkáni, stoupá. Stejně tak stoupá i obrát mastných kyselin.

Jak Zadák uvádí, typickým projevem hypermetabolické odpovědi je vytváření cyklů triacylglyceroly – mastné kyseliny a cyklu glukóza – glukoneogeneze, které jsou neproduktivní a dosahují někdy zvýšení na 250 – 450 % ve srovnání se zdravými jedinci. (Zadák, 2008) Vlivem cyklické reesterifikace mastných kyselin dochází k ukládání triacylglycerolů v játrech s jejich následnou steatózou. K obdobným procesům dochází v organismu i při nadměrném přívodu nutriční, tzv. overfeedingu, který představuje pro pacienta další nežádoucí zátěž. (Coss-Bu et al. 2001) Výjimkou může být stav rekonvalescence, kdy je vyšší přísun nutriční přínosným.

Je-li tato hypermetabolická odpověď namířena proti rozsáhlému traumatickému poškození organismu či traumatu v důsledku popálenin, hovoříme o systémové zánětlivé reakci (SIRS; *Systemic Inflammatory Response Syndrome*). (Zadák, 2008) Ta je spojena s masivní imunitní odpovědí reprezentovanou mohutnou produkcí prozánětlivých cytokinů, aktivací destiček a makrofágů za účasti interleukinů IL-6, IL-8 a TNF- α , a zejm. tvorbou proteinů aktivní fáze – C-reaktivního proteinu, sérového amyloidu A, α -1-antitrypsinu, fibrinogenu, haptoglobinu a dalších. Následné, jimi vyvolané, imunitní reakce aktivují tkáňové makrofágy k produkci IL-1, který má v reakcích akutní fáze stejné postavení jako ACTH. (Bartůňková, 2010)

Obecné reakce organismu na infekci jako stresové agens popisuje Tabulka 4.

Tabulka 4 - Reakce organismu na infekci jako stresové agens

system	reakce
CNS	tvorba mozkového faktoru S vyvolávajícího spánek
pohybový systém	rozpad svalových bílkovin a uvolnění aminokyselin
kosterní systém	demineralizace – odvápnění kosti (↑ sekrese parathormonu)
játra (PAF)	↑ tvorby kolagenu
imunitní systém	stimulace fagocytujících bb. v kostní dřeni tvorba jaterních PAF (ceruloplasmin, fibrinogen, amyloid A a C – reaktivní protein aktivace B-lymfocytů a tvorbou protilátek a aktivace T-lymfocytů s tvorbou lymfokinů (zejm. IL-2, který je signálem pro expanzi pomocných a supresorických T-buněk)
tělesná teplota	↑ nastavení hypotalamického termostatu vyvolávající horečku (vliv pyrogenů)

Zdroj: Bartůňková, 2010 (přepřacováno z textu do tabulky)

Mohutný katabolismus bílkovin umožňuje, kromě syntézy proteinů akutní fáze (PAF) a částečného hrazení energetických potřeb organismu, též vyšší nabídku aminokyselin, které mohou být využity v restrukturalizaci tkání. (Bartůňková, 2010)

Systematickou charakteristiku a porovnání s předchozí fází kritického stavu nabízí Tabulka 5.

Tabulka 5 - Reakce organismu na kritický stav

fáze	Hypometabolická (ebb)	Hypermetabolická (flow)
spotřeba O ₂	↓	↑
tělesná teplota	↓	↑
periferní rezistence	↑	↓
srdeční minutový výdej	↓	↑
odpad dusíku	-	↑
glykemie	↑	↑
glukoneogeneze	↓↑	↑
laktát	↑	-
volné mastné kyseliny	↑	↑↑
katecholaminy, glukagon, kortizol	↑↑	↑
inzulin	↓	↑
inzulinová rezistence	↑	↑
produkce cytokinů	↑	↑
REE (klidová energetický výdej)	↓	↑

Zdroj: Zadák, 2008 (převzato)

↑ – zvýšení ; ↑↑ – střední zvýšení

↓ – snížení

↑↓ – zvýšení nebo snížení

3.3.1.3 fáze uzdravení

Nevede-li totální vyčerpání či komplikace spojené s inzuletem ke smrti pacienta, následuje fáze uzdravení, nebo-li fáze rekonvalescence. Ta je poslední fází odpovědi organismu na stresový stav. Tehdy již převládá anabolismus a pozitivní dusíková bilance. (Musil, 2002)

3.3.2 Malnutrice

Malnutrice je jednou z nejčastějších situací, se kterou se lékaři setkávají. Je uváděno, že až 80 % hospitalizovaných pacientů trpí některou z forem malnutrice, a až u 2/3 z nich dochází během pobytu v nemocnici k jejímu prohloubení. (Sobotka, 2011) Zadák uvádí, že u 3 – 4 % hospitalizovaných pacientů je malnutrice natolik závažná, že pokud není léčena umělou výživou, vede ke smrti nemocného. (Zadák, 2008)

Podkladem malnutrice jako patologie je kvantitativní či kvalitativní nedostatek přijímaných živin. Jedná-li se o pokročilý stav, často zapříčiněný nedostatkem bílkovin a energie obecně, hovoříme o kachexii, ev. v případě jejího nejvyššího stupně, marasmu.

U pacientů s malnutricí či pacientů rizikových (viz Tabulka 6), vede nedostatečná nutrice ke zvýšení rizika komplikací zdravotního stavu, reoperací a prodloužení doby hospitalizace. (Zadák, 2008) A to až u 45 % nemocných. Proto je třeba malnutrici předcházet a nutriční stav pacienta průběžně hodnotit. Nelze jej však hodnotit pouze často využívanými nutričními dotazníky, ale zvolit ryze exaktní vyšetření – indirektní kalorimetrii, která je schopna určit reálnou potřebu energie organismu. Využití IC k určení míry rizika malnutrice využila i de Waele, která zaznamenala, stejně jako řada dalších autorů (Kross, 2012; Aimová, 2012), významné odchylky od hodnoty REE určené pomocí predikčních rovnic a hodnot REE získaných pomocí IC. (De Waele, 2013) Významnou nepřesnost mezi takto získanými hodnotami REE potvrdil též Neelemaat, a to zejm. u pacientů středního a vyššího věku, kteří již podvýživou trpěli. (Neelemaat, 2012)

Tabulka 6 - Malnutrice – Rizikové skupiny pacientů

riziková skupina	míra výskytu malnutrice
starší pacienti	50 %
nemocní s chronickým respiračním onemocněním	45 %
nemocní se zánětlivým střevním onemocněním	80 %
nemocní s nádorovým onemocněním	85 %
nemocní v kritickém stavu	65 % (většinou proteinová malnutrice)

Zdroj: Zadák, 2008 (převzato)

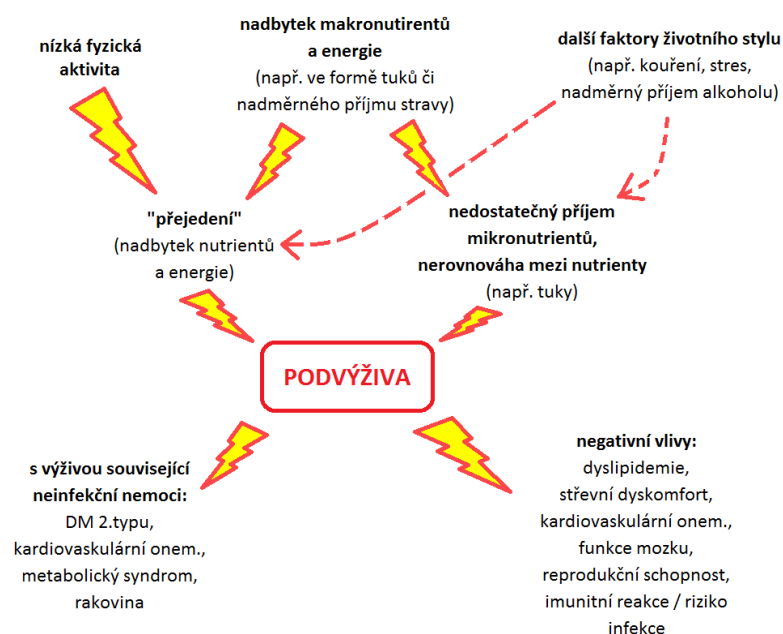
Dle etiologie vzniku malnutrice rozlišujeme malnutrici navozenou neadekvátním příjmem potravy, poruchami trávení, zvýšenými ztrátami živin, zvýšenou potřebou živin a poruchami utilizace živin. (Housová et al., 2010) Dále může být její příčinou hepatální, renální, respirační či kardiální selhání, která úzce souvisejí s poruchou utilizace nutričních substrátů.

Vlivem polytraumatu, operace, sepse, nádorového bujení, endokrinopatie či jiného chronického onemocnění často dochází ke zvýšení ztrát, resp. zvýšení potřeby příjmu, energie. (Zadák, 2008) Hladovění pak lze vnímat jako účelnou reakci organismu pro ochranu proteinových zásob organismu výměnou za tuky, které jsou tehdy metabolisovány.

Podobně i některé léky mohou snížit utilizaci živin přijatých v nutrici. Za všechny lze zmínit např. antacida, která snižují resorpci fosfátů, či sulfasalazin a nitrofurantoin, kteří ovlivňují prostřednictvím snížení resorpce či pokles sérové hladiny, metabolismus kyseliny listové v těle. (Housová et al., 2010)

O tom, jaké příčiny mohou vést k podvýživě, resp. nedostatečnému příjmu nutných makro- a mikronutrientů vypovídá Obrázek 2. Z něj je též patrné, jaké následky může malnutrice na organismus mít. Rovněž obrázek prezentuje fakt, že i obézní jedinec může, z pohledu kvality nutrientů, trpět podvýživou. V případě polytraumatických pacientů se však podvýživa rozvíjí nejen v kvalitativním rozměru, ale zejm. v dimenzi kvantitativní.

Obrázek 2 - Faktory vedoucí k rozvoji malnutrice a její následky



Zdroj: Barasi, 2007 (volně převzato)

Rozeznáváme 2 základní typy malnutrice (viz Tabulka 7). Marantický typ charakterizovaný proteino-kalorickou malnutricí, a typ kwashiorkorový, pro nějž je typický deficit proteinů. Tento typ malnutrice je v klinické praxi často navozen katabolickým onemocněním u již malnutričního pacienta, který doposud trpěl prvním ze zmiňovaných typů malnutrice.

Tabulka 7 - Základní rozdíly mezi prostým a stresovým hladověním

	Protein-energetická malnutrice	Proteinová malnutrice
energetická potřeba	hypometabolismus	hypermetabolismus
primární příčina	snížený příjem potravy	sepsse, polytrauma, nedostatečný příjem bílkovin, zvýšená spotřeba bílkovin
časový průběh	měsíce, roky	dny, týdny
klinické známky	vyhublost (< 80 % normy) vzhled: "kost a kůže"	zdánlivý vzhled dobře živého, poté edémy, padání vlasů, katabolismus
laboratorní hodnoty	poměr kreatinin:výška < 60 % normy; transferin: norma nebo < 1,5 g/l	sérový albumin < 28 g/l; transferin < 1,5 g/l; lymfocyty < 1500/mm ³
klinický průběh	adekvátní reakce na snížený energetický příjem	infekce, zhoršené hojení ran, dechové a oběhové selhání
letalita	nízká	vysoká

Zdroj: Housová et al., 2010 (převzato)

Předpokladem rozvoje malnutrice je vždy buď prosté či stresové hladovění, které je spojeno se stresem vyvolaným chorobou. O těchto dvou typech hladovění blíže pojednají dvě následující kapitoly.

Vzájemné klinické i laboratorní odlišnosti marantické a kwashiorkorové malnutrice shrnuje Tabulka 8.

Tabulka 8 - Laboratorní a klinické rozdíly mezi prostým a stresovým hladověním

	Prosté hladovění nemožnost přijímat potravu, malabsorpce, nemožnost polykání, obstrukce GIT	Stresové hladovění sepsis, MODS, trauma, popálení, trauma hlavy
albumin	N	↓
C - reaktivní protein	N	↑↑
transferin	↓	↓↓↓
prealbumin	↓	↓↓↓
tělesná hmotnost	↓	N - ↑↑
tělesný tuk	↓↓	N - ↓
tělesný protein	↓	↓↓↓
dusíková bilance	↓	↓↓↓
tělesná voda	N - ↑	↑↑
energetická potřeba	↓	↑

Zdroj: Zadák, 2008 (převzato)

N – normální

↑ – zvýšení; ↑↑ – střední zvýšení; ↑↑↑ – význačné zvýšení

↓ – snížení; ↓↓ – střední snížení; ↓↓↓ – význačné snížení

Při hladovění získává energii především mozek (70-80 % glukózy), zatímco zbytek využívají hlavně erythrocyty ve formě glukózy. Srdeční výdej se snižuje až o 45 %, tepová frekvence klesá až na 37/min a systolický tlak na 95 torrů. (Bartůňková, 2010) Projevem dlouhodobého hladovění je hubnutí, snížená výkonnost a porucha termoregulace. Významné snížení bílkovin ve svazech způsobuje vznik onkotických otoků (otoků z hladu). Nedostatek bílkovin snižuje tvorbu protilátek. Snížená imunita je pak rizikem pro vznik infekce.

3.3.2.1 *prosté hladovění*

Na tomto typu hladovění se nepodílí katabolizující onemocnění. Hlavním zdrojem energie je zde tuk. (Zadák, 2008)

Krátkodobé hladovění trvající maximálně 72 hodin je charakteristické snížením sekrece a účinku inzulínu, a naopak zvýšením sekrece glukagonu a katecholaminů, vedoucí ke glykogenolýze a lipolýze. (Zadák, 2008) Metabolická potřeba po předešlém stoupání od 3. dne již klesá.

Při protražovaném hladovění trvajícím déle než 72 hodin dochází k dalšímu snížení sekrece i účinku inzulínu. Nutné množství glukózy je získáno glukoneogenezí z glukoplastických aminokyselin, glycerolu – produktu lipolýzy v tukové tkáni, a laktátu – produktu anaerobní glykolýzy ve svalích. (Zadák, 2008) Jak již bylo řečeno, při hladovění získává energii především mozek (70-80 % glukózy), zatímco zbytek glukózy využívají hlavně erytrocyty. (Bartůňková, 2010) Tento stav hladovění se vyznačuje negativní dusíkovou bilancí, kdy denně dochází ke ztrátě až 75 g proteinů, které odpovídají asi 300 g svaloviny. (Zadák, 2008) Pozvolna klesá katabolismus proteinů až na 25 g/den. Takto zapříčiněný reálně možný nedostatek bílkovin může vést i ke snížení tvorby protilátek a zvýšení rizika rozvoje infekce. (Bartůňková, 2010) Postupně dochází ke snížení základní energetické potřeby o 10-15 %. Po 24 týdnech dochází k vytvoření stabilizovaného stavu za snížení základní energetické potřeby o 40 %. Až 20 % celkové energetické potřeby je hrazeno ketolátkami – produkty lipolýzy a následné β -oxidace lipidů. (Zadák, 2008)

Pro marantický typ malnutrice platí zachování normálního metabolismu nutričních substrátů. (Zadák, 2008) Energie je získávána zejm. z tukových zásob, čímž jsou tělesné proteiny uchráněny před katabolismem.

3.3.2.2 *stresové hladovění*

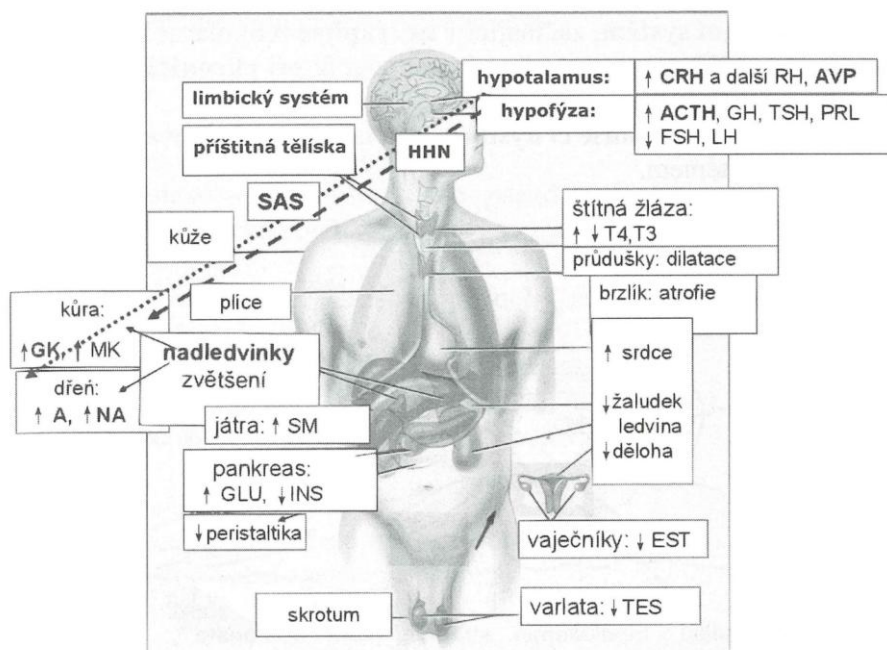
Při tomto typu hladovění dochází k současnému působení podvýživy a patologického stavu – rozvoji kwashiorkorové malnutrice. (Zadák, 2008)

Charakteristickým obrazem je rozvoj otoků v důsledku zvýšené kapilární permeability, zejm. pro proteiny a sodík, s následnou tvorbou edému. K nárůstu kapilární permeability dochází v důsledku účinku cytokinů a tromboxanů s permeabilním a vasokonstrikčním účinkem.

Hypovolemie, často vedoucí k hemodynamické nestabilitě, stimuluje sekreci aldosteronu a antidiuretického hormonu s následnou negativní generalizací edematózního stavu. Laboratorně lze prokázána hypoalbuminemií a anemií.

Vlivem traumatu či infekce dochází k vzestupu sekrece katecholaminů, glukagonu a kortizolu. Jejich vliv na organismus uvádí Tabulka 5. Schematicky pak vliv stresové situace na hormonální sekreci znázorňuje Obrázek 3.

Obrázek 3 - Základní hormonální reakce organismu při stresové situaci



Vysvětlivky: HHN – osa hypotalamus-hypofýza-nadledvina, SAS – sympatoadrenální systém, CRH – kortikotropin spouštěcí hormon, RH – spouštěcí hormony, AVP – arginin-vazopresin, ACTH – adrenokortikotropní hormon, GH – růstový hormon, TSH – tyreoidu stimulující hormon, PRL – prolaktin, FSH – folikulostimulující hormon, LH – luteinizační hormon, T3 – trijodtyronin, T4 – tyroxin, GK – glukokortikoidy, A – adrenalin, NA – noradrenalin, SM – somatomediny, GLU – glukagon, INS – inzulin, EST – estrogeny, TES – testosteron

Zdroj: Bartůňková, 2010 (převzato)

Mimo jiné se rozvíjí významná glukózová intolerance s neschopností využití glukózy v normálních množstvích. Rozvíjí se též těžký katabolismus tělesných proteinů. Negativní dusíková bilance může činit i více než 40 g/den. (Zadák, 2008) Proteiny však neslouží pouze jako zdroj energie, ale jsou též směrovány do oblastí poškozených traumatem či jsou využity jako stavební prvky pro reaktanty akutní fáze. Proteiny, resp. některé specifické aminokyseliny, z nich proteolýzou organismem získané, jsou nutné pro mediátorové funkce a proliferaci poškozených tkání. Typickým příkladem je glutamin, který má při takovémto stavu charakter potencionálně esenciálního nutrientu.

Na rozdíl od předešlého typu hladovění nelze stresové hladovění odvrátit pouze nutriční intervencí. Pro návrat do metabolicky stabilizovaného stavu je třeba eliminovat příčinu katabolismu, tedy trauma, sepsi apod. Schulman hovoří u pacientů v déletrvajícím kritickém stavu přímo o nutnosti intenzivní metabolické podpory (IMS), která představuje zejm. pravidelné a časté kontroly glykemie spolu s intenzivní léčbou inzulinem, včasnou a adekvátní nutriční terapii a farmakoterapii. (Schulman, 2012)

3.4 Klidový energetický výdej u polytraumatických pacientů

Jak již bylo v předešlých kapitolách uvedeno, vlivem traumatu, tím spíše mnohočetného, dochází ke zvýšení nároků organismu na přísun energie, resp. dochází k nárůstu výdeje energie, který je třeba hradit přísunem nutričních substrátů pro resyntézu makroergních fosfátů. (Mourek et Koudelková, 2003)

O tom, jak významný vliv mají na míru metabolismu nejen fyziologické, ale zejm. patologické stavy, vypovídají Tabulky 1, 3, 12 – 14, zohledňující např. vliv míry poškození, fyzické aktivity či tělesné teploty.

3.4.1 Definice a patofyziologie polytraumatu

Polytraumata jsou stále na prvním místě mortality ve věku od 1 do 45 let.

Polytrauma je definováno jako současně vzniklé poranění nejméně dvou tělesných systémů, z nichž postižení alespoň jednoho z nich nebo jejich kombinace ohrožují bezprostředně základní životní funkce postiženého – dýchání, krevní oběh, vědomí a činnost CNS i homeostázu vnitřního prostředí. (Drábková, 2002)

Příčinou vzniku polytraumatu je nejčastěji mechanický inzult na bázi anatomického poranění. Na celkovém obrazu se však mohou podílet i netraumatické inzulty, jako např. podchlazení, vliv drog či alkoholu. (Drábková, 2002)

V klinické praxi se však můžeme setkat např. i s vícečetnými poraněními končetin spolu s méně závažným postižením jiných regionů. Tyto úrazy však nesplňují definici polytraumatu a označujeme je jako mnohočetná poranění. (Pokorný et al., 2002) I ty však mohou, podobně jako těžká monotraumata, ohrozit pacienta na životě a stejně jako polytraumata, jsou doprovázena tzv. úrazovým šokem.

Šok se projevuje jako život ohrožující snížení průtoku krve orgány. (Pokorný et al., 2002) Nedochází tak k fyziologické výměně dýchacích plynů, nutrientů a metabolických zplodin mezi krevním řečištěm a tkáněmi s následným rozvojem poruch buněčných funkcí. Stav je pak dále umocněn působením mnoha stresových faktorů, pod jejichž vlivem dochází k rozvoji generalizované nepřiměřené zánětové odpovědi organismu na stres (SIRS) či syndromu multiorgánové dysfunkce (MODS) již je často komplikací.

Během polytraumatu se tak uplatňují všechny řídicí i dílčí regulační systémy zajišťující homeostázu. Nejvýznamnější roli tak mají zejm. nervový, endokrinní a imunitní systém. Důležitou roli sehrává i kardiovaskulární, respirační, vylučovací, ale i gastrointestinální systém.

Dle charakteru primárního inzultu, délky jeho trvání, kvality poskytnuté poúrazové péče, a do jisté míry i věku, může dojít i k smrti pacienta. (Drábková, 2002) K smrti v důsledku polytraumatu dochází až v 50 % v prvních 30 minutách od inzultu. Méně častěji dochází k úmrtí během prvních 4 dnů (30 %) či ještě později v důsledku jeho komplikací (20 %).

3.4.2 Klasifikace polytraumatu

Zhodnocení závažnosti poranění je významné nejen pro určení poúrazové morbiditity a mortality, stanovení prognózy, ale též k volbě vhodné léčebné strategie. Proto bylo definováno několik desítek různých klasifikačních systémů. Skórovací systémy využívají jednoduchých, snadno zjistitelných markerů. Ty jsou často odvozeny ze základních životních funkcí. Za všechny lze zmínit systémy ISS, RTS, TRISS (kombinace ISS + RTS) a APACHE II.

Jak vyplívá ze studie uveřejněné v časopise ČLS JEP Anesteziologie a intenzivní medicína, z prognostického pohledu je nejvhodnější využít skórovací systém TRISS (Trauma Injury Severity Score). (Chytra et al., 1999) U populace našich pacientů bylo použito systému ISS (*Injury Severity Score*) a APACHE II (*Acute Physiology and Chronic Health Evaluation II*). Klasifikace dle ISS má dobrou prognostickou hladinu u polytraumatických pacientů bez poranění hlavy, systém APACHE II byl ve studii u polytraumatických pacientů označen za prognosticky nespolehlivý.

Pro naše potřeby však hodnoty určené dle těchto skórovacích systémů neslouží k určení prognózy, ale k určení míry polytraumatu pacientů.

3.4.2.1 Skórovací systém ISS

Injury Severity Score (ISS) je zaměřeno strukturálně anatomicky a zohledňuje i závažnost postižení poraněných struktur. Organismus je v tomto systému rozdělen do 7 kompartmentů – povrch těla, hlava, krk, hrudník, břicho vč. pánevního obsahu, páteř a končetiny. Závažnost poranění každé z těchto oblastí se pak hodnotí na stupnici od 1 do 5. Výsledné skóre je pak stanoveno jako součet druhých mocnin tří nejzávažněji poraněných kompartmentů těla. Pro urychlené zhodnocení stavu pacienta je vypracován seznam všech možných postižení s přesnou klasifikací. (Pokorný, 2002)

Hodnota skóre se pohybuje v rozmezí 1 až 75, tento systém je tak nejrozsáhlejším, a proto nejpoužívanějším, v traumatologii. Obecná souvislost mezi výsledným skóre dle ISS a klasifikací traumatu či úmrtností je vyjádřena v Tabulce 9.

Tabulka 9 - Vztah mezi hodnotou ISS a mírou poranění či prognózou přežití

hodnota ISS [-]	úmrtnost – klasifikace traumatu
1	vysoká šance přežití
≥ 16	závažný úraz
> 19	těžké poranění
> 25	polytrauma / velmi těžké sdružené poranění
75	minimální šance přežití

Zdroj: Drábková, 2002 (přepřacováno z textu do tabulky)

Metha et al. ale neprokázali souvislost mezi REE a klinickým stavem pacienta. (Metha et al., 2009) Stejně tak ani Brandi et al. nepotvrdili vztah mezi ISS a REE. (Brandi et al., 1999)

3.4.2.2 Skórovací systém APACHE II

Acute Physiology and Chronic Health Evaluation II (APACHE II) je skórovací systém využívaný k určení míry závažnosti poranění s přihlédnutím nejen k fyziologickým parametrům v akutním stavu, ale i přítomným chronickým změnám.

Kromě věku, tělesné teploty, středního krevního tlaku, srdeční a dechové frekvence, jsou do kalkulace zahrnuty údaje o oxygenaci, arteriálním pH, sérové hladině kreatininu, sodíku a draslíku, hematokrytu, počtu leukocytů, často v traumatologii zmiňovaném Glasgow Coma Score, který hodnotí stav vědomí, a konečně i údaj o „těžké chronické orgánové nedostatečnosti nebo snížené obranyschopnosti“.

(http://www.medicalcriteria.com/criteria/uti_APACHE II.htm)

Hodnota skóre může nabývat velikosti 0 až 59. Souvislost mezi její velikostí a prognózou mortality vyjadřuje Tabulka 10.

Tabulka 10 - Vztah mezi hodnotou APACHE II a mírou úmrtnosti

hodnota APACHE II [-]	úmrtnost [%]
0-4	4
5-9	8
10-14	15
15-19	25
20-24	40
25-29	55
30-34	75
>34	85

Zdroj: http://www.medicalcriteria.com/criteria/uti_APACHE II.htm (převzato)

3.4.3 Vliv polytraumatu na energetický výdej

Vliv polytraumatu, který je bezpochyby stavem kritickým, na energetický výdej byl ve své podstatě popsán již v kapitole 3.3.

Polytrauma představuje pro organismus významný stres. Jeho základní fáze lze zejm. z metabolického pohledu shrnout v následující tabulce (Tabulka 11). Pojem stres byl do oblasti patofyziologie zaveden Hansem Selyem již v roce 1963, a jeho původní členění do fází je zachováno doposud. (Nečas et al., 2009)

Tabulka 11 - Metabolické změny a změny vnitřního prostředí v jednotlivých fázích stresové reakce

fáze stresu	hlavní změny
poplachová	<p>↑ katecholaminů jako rozhodujícího faktoru (↑ glukokortikoidů, STH, mineralokortikoidů) glykogenolýza, proteokatabolismus, lipolýza ↓ lymfocytů retence vody a solí</p>
rezistence	<p>↑ glukokortikoidů jako rozhodujícího faktoru glukoneogeneze, proteokatabolismus protizáněťové účinky</p>
vyčerpání	<p>vyčerpání rezerv kumulace proteokatabolických produktů</p>

Zdroj: Nečas et al., 2009 (převzato)

Spolu s těmito změnami v metabolismu a vnitřním prostředí organismu se mění i jeho nároky na příjem energie, resp. příjem nutričních substrátů. Zde se pak nabízí možnost, lépe nutnost, zvýšené nutriční péče o pacienta, v podobě enterální a nebo i parenterální výživy dle vhodnosti cesty podání. (Kohout et Kotrlíková, 2009) Jak totiž ukázaly studie u pacientů na JIP, jejich energetická potřeba se může významně lišit. (Weekes, 2007) Vztažena na kilogram tělesné hmotnosti pacienta činila 10 až 50 kcal·kg⁻¹·den⁻¹. Pro úplnost ještě uvádím hrubý předpoklad potřeby energie u normostenického pacienta, který činí 25 až 35 kcal·kg⁻¹·den⁻¹. (Holeček, 2006; Musil, 2002)

V poslední době se též rozvíjí snahy zásahu na úrovni imunomodulace prostřednictvím imunonutrice. (Hasenboehler et al., 2006)

Druhým významným důvodem nutnosti nutriční intervence je fakt, že až 80 % hospitalizovaných pacientů trpí některou z forem malnutrice (Sobotka, 2011), a až u 2/3 z nich dochází během pobytu v nemocnici k jejímu prohloubení. (Grofová, 2012) Zvláště rizikovými skupinami jsou zejm. pacienti v kritickém stavu. (Zadák, 2011) U nich se předpokládá toto riziko až v 65 %.

Významná je nutriční intervence i u pacientů před operací (Havel, 2012), mezi které polytraumatičtí pacienti, díky často nutným chirurgickým intervencím, zcela jistě patří. Prevence a terapie malnutrice vždy přináší benefit nejen pro pacienta, ale pro celý léčebně-ošetrovatelský proces. Snižuje se riziko vzniku komplikací, zkracuje se délka hospitalizace pacienta a dochází tak ke snížení nákladů na celkovou léčbu. (Braunoviny, 2012)

Na základě meta-analýzy 19 studií provedených Meilesem byl poměr REE/BEE stanoven v rozmezí 94 až 130 %. (Miles, 2006) Jeho průměrná hodnota činila 113 %. Do meta-analýzy však nebyla přijata data od pacientů s horečkou, popáleninami či úrazem hlavy, u kterých dochází k velmi vysokému nárůstu REE během doby trvání traumatu. Sám Miles uvádí navýšení energetického výdeje u pacientů v kritickém stavu o 20 až 50%.

4 Stanovení energetického výdeje

Pro stanovení energetického výdeje, resp. energetické potřeby organismu, se v klinické praxi nejčastěji využívá kalkulace dle predikčních rovnic, z nichž nejrozšířenější je rovnice Harris-Benedicta. (Zezula, 2009) Tento přístup je z finančních důvodů upřednostňován před experimentální metodou indirektní kalorimetrie, která je schopna vyjádřit energetický výdej organismu v reálném čase a za reálných podmínek s velmi vysokou přesností. Walker též uvádí jako jednu z příčin menší frekvence využití této metody nízký počet proškolených pracovníků. (Walker, 2009) A to nejen pro samotné provedení, ale zejm. pro interpretaci získaných výsledků.

Nelze-li stanovit energetický výdej pomocí indirektní kalorimetrie, lze využít, kromě již uvedené Harris-Benedictovy rovnice, která slouží pro výpočet bazálního energetického výdeje, i jiné rovnice, v nichž se nejčastěji kalkuluje s váhou, výškou, věkem a pohlavím pacienta. (Weijs, 2008) Jak ale uvádí Neelemaat, ani korekce výsledku hodnoty REE získaná pomocí výpočtu z predikční rovnice pomocí regresní analýzy nevede k získání reálné hodnoty REE, který by byl určen pomocí indirektní kalorimetrie. (Neelemaat, 2012)

4.1 Predikční rovnice pro výpočet energetického výdeje

Potřeba znalosti energetického výdeje, resp. energetické potřeby, pacientů vznikla již v 60. a 70. letech minulého století s vstupem klinické výživy do terapie. (Zadák, 2008)

Studium energetického metabolismu však započalo již mnohem dříve, koncem 18. st., kdy Francouz Antonio Lavoiser publikoval práci o zdrojích živočišného tepla. Od té doby vznikaly snahy popsat co nejlépe energetický metabolismus člověka a stanovit predikční rovnice, které by vyjadřovaly nejen energetickou potřebu organismu, ale i metabolismus jednotlivých energetických substrátů.

Vlivem mnohých snah odvodit co nejpřesnější vztah pro určení energetického výdeje jedince vznikalo mnoho různých rovnic. Protože ale v průběhu času docházelo ke změnám ve složení populace probandů, vč. rasy, je třeba brát v úvahu, při výběru predikční rovnice, i tento fakt.

Například i jedna z nejstarších predikčních rovnic, Harris-Benedictova rovnice, byla odvozena od jiné populace, než pro kterou je indikována dnes. (de Rocha, 2005)

4.1.1 Harris–Benedictova rovnice

Pro výpočet bazálního energetického výdeje je v klinické praxi nejčastěji používána rovnice Harrise a Benedicta. Tato rovnice kalkuluje pouze s tělesnou hmotností, výškou a věkem. Nezohledňuje tak nikterak aktuální stav pacienta, uvažuje pouze odlišnost pohlaví (viz Rovnice 1). Nejnovější poznatky však ukazují, že je tato rovnice pro stanovení energetického výdeje u polytraumatizovaných pacientů nevhodná. (Flancbaum et al., 1999; Walker et al., 2009; Aimová, 2011; Tichá, 2012) A to i přesto, že je v klinické praxi u ambulantních pacientů ke stanovené hodnotě připočítáno dalších 50 % její velikosti (Rušavý, 2008), aby tak odrážela reálný stav energetického výdeje.

Rovnice 1 - Výpočet bazálního energetického výdeje dle Harris-Benedictovy rovnice

Muži

$$BEE [kcal \cdot 24 \text{ hod}^{-1}] = 66,473 + 13,7516 \times W + 5,0033 \times H - 6,755 \times A$$

Ženy

$$BEE [kcal \cdot 24 \text{ hod}^{-1}] = 655,0955 + 9,5634 \times W + 1,8496 \times H - 4,6756 \times A$$

Zdroj: Hronek et Zadák, 2011 (převzato)

BEE – Basal Energy Expenditure; bazální energetický výdej stanovený dle Harris-Benedictovy rovnice; [kcal·den⁻¹]

W – Weight – hmotnost [kg]

H – High; výška; [m]

A – Age; věk; [rok]

Predikce dle této rovnice, definované již v roce 1900, odpovídá relativním hodnotám pouze u normostenických dospělých jedinců bez jakékoliv patologie. (Hronek, 2011) Naprosto nevhodnou je při stanovení energetické potřeby u pacientů obézních či s již zmiňovanou patologickou lézí, u dětí, gravidních či kojících žen. V takových situacích je reálná hodnota vždy vyšší. U populace 401 obézních jedinců toto prokázal např. Kross. (Kross, 2012) Tendenci podhodnotit energetický výdej má tato rovnice i u jedinců starších 60 let. (Rušavý, 2008)

4.1.2 Rovnice pro výpočet aktuálního energetického výdeje

Tato rovnice vycházející z rovnice předešlé, tedy rovnice Harris-Benedicta, zohledňuje 3 základní faktory, které hodnotu energetického výdeje významně ovlivňují (viz Rovnice 2). Jsou jimi: samotné poškození (viz Tabulka 12), fyzická aktivita pacienta (viz Tabulka 13) a jeho tělesná teplota (viz Tabulka 14). (Hronek et Zadák, 2011)

Rovnice 2 - Výpočet aktuálního energetického výdeje korekcí hodnoty bazálního energetického výdeje vypočítaného dle Harris-Benedictovy rovnice

$$AEE = BEE \times IF \times AF \times TF$$

Zdroj: Hronek et Zadák, 2011 (převzato)

AEE – Actual Energy Expenditure; aktuální energetický výdej; [kcal·den⁻¹]

BEE – Basal Energy Expenditure; bazální energetický výdej stanovený dle Harris-Benedictovy rovnice; [kcal·den⁻¹]

IF – Injury Factor; faktor poškození; [-]

AF – Activity Factor; faktor aktivity; [-]

TF – Temperature Factor; faktor teploty; [-]

Tabulka 12 - Faktor poškození (IF) uvažovaný při výpočtu AEE

IF – faktor poškození	
bez komplikací	1,0
pooperační stav	1,1
fraktura	1,2
sepsy	1,3
polytrauma	1,4
popáleniny 30-50%	1,7
popáleniny 50-70%	1,8
popáleniny 70-90%	2,0

Zdroj: Hronek et Zadák, 2011 (převzato)

Tabulka 13 - Faktor aktivity (AF) uvažovaný při výpočtu AEE

AF – faktor aktivity	
na respirátoru (v sedaci s analgezií)	0,85
v bezvědomí	1,00
ležící	1,1
ležící (ale mobilní)	1,2
mobilní	1,3

Zdroj: Hronek et Zadák, 2011 (převzato)

Tabulka 14 - Faktor teploty (TF) uvažovaný při výpočtu AEE

TF – faktor teploty	
38 °C	1,1
39 °C	1,2
40 °C	1,3
41 °C	1,4

Zdroj: Hronek et Zadák, 2011 (převzato)

Jak je z výše uvedených tabulek patrné, lze jasně vysledovat souvislost mezi jednotlivými indikátory a jejich vlivem na energetický výdej organismu za respektování deklarovaných závislostí.

4.1.3 Ireton–Jonesova rovnice

Pro přímý výpočet AEE lze využít Ireton-Jonesovy rovnice z roku 1997, které rovněž zohledňují stav pacienta. Výsledná hodnota je korigována vlivy, jako je pohlaví, obezita, poranění či popálení. Nereflektují ale míru, pouze přítomnost, daného jevu. Základním hlediskem pro volbu správné formy rovnice se způsobem ventilace pacienta (viz Rovnice 3).

Rovnice 3 - Výpočet aktuálního energetického výdeje dle Ireton-Jonesovy rovnice

Spontánně dýchající pacient

$$AEE [kcal \cdot 24 \text{ hod}^{-1}] = (629 - 11 \times A) + 25 \times W + 609 \times O$$

Pacient na respirátoru

$$AEE [kcal \cdot 24 \text{ hod}^{-1}] = (1784 - 11 \times A) + 5 \times W + 244 \times S + 239 \times I + 804 \times B$$

Zdroj: Hronek et Zadák, 2011 (převzato)

AEE – *Actual Energy Expenditure*; aktuální energetický výdej; [kcal·den⁻¹]

A – *Age*; věk; [rok]

W – *Weight* – hmotnost [kg]

O – *Obesity*; obezita; [není přítomna $O = 0$, je přítomna $O = 1$]

S – *Sex*; pohlaví; [žena $S = 0$, muž $S = 1$]

I – *Injury*; poranění; [není přítomna $I = 0$, je přítomna $I = 1$]

B – *Burn*; popáleniny; [není přítomna $B = 0$, je přítomna $B = 1$]

Podle šetření provedených Krossem podceňovaly všechny rovnice, kromě Ireton-Jonesových, významně reálný REE stanovený pomocí indirektní kalorimetrie. (Kross, 2012) A tak se tyto rovnice jeví jako jedny z nejvalidnějších pro predikci REE. K témuž závěru došli i Tichá (Tichá, 2012) a Frankenfield et al. (Frankenfield et al., 2007).

4.1.4 Predikční rovnice dle WHO

Světová zdravotnická organizace publikovala k určení klidového energetického výdeje 2 rovnice – WHO1 a WHO2. Zohledňuje v nich kromě pohlaví též hmotnost (Rovnice 4) a nebo i výšku pacienta (Rovnice 5).

Validita těchto rovnic byla prověřena v několika studiích. Přestože ani jedna z rovnic neposkytovala hodnoty klidového energetického výdeje blízké hodnotám stanoveným pomocí indirektní kalorimetrie. (De Oliveira, 2011) Jejich přesnost byla velmi blízká hodnotám energetického výdeje stanoveném dle Harrison-Benedictovy rovnice. (De Luis DA et al., 2006) U obou rovnic byla zaznamenána vysoká hodnota korelačního koeficientu a nízká hodnota kumulační chyby. Nutno však uvést fakt, že toto srovnání bylo prováděno u pacientů, jejichž BMI byl $\geq 25 \text{ kg/m}^2$.

Rovnice 4 - Výpočet klidového energetického výdeje dle WHO na základě hmotnosti jedince

Muži

$$WHO1 [\text{kcal}/24 \text{ hod}] = (11,6 \times W) + 879$$

Ženy

$$WHO1 [\text{kcal}/24 \text{ hod}] = (8,7 \times W) + 829$$

Zdroj: de Oliveira et al., 2011 (převzato)

W – Weight – hmotnost [kg]

Rovnice 5 - Výpočet klidového energetického výdeje dle WHO na základě hmotnosti a výšky jedince

Muži

$$WHO2 [\text{kcal}/24 \text{ hod}] = (11,3 \times W) + (16 \times H) + 901$$

Ženy

$$WHO2 [\text{kcal}/24 \text{ hod}] = (8,7 \times W) + (25 \times H) + 865$$

Zdroj: de Oliveira et al., 2011(převzato)

W – Weight – hmotnost [kg]

H – High; výška; [m]

4.2 Indirektní kalorimetrie

Kalorimetrie je metodou pro stanovení produkce či změn tepelné energie reagující soustavy, např. lidského organismu. Dle způsobu jejího provedení rozlišujeme 2 základní metody kalorimetrie – přímou a nepřímou.

Přímá kalorimetrie, probíhá v hermeticky a termicky uzavřené komoře, kam je jedinec umístěn. Na základě rozdílu teploty vody, která komoru obklopuje a vlhkosti vzduchu před vstupem a po výstupu z kalorimetru lze stanovit uvolněné teplo. (Straka et Růžička, 2008) Pro značnou sofistikovanost zařízení je metoda přímé kalorimetrie nevhodnou pro klinické využití a slouží převážně pro výzkumné účely. (Hronek et Zadák, 2011)

V klinické praxi významně rozšířenější nepřímá – indirektní kalorimetrie (IC; Indirect Calorimetry), označovaná též jako indirektní energometrie (Zadák, 2008), stanovuje energetický výdej exaktním měřením objemů dýchacích plynů – vdechovaného kyslíku a vydechovaného oxidu uhličitého. Při tom vychází z poznatku Lavoisera, který již v roce 1784 prokázal přímou úměrnost mezi spotřebou kyslíku a energetickým výdejem. (Hronek et Zadák, 2011)

O uvedení IC do klinické praxe se významně zasloužil Cuthbertson, který již počátkem 30. let minulého století zjistil, že operační stres či infekce významně zvyšují energetický výdej. Byl to právě on, kdo definoval hypometabolické a hypermetabolické období v době průběhu aktuálního traumatu. Později, počátkem 60. let, Kinney prokázal ve svých pracech vzájemný vztah mezi energetickým výdejem, poklesem hmotnosti a nemocností.

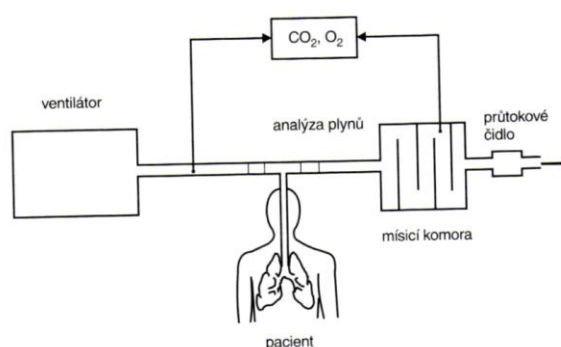
Pro určení energetického výdeje a utilizace jednotlivých nutričních substrátů pomocí IC je třeba znát, kromě množství inspirovaného O₂ a exspirovaného CO₂, i množství odpadu dusíku v moči, co-by jednoho z terminálních produktů metabolismu proteinů. (Zadák, 2008)

Hronek uvádí, že mnoho klinických studií potvrdilo vhodnost této metody pro stanovení energetického výdeje jak u zdravých jedinců za různých podmínek a během různých aktivit, tak i u kriticky nemocných pacientů. (Hronek et Zadák, 2011)

4.2.1 Kalorimetr a princip IC

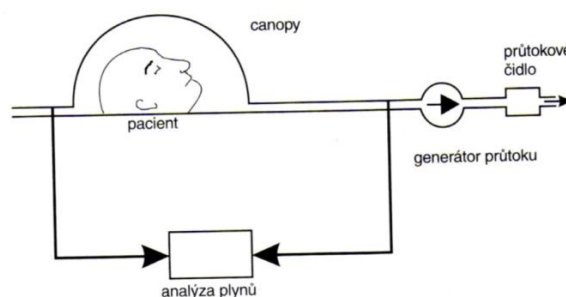
Nejnovejší kalorimetry jsou konstruovány na principu dechové analýzy (breath-by-breath), diluční technice nebo technologiích směšovacích komor. (Hronek et Zadák, 2011) Ve všech případech se jedná o otevřené systémy využívající buď dvoucestného ventilu, u pacientů připojených na ventilátor (Obrázek 4), nebo kontinuální cirkulace vzduchu, u pacientů spontánně dýchajících (Obrázek 5). Tito pacienti jsou vyšetřováni pod kanopou nebo mají na obličeji fixovanou dýchací masku.

Obrázek 4 - Provedení vyšetření IC u pacienta napojeného na ventilátor



Zdroj: Zadák, 2008 (převzato)

Obrázek 5 - Provedení vyšetření IC u spontánně dýchajícího pacienta



Zdroj: Zadák, 2008 (převzato)

Mezi základní součásti kalorimetru patří analyzátor vydechovaného CO₂, analyzátor spotřeby O₂, zařízení schopné s dostatečnou přesností měřit objem vdechovaného a vydechovaného vzduchu a procesor, který kontinuálně zpracovává měřená data. (Zadák, 2008) Nedílnou součástí kalorimetru je i vzduchové čerpadlo zajišťující průtok definovaného množství vzduchu. (Hronek et Zadák, 2011) Ten pak pacient vdechuje, spotřebovává z něj kyslík (VO₂), a vydechuje do něj oxid uhličitý (VCO₂). Podílem VO₂ a VCO₂ získáme respirační koeficient RQ (Rovnice 6), jehož hodnotu je ale třeba, v důsledku neúplného metabolismu proteinů,

korigovat odpadem dusíku v moči UN (Rovnice 7), co by jednoho z terminálních produktů katabolismu proteinů. Získáme tak nebilkovinný RQ – npRQ (Rovnice 8). Výsledná rovnice pak odráží skutečnost, že 1g dusíku v moči představuje oxidaci 6,25g bílkovin za spotřeby 5,92 l O₂ a uvolnění 4,75 l CO₂.

Rovnice 6 - Rovnice pro výpočet respiračního koeficientu (RQ)

$$RQ = \frac{V_{CO_2}}{V_{O_2}}$$

Zdroj: Hronek et Zadák, 2011 (převzato)

RQ – Respiratory Quotient; respirační koeficient; [-]
VO₂ – měrný objem (spotřeba) kyslíku; [l·den⁻¹]
VCO₂ – měrný objem (produkce) oxidu uhličitého; [l·den⁻¹]

Rovnice 7 - Rovnice pro výpočet odpadu dusíku v moči (UN)

$$UN = (U \times V \times 0,0336) + (0,03 \times W)$$

Zdroj: Eknoya et Levin, 2002 (převzato)

UN – odpad dusíku urey (stanoveno z moči); [g·den⁻¹]
U – odpad urey v moči za 24 hodin; [mmol·l⁻¹]
V – objem moči za 24 hodin; [l]
0,0336 – faktor přepočtu mol urey na g urey
0,03 – faktor korigující hodnotu celkového dusíku a jeho ztráty extrarenální cestou
W – Weight – hmotnost [kg]

Korekce faktorem 0,03 x W přičítá minimální ztráty dusíku extrarenální cestou (např. stolicí), a tím zpřesňuje reálnou hodnotu celkového odpadu dusíku. Některé klinické studie použily méně přesné přičtení + 4 g k výsledné hodnotě stanoveného odpadu dusíku v moči. (Wilhelm, 2011)

Rovnice 8 - Rovnice pro výpočet neproteinového respiračního koeficientu (npRQ)

$$npRQ = \frac{V_{CO_2} \times 4,8 \times UN}{V_{O_2} \times 5,9 \times UN}$$

Zdroj: Hronek et Zadák, 2011 (převzato)

RQ – Respiratory Quotient; respirační koeficient; [-]

npRQ – non-protein Respiratory Quotient; nebílkovinný respirační koeficient; [-]

VO₂ – měrný objem (spotřeba) kyslíku; [l·den⁻¹]

VCO₂ – měrný objem (produkce) oxidu uhličitého; [l·den⁻¹]

UN – odpad dusíku urey (stanoveno z moči); [g·den⁻¹]

Nepřímá kalorimetrie je tedy založena na měření spotřeby kyslíku, který je nutný pro oxidaci jednotlivých nutričních substrátů, a současně i množství vydechovaného oxidu uhličitého, co-by produktu tohoto děje.

Zadák uvádí jako základ metody IC předpoklady shrnuté v Tabulce 15.

Tabulka 15 - Základní předpoklady metody stanovení REE a utilizace nutričních substrátů pomocí IC

předpoklad
spotřeba O ₂ v buňkách a výdej CO ₂ buňkami závisí kvantitativně na utilizaci nutričních substrátů
všechn spotřebovaný O ₂ a vylučovaný CO ₂ přecházejí výhradně plicemi do dechu
plyny se chovají jako „ideální plyny“
O ₂ a CO ₂ se v organismu nehromadí

Zdroj: Zadák, 2008 (přepracováno z textu do tabulky)

4.2.2 Podmínky pro vyšetření pomocí IC

Základní podmínky vyšetření pacienta pomocí IC jsou shrnuty v Tabulce 16. Takto provedené měření pak poskytuje hodnoty, jejichž velikost se blíží hodnotě BEE nejméně 3 hodiny po posledním jídle a nejméně 1 hodinu klidu na lůžku při neutrální okolní teplotě. (Hronek et Zadák, 2011)

Tabulka 16 - Základní podmínky vyšetření pacienta pomocí IC

podmínka
nalačno (12 hodin před vyšetřením nejíst)
duševní a fyzický klid a uvolnění (klid 30 min před měřením)
v poloze vleže (pohodlně)
v bdělém stavu
okolní teplota 20-25 °C
vyšetřovaná osoba nesmí být stresována

Zdroj: Hronek et Zadák, 2011 (přepřacováno z textu do tabulky)

Pro získání korektních dat v rámci vyšetření IC je nutné měření VO_2 a VCO_2 v tzv. ustáleném stavu (steady-state). Tehdy dochází k výměně dýchacích plynů v plicích v obdobné míře jako na buněčné úrovni. (Hronek et Zadák, 2011) Perfúze a ventilace jsou nyní relativně stabilní.

Ideální a ještě akceptovatelné podmínky pro získání reprezentativních dat při vyšetření IC uvádí Tabulka 17. Jsou též součástí softwaru, který po jejich vyhodnocení oznamuje steady-state na monitoru kalorimetru.

Tabulka 17 - Ideální a akceptovatelné podmínky pro měření IC

	ideální změny v %	ještě akceptovatelné změny v %
minutová ventilace	< 5	< 10
srdeční výdej	< 5	< 10
FiO₂	< 0,5	< 2
spotřeba O₂	< 2	< 5
produkce CO₂	< 2	< 5

Zdroj: Hronek 2011 (volně převzato)

FiO₂ – Fraction of Inspired oxygen O₂; inspirační koncentrace kyslíku O₂

Pro úplnost ještě uvádím v Tabulce 18 standardní hodnoty VO_2 , VCO_2 a RQ.

Tabulka 18 - Obvyklé hodnoty VO_2 , VCO_2 a RQ při měření IC

marker	výměna dýchacích plynů	spotřeba dýchacího plynu
VO_2	250 ml · min ⁻¹	3,6 ml · min ⁻¹ · kg ⁻¹
VCO_2	200 ml · min ⁻¹	2,9 ml · min ⁻¹ · kg ⁻¹
RQ	0,65 – 1,25	

Zdroj: Hronek 2011 (volně převzato)

VO_2 – měrný objem (spotřeba) kyslíku; [l·den⁻¹]

VCO_2 – měrný objem (produkce) oxidu uhličitého; [l·den⁻¹]

RQ – Respiratory Quotient; respirační koeficient; [-]

Z praktického pohledu mají na přesnost měření pomocí IC vliv též inspirační koncentrace kyslíku (FiO_2) a netěsnost systému. Z tohoto pohledu vzniklé komplikace mají zásadní vliv na stanovení VO_2 a VCO_2 , a tedy na stanovení nejen energetického výdeje, ale i míry utilizace jednotlivých nutričních substrátů. O pravdivosti tohoto tvrzení vypovídá i průzkum provedený Cecchinimi, který prokázal souvislost mezi nárůstem FiO_2 a mírným nárůstem REE, a zároveň mírným poklesem hodnoty RQ. (Cecchini, 2011)

Z klinického pohledu může představovat relativní komplikaci pro stanovení pomocí IC pacient s chirurgickým výkonem v oblasti GITu či respiračního systému. (Hronek et Zádák, 2011) Abdominální drenáž a sběrné sáčky umožňují metabolické pochody s produkcí oxidu uhličitého. Ke zkreslení hodnot může dojít i u pacientů s bronchopulmonálními fistulemi, kanylací hrudníku, při prudkých změnách v respiraci či tepové frekvenci. Headley uvádí, že pro správný způsob provedení kalorimetrie, dosažení steady-state a získání korektních dat je nutná dechová frekvence nižší než 35 dechů za minutu. (Headley, 2003)

4.2.3 REE a utilizace jednotlivých nutričních substrátů

IC je nejpřesnější a nejčastěji využívanou metodou pro stanovení REE u konkrétního pacienta v reálném čase. (Cooney, 2012)

Kromě klidového energetického výdeje lze touto metodou stanovit i utilizaci jednotlivých nutričních substrátů, a získat tak další, pro klinickou praxi velmi významné, informace o energetickém metabolismu pacienta.

Závažným úskalím této metody však může být situace, kdy v organismu probíhají pouze nekompletní metabolické pochody typu ketogeneze z volných mastných kyselin, glukoneogeneze z bílkovin nebo tvorba laktátu z glukózy. (Rušavý, 2008) Tehdy metoda IC pozbývá přesnosti.

Jako příklad lze uvést situaci, kdy dochází k syntéze tuku ve formě triacylglycerolů de novo z glukózy. (Rušavý, 2008) Tehdy se jedná o energeticky náročnější proces, který přesahuje 25 % energie, která bude následně uvolněna uvolněním tohoto substrátu. Při klasickém ukládání přijatého tuku tato energie činí pouze 2 % z celkové energie následně uvolněné.

4.2.3.1 Stanovení REE

Energetický výdej je určen na základě stanovených množství dýchacích plynů, VO_2 a VCO_2 , a odpadu dusíku v moči (UN), softwarem, jež je součástí kalorimetru. (Hronek et Zadák, 2011) Kalkulace vychází z Weirovy rovnice (viz Rovnice 9) a rovnic z ní odvozených.

Jejich zjednodušené znění uveřejnil Weir již v roce 1949. (Zadák, 2008) Později však prokázal, že chybovost výsledné hodnoty energetického výdeje je při neuvedení odpadu dusíku v moči pouze 1 %. Zadák však upozorňuje, že je ale u pacientů v kritickém stavu podíl oxidace proteinů natolik vysoký oproti stabilizovanému stavu, že se nedoporučuje zanedbat korekci na oxidaci proteinů, a tedy kalkulovat i s hodnotou odpadu dusíku v moči (UN).

Znění základní Weirovy rovnice uvádí Rovnice 9.

Rovnice 9 - Základní Weirova rovnice pro výpočet klidového energetického výdeje

$$EE [kcal/den] = V_{O_2} \times 3,94 + V_{CO_2} \times 1,11 - UN \times 2,17$$

Zdroj: Zadák, 2008 (převzato)

EE – Energy Expenditure; energetický výdej; [$kcal \cdot den^{-1}$]

VO_2 – měrný objem (spotřeba) kyslíku; [$l \cdot den^{-1}$]

VCO_2 – měrný objem (produkce) oxidu uhličitého; [$l \cdot den^{-1}$]

UN – odpad dusíku urey (stanoveno z moči); [$g \cdot den^{-1}$]

Volba korektní verze rovnice (Rovnice 9) je dána hodnotou npRQ a skutečností, zda známe (Rovnice 10) či neznáme (Rovnice 11) hodnotu UN. V klinické praxi je díky dostupnosti všech údajů využívána první sada rovnic (Rovnice 10).

Rovnice 10 - Rovnice pro výpočet REE, známe-li hodnotu odpadního dusíku v moči

Je-li npRQ < 0.706

$$REE[kcal/24\ hod] = \{(4360 \times V_{O_2}) + (450 \times V_{CO_2})\} \times 1,44 - 1,57 \times UN$$

Je-li npRQ < 1.0

$$REE[kcal/24\ hod] = \{(3940 \times V_{O_2}) + (1106 \times V_{CO_2})\} \times 1,44 - 2,17 \times UN$$

Je-li npRQ > 1.0

$$REE[kcal/24\ hod] = \{(3818 \times V_{O_2}) + (1223 \times V_{CO_2})\} \times 1,44 - 1,994 \times UN$$

Zdroj: Hronek et Zadák, 2011 (převzato)

npRQ – non-protein Respiratory Quotient; nebílkovinný respirační koeficient; [-]

REE – Resting Energy Expenditure; klidový energetický výdej; [kcal·den⁻¹]

VO₂ – měrný objem (spotřeba) kyslíku; [l·den⁻¹]

VCO₂ – měrný objem (produkce) oxidu uhličitého; [l·den⁻¹]

UN – odpad dusíku urey (stanoveno z moči); [g·den⁻¹]

Rovnice 11 - Rovnice pro výpočet REE, neznáme-li hodnotu odpadního dusíku v moči

Je-li npRQ < 0.706

$$REE[kcal/24\ hod] = \{(4200 \times V_{O_2}) + (494 \times V_{CO_2})\} \times 1,44$$

Je-li npRQ < 1.0

$$REE[kcal/24\ hod] = \{(3940 \times V_{O_2}) + (1106 \times V_{CO_2})\} \times 1,44$$

Je-li npRQ > 1.0

$$REE[kcal/24\ hod] = \{(3677 \times V_{O_2}) + (1342 \times V_{CO_2})\} \times 1,44$$

Zdroj: Hronek et Zadák, 2011 (převzato)

npRQ – non-protein Respiratory Quotient; nebílkovinný respirační koeficient; [-]

REE – Resting Energy Expenditure; klidový energetický výdej; [kcal·den⁻¹]

VO₂ – měrný objem (spotřeba) kyslíku; [l·den⁻¹]

VCO₂ – měrný objem (produkce) oxidu uhličitého; [l·den⁻¹]

4.2.3.2 Vyjádření REE

Klidový energetický výdej (REE) lze vyjádřit několika způsoby (Tabulka 17). Základním vyjádřením je vztahení energetického výdeje na časové údobí, v klinické praxi na 24 hodin, 1 den. Tuto hodnotu pak lze vztáhnout na určitou charakteristiku vyšetřovaného jedince. Nejčastěji na kilogram tělesné hmotnosti, na kilogram tukuprosté hmoty (*Fat Free Mass*; FFM), či lépe, po odečtu převodnění (*Overhydration*; OH), na kilogram tkáně prosté na nadbytečný tuk a OH (*Lean Tissue Mass*; LTM). Často uváděným je i vyjádření REE vztaheného na metry čtvereční povrchu těla (*Body Surface Area*; BAS). REE lze vyjádřit též

jako % odchylku od BEE. Některé z těchto charakteristik mohou být dále korigovány množstvím OH.

Tabulka 19 - Možnosti vyjádření REE

základní vyjádření REE	odvozené vyjádření REE	
	charakteristika vyšetřovaného jedince	vyjádření REE vztaženého na danou charakteristiku pacienta
REE [kcal·den ⁻¹]	tělesná hmotnost [kg]	REE/kg [kcal·kg ⁻¹ ·den ⁻¹]
	tělesná hmotnost po odečtení OH [kg]	REE/kg-OH [kcal·kg ⁻¹ ·den ⁻¹]
	FFM [kg]	REE/kg FFM [kcal·kg ⁻¹ ·den ⁻¹]
	LTM (FFM po odečtu OH) [kg]	REE/kg LTM [kcal·kg ⁻¹ ·den ⁻¹]
	BSA [m ²]	REE/BSA [kcal·m ⁻² ·den ⁻¹]
	BSA po odečtu OH [m ²]	REE/BSA-OH [kcal·m ⁻² ·den ⁻¹]
	BEE [kcal·den ⁻¹]	IC/HB [%]
	BEE po odečtu OH [kcal·den ⁻¹]	IC/HB-OH [%]

REE – Resting Energy Expenditure; klidový energetický výdej; [kcal·den⁻¹]

OH – Overhydration; převodnění představující nefyziologický nadbytek tekutiny v těle; [kg]

FFM – Fat Free Mass; tukuprostá tkáň; [kg]

LTM – Lean Tissue Mass; tělesná hmotnost bez nadbytečné tukové tkáně a nadbytečné extracelulární tekutiny (LTM = FFM – OH); [kg]

BSA – Body Surface Area; povrch těla; [m²]

BEE – Basal Energy Expenditure; bazální energetický výdej stanovený dle Harris-Benedictovy rovnice; [kcal·den⁻¹]

IC/HB – % vyjádření rozdílu hodnot klidového energetického výdeje stanovené pomocí indirektní kalorimetrie a hodnoty bazálního energetického výdeje stanoveného pomocí Harris-Benedictovy rovnice; [%]

IC/HB-OH – % vyjádření rozdílu hodnot klidového energetického výdeje stanovené pomocí indirektní kalorimetrie a hodnoty bazálního energetického výdeje stanoveného pomocí Harris-Benedictovy rovnice, kde byla od celkové hmotnosti pacienta odečtena OH; [%]

Jak Holeček uvádí, velikost klidového energetického výdeje vztaženého na kg tělesné hmotnosti činí u zdravého dospělého jedince 10 až 50 kcal·kg⁻¹·den⁻¹. (Holeček, 2006) U polytraumatických jedinců může dosáhnout hodnoty REE/kg až 60 kcal·kg⁻¹·den⁻¹. (Uehara et al., 1999)

Energetický výdej vztažený na BSA činí u mužů asi 957 kcal·m⁻²·den⁻¹ a u žen 859 kcal·m⁻²·den⁻¹. (Holeček, 2006)

Hodnota REE/kg LTM se odvíjí od míry zastoupení LTM, a to i s rozdílem mezi oběma pohlavími. (Sevendse et al., 1993)

4.2.3.3 Stanovení utilizace jednotlivých nutričních substrátů

Míra utilizace jednotlivých nutričních substrátů je určena, stejně jako energetický výdej, na základě stanovených množství dýchacích plynů, VO₂ a VCO₂, a odpadu dusíku v moči, softwarem, jnež je součástí kalorimetru. (Hronek et Zadák, 2011)

Weirova rovnice a rovnice od ní odvozené vycházejí ze 2 faktů. Oxidací živin v organismu za spotřeby kyslíku je uvolňováno, kromě oxidu uhličitého a u proteinů i močoviny, spalné teplo, které je specifické pro každý z nutričních substrátů (Tabulka 20). Druhou skutečností, nutnou pro určení míry utilizace jednotlivých substrátů, je stechiometrie chemických reakcí (Tabulka 21) probíhajících při utilizaci, spalování, substrátů. I ze stechiometrie těchto oxidačně-redukčních rovnic lze odvodit RQ pro jednotlivé substráty (Tabulka 20). Sacharidy a lipidy jsou oxidovány na oxid uhličitý a vodu, proteiny – aminokyseliny až na močovinu, která sice ještě energii obsahuje, ale tělo ji nedovede využít z důvodu vyloučení močoviny z těla ven.

Tabulka 20 - Spalné teplo, RQ a množství spotřebovaného O₂ a vytvořeného CO₂ při utilizaci jednotlivých nutričních substrátů

substrát	spalné teplo v těle [kcal·g ⁻¹]	O ₂ [l·g ⁻¹]	CO ₂ [l·g ⁻¹]	RQ [-]
sacharid (glukóza)	4	0,747	0,747	1
lipid	9	2,029	1,43	0,7
protein	4,1	0,966	0,782	0,82

Zdroj: Zadák, 2008 (převzato a upraveno)

RQ – Respiratory Quotient; respirační koeficient; [-]

VO₂ – měrný objem (spotřeba) kyslíku; [l·den⁻¹]

VCO₂ – měrný objem (produkce) oxidu uhličitého; [l·den⁻¹]

Tabulka 21 - Stechiometrie chemických reakcí oxidace jednotlivých nutričních substrátů

substrát	stechiometrická rovnice oxidace substrátu
sacharid (glukóza)	$C_6H_{12}O_6 + 6 O_2 \rightarrow 6 CO_2 + 6 H_2O$
lipid	$2 C_{57}H_{110}O_6 + 163 O_2 \rightarrow 114 CO_2 + 110 H_2O$
protein	$\left(\begin{array}{l} \text{oxidace } 6,25 \text{ g bílkovin} \rightarrow 1 \text{ g dusíku v moči} \\ \text{oxidace bílkovin } [g/24hod] = 6,25 \times UN \end{array} \right)$

Zdroj: Hronek et Zadák, 2011 (přepracováno z textu do tabulky)

Na základě znalosti spotřeby kyslíku a oxidací vyprodukovaného oxidu uhličitého, ev. odpadu dusíku v moči, pro oxidaci 1 g sacharidu, lipidu či proteinu, lze odvodit vztahy pro měrný VO₂ a VCO₂ (Rovnice 12).

Rovnice 12 - Rovnice pro měrný objem kyslíku nutný pro utilizaci 1g každého z nutričních substrátů a měrný objem oxidu uhličitého vytvořeného při utilizaci 1g každého z nutričních substrátů

$$VO_2 = 0,747 \times CHO + 2,029 \times FAT + 6,25 \times 0,966 \times UN$$

$$VCO_2 = 0,747 \times CHO + 1,43 \times FAT + 6,25 \times 0,782 \times UN$$

Zdroj: Hronek et Zadák, 2011 (převzato)

VO₂ – měrný objem (spotřeba) kyslíku; [l·den⁻¹]

VCO₂ – měrný objem (produkce) oxidu uhličitého; [l·den⁻¹]

CHO – zoxidované sacharidy; [g]

FAT – zoxidované lipidy; [g]

UN – odpad dusíku urey (stanoveno z moči); [g·den⁻¹]

Jak již bylo výše uvedeno, i rovnice pro výpočet utilizace nutričních substrátů jsou odvozeny od Weirovy rovnice. I zde rozhoduje při volbě korektní verze rovnice hodnota npRQ, která úzce koreluje s mírou preference každého z nutričních substrátů (Tabulka 22). Podle Forretta se pohybuje npRQ u kriticky nemocných pacientů v rozmezí 0,65 – 1,25. (Forrette, 2005) Pro výpočet npRQ je však nutné znát odpad močoviny v moči (UN).

Tabulka 22 - Preference nutričních substrátů organismem dle hodnoty npRQ

npRQ	metabolismus nutričních substrátů
< 0,65	mimo steady-state (hypoventilace / ketóza)
0,71	metabolismus lipidů
0,80	metabolismus proteinů
0,85	smíšená utilizace substrátů
1,00	metabolismus sacharidů
> 1,25	mimo steady-state (hyperventilace / hyperkapnie)

Zdroj: Hronek et Zadák, 2011 (převzato)

Podle způsobu vyjádření utilizace nutričních substrátů, který bude blíže popsán níže, jsou voleny 2 typy rovnic pro každý ze substrátů, tedy sacharidů (Rovnice 13 a 14), lipidů (Rovnice 15 a 16) a proteinů (viz Rovnice 17 a 18). A to podle toho, zda chceme vyjádřit míru utilizace ve formě hmotnosti utilizovaného substrátu (Rovnice 13, 15 a 17), nebo jako energie dodanou organismu jeho oxidací (Rovnice 14, 16 a 18).

Rovnice 13 - Výpočet utilizace sacharidů [g·den⁻¹]

Je-li npRQ < 0.706

$$CHO = -3,590 \times V_{CO_2} \times 1440 + 2,540 \times V_{O_2} \times 1440 + 2,050 \times UN$$

Je-li npRQ < 1.0

$$CHO = 4,115 \times V_{CO_2} \times 1440 - 2,909 \times V_{O_2} \times 1440 - 2,539 \times UN$$

Je-li npRQ > 1.0

$$CHO = -0,187 \times V_{CO_2} \times 1440 + 1,393 \times V_{O_2} \times 1440 - 6,892 \times UN$$

Zdroj: Hronek et Zadák, 2011 (převzato)

npRQ – non-protein Respiratory Quotient; nebílkovinný respirační koeficient; [-]

CHO – utilizace sacharidů; [g·den⁻¹]

VO₂ – měrný objem (spotřeba) kyslíku; [l·den⁻¹]

VCO₂ – měrný objem (produkce) oxidu uhličitého; [l·den⁻¹]

UN – odpad dusíku urey (stanoveno z moči); [g·den⁻¹]

Rovnice 14 - Výpočet utilizace sacharidů [kcal·den⁻¹]

Je-li npRQ < 0.706

$$CHO_K = CHO \times 1,72$$

Je-li npRQ < 1.0

$$CHO_K = CHO \times 4,18$$

Je-li npRQ > 1.0

$$CHO_K = CHO \times 4,18$$

Zdroj: Hronek et Zadák, 2011 (převzato)

npRQ – non-protein Respiratory Quotient; nebílkovinný respirační koeficient; [-]

CHO_K – utilizace sacharidů; [kcal·den⁻¹]

CHO – utilizace sacharidů; [g·den⁻¹]

Rovnice 15 - Výpočet utilizace lipidů [g·den⁻¹]

Je-li npRQ < 0.706

$$FAT = 0,70 \times V_{CO_2} \times 1440 - 3,39 \times UN$$

Je-li npRQ < 1.0

$$FAT = 1,689 \times V_{O_2} \times 1440 - 1,689 \times V_{CO_2} \times 1440 - 1,943 \times UN$$

Je-li npRQ > 1.0

$$FAT = 1,689 \times V_{O_2} \times 1440 - 1,689 \times V_{CO_2} \times 1440 - 1,943 \times UN$$

Zdroj: Hronek et Zadák, 2011 (převzato)

npRQ – non-protein Respiratory Quotient; nebílkovinný respirační koeficient; [-]

FAT – utilizace tuků; [g·den⁻¹]

VO₂ – měrný objem (spotřeba) kyslíku; [l·den⁻¹]

VCO₂ – měrný objem (produkce) oxidu uhličitého; [l·den⁻¹]

UN – odpad dusíku urey (stanoveno z moči); [g·den⁻¹]

Rovnice 16 - Výpočet utilizace lipidů [kcal·den⁻¹]

Je-li npRQ < 0.706

$$FAT_K = FAT \times 9,46$$

Je-li npRQ < 1.0

$$FAT_K = FAT \times 9,46$$

Je-li npRQ > 1.0

$$FAT_K = FAT \times 1,089$$

Zdroj: Hronek et Zadák, 2011 (převzato)

npRQ – non-protein Respiratory Quotient; nebílkovinný respirační koeficient; [-]

FAT_K – utilizace tuků; [kcal·den⁻¹]

FAT – utilizace tuků; [g·den⁻¹]

Rovnice 17 - Výpočet utilizace proteinů [g·den⁻¹]

0.65 < npRQ < 1.25

$$PRO = 6,25 \times UN$$

Zdroj: Hronek et Zadák, 2011 (převzato)

npRQ – non-protein Respiratory Quotient; nebílkovinný respirační koeficient; [-]

PRO – utilizace proteinů; [g·den⁻¹]

UN – odpad dusíku urey (stanoveno z moči); [g·den⁻¹]

Rovnice 18 - Výpočet utilizace proteinů [kcal·den⁻¹]

$$PRO_K = 4,32 \times PRO$$

Zdroj: Hronek et Zadák, 2011 (převzato)

PRO_K – utilizace proteinů; [kcal·den⁻¹]

PRO – utilizace proteinů; [g·den⁻¹]

Součet uvolněné energie, spalného tepla, vzniklého oxidací všech nutričních substrátů je shodný s hodnotou klidového energetického výdeje (REE) (Rovnice 19).

Rovnice 19 - Výpočet celkového množství energie získaného oxidací nutričních substrátů

$$TOT_KCAL = CHO_K + FAT_K + PRO_K$$

Zdroj: Hronek et Zadák, 2011 (převzato)

TOT_KCAL – utilizace sacharidů; celkový energetický výdej získaný vycházející z utilizace nutričních; [kcal·den⁻¹]

CHO_K – utilizace sacharidů; [kcal·den⁻¹]

FAT_K – utilizace tuků; [kcal·den⁻¹]

PRO_K – utilizace proteinů; [kcal·den⁻¹]

Vzájemný poměr utilizovaných nutričních substrátů je u každého jedince individuální. Jak již bylo výše uvedeno, fyziologickou normou je vzájemný poměr 50 % sacharidů, 35 % lipidů a 15 % proteinů. Je však třeba brát na zřetel, že u nemocných v těžkém katabolismu a kritickém stavu je utilizace energetických substrátů často omezena, a to v důsledku nedostatečné perfúze a oxygenace tkání a orgánů. (Zadák, 2008)

4.2.3.4 Vyjádření utilizace nutričních substrátů

Míru utilizace jednotlivých nutričních substrátů, tedy sacharidů, lipidů a proteinů, lze vyjádřit 3 způsoby (Tabulka 23). Nejjednodušším z nich je vyjádření množství metabolisovaného substrátu v gramech na jednotku času, tedy 1 den, stejně jako u REE. Známe-li hmotnost substrátu, pak lze určit její energetickou hodnotu, spalné teplo (viz Tabulka 21) v kcal, opět vztahené na jednotku času, 24 hodin, 1 den. Vzájemný poměr utilizovaných substrátů je vyjadřován v procentech na základě znalosti utilizace jednoho každého z nich, tedy sacharidů, lipidů a proteinů.

Tabulka 23 - Možnosti vyjádření utilizace nutričních substrátů

základní vyjádření utilizace substrátu	odvozené vyjádření utilizace substrátu	
utilizace substrátu [g·den ⁻¹]	energetická hodnota – spalné teplo substrátu [kcal]	utilizace substrátu [kcal·den ⁻¹]
	míra utilizace substrátu [%]	utilizace substrátu [%]

4.2.4 Další využití IC

Kromě stanovení REE, RQ a utilizace jednotlivých nutričních substrátů lze metodiky indirektní kalorimetrie využít též při managementu nutriční péče u kriticky nemocných pacientů. (Hronek et Zadák, 2011) Bylo totiž prokázáno, že u metabolicky nestabilních pacientů a u nemocných v těžkém stavu představuje nadměrný přívod výživy, tzv. overfeeding, značné riziko. (Rušavý, 2008) Tehdy totiž dochází ke kumulaci oxidu uhličitého v organismu. To může vést k vážným následkům u pacientů s chronickým plicním onemocněním či pacientů, kteří byli před krátkým časem odpojeni od ventilátoru. U těchto pacientů dochází, např. při zvýšeném příjmu lipidů, k nadprodukci CO₂ vzniklého díky navozenému hypermetabolismu, a stejně tak i k nadprodukci vody spojené s tvorbou edémů. Množství vody vzniklé oxidací nutričních substrátů vyjadřuje Tabulka 24. Množství metabolicky vzniklé vody však nepředstavuje zásadní riziko vzniku edému.

Tabulka 24 - Množství vody uvolněné oxidací substrátů

substrát [1g]	množství vody [ml]
sacharidy	0,6
lipidy	1,07
protein	0,4

Zdroj: Wilhelm 2011 (volně převzato)

Nepřiměřená, nadměrná výživa může vést k febriliím septického typu nebo subfebriliím stimulujícím následně sympatikus. (Rušavý, 2008) Může dojít k snížení imunitní odpovědi, a zcela jistě ke zvýšení energetického výdeje organismu.

Odlišná situace nastává u pacientů v rekonvalescenci, kdy mírné zvýšení přísunu energie představuje pozitivní efekt pro organismus.

Data získaná vyšetřením pacienta IC lze využít i pro stanovení podílu ventilace na metabolismu či jednoduše stanovení VO_2 při monitoringu dechové práce a adekvátního příjmu kyslíku.

5 Stanovení složení těla pomocí bioimpedanční analýzy (BIA)

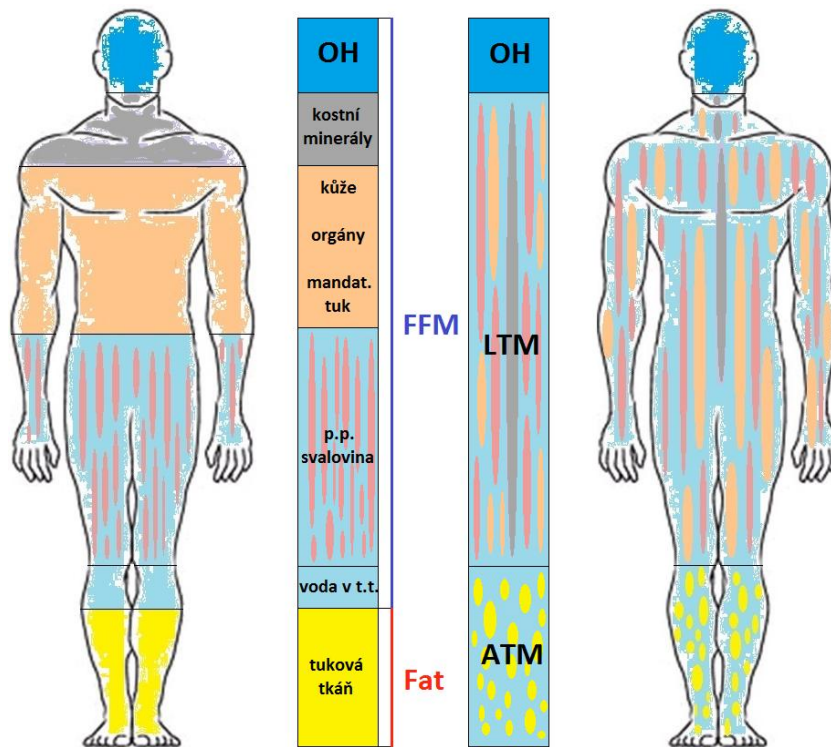
Jedná se o neinvazivní metodu sloužící pro stanovení složení těla na základě bioelektrických charakteristik jednotlivých typů tkání a intersticia, a to za předpokladu jednotnosti v rozložení celkové tělesné vody a aktivní tělesné hmoty.

5.1 Princip bioimpedanční analýzy BIA

Během vyšetření je stanovována rezistence jednotlivých tkání a kompartmentů lidského těla na průchod střídavého proudu o nízkých frekvencích, intenzitě a reaktanci, přičemž je využíváno rozdílné permeability buněčné a nebuněčné hmoty, pro elektrický proud o rozdílných frekvencích. Pomocí matematických modulů, kde vektorový součet rezistence a reaktance představuje fázový úhel, je pak tělo vyšetřovaného rozděleno do jednotlivých kompartmentů. V klinické praxi nejč. na tukuprostou hmotu (LTM; *Lean Tissue Mass*), tukovou hmotu (ATM; *Fat/Adipose Tissue Mass*) a nadbytečnou tekutinu (OH; *Overhydration*).

Rozčlenění lidského těla do jednotlivých kompartmentů a subkompartmentů znázorňuje Obrázek 6.

Obrázek 6 - Rozčlenění lidského těla do jednotlivých kompartmentů a subkompartmentů dle jeho složení



<http://www.bcm-fresenius.com/10.htm> (volně převzato)

5.2 Lean tissue mass (LTM)

Lean Tissue Mass, představuje tělesnou hmotnost bez nadbytečné tukové tkáně a extracelulární tekutiny, tedy převodnění. (<http://www.bcm-fresenius.com/26.htm#L>)

Do tohoto kompartmentu tak kromě tkání orgánů a kostí patří tkáň mandatorního „nutného“ tuku, který tvoří u mužů 15 %, u žen až 25 % z celkové hmotnosti (Sucharda, 2010), a tkáň příčně pruhované svaloviny tvořící 36 – 40 % tělesné hmotnosti. (Trojan et al.,2003) Poměr a zastoupení jednotlivých subkompartmentů LTM se však často během kritického stavu, vlivem nadměrné metabolické aktivity organismu, mění. Během hypermetabolické (flow) fáze dochází k mohutnému katabolismu lipidů v tukové, a proteinů ve svalové, hmotě, vedoucí k jejich významnému úbytku.

5.3 Overhydration (OH)

Overhydration, převodnění, představuje nefyziologický nadbytek tekutin prakticky téměř zcela lokalizovaný v extracelulárním prostoru. Z tohoto důvodu je OH řazena ke kompartmentu označovaném jako extracelulární tělesná tekutina. (<http://www.bcm-fresenius.com/26.htm#L>)

Za fyziologických okolností tvoří kompartment extracelulární tekutiny asi 20 % tělesné hmotnosti, či-li asi 14 litrů u 70 kg jedince. (Langmeier et Trojan, 2003) Některé patologické stavy však vedou k tvorbě a hromadění tekutin v organismu. Tradičně, kromě renální insuficience či proteinové malnutrice často spojené s insuficiencí jaterní či onkologickými stavy, vede k tvorbě OH právě polytraumatický či septický stav. Tehdy, mj., do popředí vstupují hypermetabolismus, poruchy minerálového hospodářství, v souvislosti s hydratací, zejm. natria (Kazda et Jabor, 2010), změny kardiiovaskulárních a ventilačních funkcí. Rozvíjí se významná endokrinní a imunitní reakce na vzniklý stres.

5.4 Využití BIA

Bioimpedanční analýzy lidského těla lze využít v klinické praxi nejen k vyšetření malnutričních pacientů (využití znalosti o LTM či poměru mezi metabolicky aktivní buněčnou masou a intersticiem), ale též např. u pacientů obézních (využití znalosti o ATM) či u pacientů na dialýze (využití znalosti o OH).

EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

6 Charakteristika pacientů

Vyšetření pacientů byla realizována na chirurgické JIP 1 FN v Hradci Králové. Jejich výběr prováděl a indikaci k vyšetření zadával vedoucí lékař JIP MUDr. Eduard Havel, PhD.

Samotná vyšetření probíhala pod dohledem PharmDr. Miloslava Hronka, PhD., vedoucího týmu Oddělení klinické fyziologie výživy a metabolismu při Centru pro výzkum a vývoj FN HK, ve 3-členném týmu.

V průběhu 10 měsíců bylo vyšetřeno 14 spontánně dýchajících polytraumatických pacientů.

Údaj o případném převodnění (OH) byl získán pouze u 11 pacientů, a podobně tak údaj o míře traumatu vyjádřený jako skóre systému APACHE II byl získán pouze u pacientů 7. Údaj o ISS byl dostupný u všech pacientů. Pro mužskou část populace jsou v průměru charakteristické následující údaje.: Věk 30 ± 15 let (15 až 55 let), tělesná hmotnost $87,2 \pm 35$ kg (52,2 až 122,2 kg), výška 177 ± 8 cm (169 až 185 cm) a délka traumatu $16,5 \pm 14,5$ dne (2 až 31 dnů). U všech pacientů byla provedena skórovací klasifikace traumatu dle ISS, u 4 z nich i dle APACHE II. Hodnota ISS u mužů činila 43 ± 14 (29 až 57), hodnota APACHE II $14,5 \pm 6,5$ (8 až 21).

Ženská populace byla téměř o polovinu menší. Oproti 9 mužům pouze 5 žen. Tuto populaci lze charakterizovat těmito průměrnými hodnotami.: Věk $43,5 \pm 26,5$ let (17 až 70 let), tělesná hmotnost $76,4 \pm 22$ kg (54,4 až 98,4 kg), výška $163,5 \pm 12,5$ cm (151 až 176 cm) a délka traumatu 13 ± 9 dnů (4 až 22 dnů). U všech pacientek byla provedena skórovací klasifikace traumatu dle ISS, u 3 z nich i dle APACHE II. U pacientek byla určena hodnota ISS $37,5 \pm 12,5$ (25 až 50), skóre APACHE II činilo $23,5 \pm 11,5$ (12 až 35). U populace žen je tak, oproti mužům, patrný větší rozptyl všech zde uvedených hodnot, a to s jedinou výjimkou, kterou byla hmotnost.

Základní charakteristiku celé populace pacientů uvádí Tabulka 25.

Tabulka 25 - Základní charakteristika pacientů

	věk [rok]	výška [cm]	hmotnost [kg]	délka trvání traumatu [den]	ISS [-]	APACHE II [-]
počet hodnot	14	14	14	14	14	7
minimum	15	151	52,20	2	25	8
median	32	171	84,05	13	39,5	17
maximum	70	185	122,20	31	57	35
průměr	35,21	172,14	82,49	12,64	40,21	18,86
SD	15,81	9,64	20,49	8,10	10,80	7,99
SE	16,40	10,00	21,26	8,41	11,21	8,63
koeficient variace	0,449	0,056	0,248	0,641	0,269	0,424

ISS – Injury Severity Score; nejčastěji využívaný skórovací systém pro klasifikaci traumatu; [-]

APACHE II – Acute Physiology and Chronic Health Evaluation II; skórovací systém pro klasifikaci traumatu; [-]

SD – Standard Deviation; směrodatná odchylka

SE – Experimental Standard Deviation; výběrová směrodatná odchylka

Aby byla charakteristika pacientů co nejpřesnější, uvádím v Tabulce 26 další antropometrické odvozené charakteristiky a základní údaje o složení těla pacienta.

Tabulka 26 - Hodnota LTM, OH a hodnoty odvozené od antropometrických charakteristik pacientů

	<i>LTM</i> [kg]	<i>OH</i> [kg]	<i>hmotnost -OH</i> [kg]	<i>BMI</i> [kg·m ⁻²]	<i>BMI-OH</i> [kg·m ⁻²]	<i>BSA</i> [m ²]	<i>BSA-OH</i> [m ²]
počet hodnot	11	11	11	14	11	14	11
minimum	28,40	0,00	51,60	18,10	17,85	1,56	1,55
median	51,90	1,70	67,90	27,10	25,25	1,96	1,79
maximum	70,10	14,30	122,20	36,90	36,89	2,41	2,41
průměr	49,15	3,26	77,40	27,64	25,90	1,95	1,89
SD	12,72	4,02	22,13	5,52	5,48	0,26	0,28
SE	13,34	4,21	23,21	5,73	5,75	0,27	0,30
koeficient variace	0,259	1,231	0,286	0,200	0,212	0,135	0,150

LTM – *Lean Tissue Mass*; tělesná hmotnost bez nadbytečné tukové tkáně a nadbytečné extracelulární tekutiny (LTM = FFM – OH); [kg]

OH – *Overhydration*; převodnění představující nefyziologický nadbytek tekutiny v těle; [kg]

hmotnost-OH – tělesná hmotnost bez převodnění; [kg]

BMI – *Body Mass Index*; index tělesné hmotnosti; [kg·m⁻²]

BMI-OH – index tělesné hmotnosti korigovaný odpočtem převodnění z tělesné hmotnosti; [kg·m⁻²]

BSA – *Body Surface Area*; povrch těla; [m²]

BSA-OH – povrch těla korelovaný odpočtem převodnění z tělesné hmotnosti; [m²]

SD – *Standard Deviation*; směrodatná odchylka

SE – *Experimental Standard Deviation*; výběrová směrodatná odchylka

Pro zobjektivnění výsledků jsou vybrané markery odvozené od hmotnosti pacienta korigovány odpočtem OH. Jak bylo ale t-testem prokázáno (Tabulka 43), vliv OH na výsledná stanovení nemá v naší populaci významný statistický vliv ($P = 0,95$).

Tabulka 27 uvádí úplný výčet diagnóz jednotlivých pacientů. Mezi nejčastější traumata patřily mnohočetné fraktury, kontuze plic, jater či sleziny. Ve 2 případech bylo přítomno i kraniotrauma. Populace je tvořena ve značné míře účastníky dopravních nehod.

Tabulka 27 - Charakteristika traumatu pacientů

<i>pacient</i>	<i>typ traumatu</i>	<i>ISS [den]</i>	<i>APACHEII [den]</i>
<i>K.L.</i>	chodec sražený vlakem; trauma.amputace LHK, kontuze sleziny, plic a mnohočetné fraktury	57	8
<i>Š.V.</i>	cyklista sražený autem; kraniotrauma, mnohočetné fraktury	50	17
<i>S.M.</i>	čelní náraz automobilem do mostu; fraktura pediklu L5 vpravo, fraktura pelvis, symphysiolyza, otevřená fraktura fibuly, fraktura pilonu L bérce, fraktura metatarsů LAK, střep v oblasti brady	33	-
<i>S.J.1</i>	motonehoda; zlomenina těl obratlů C6-Th1, inkompletní léze míšni v krční oblasti, kontuze pravé plíce, jater a sleziny, zlomenina pelvis typu C, luxační fraktura acetabula L, fraktura distálního radia L, kontuze L ledviny s poruchou cévního zásobení; fraktura 1.-10. žebra P a 1.-3. L, fraktura obou lopatek a příčného výběžku L2 P a L5 L	43	21
<i>V.P.</i>	motonehoda; fraktura ossis occipitale, mandibuly, otevřená fraktura L humeru, antebrachia, předního raménky kosti stydké a předního pilíře L acetabula, lacerace sleziny (splenektomie), hemoperitoneum	43	-
<i>Z.J.</i>	autonehoda; disekce arcus aortae (minimální poranění), komoče mozku, otevřená fraktura diafýzy femuru L, subkapitální tříštivá fraktura krčku femuru L, víceúlomkové fraktura acetabula L, fraktura distální diafýzy ulny L	29	-
<i>N.P.</i>	autonehoda; komoče mozku, kontuze plic, ruptura v arcus aortae, fraktura femuru suprakondylická otevřená L, traumatická symphysiolyza, zhmoždění – tržná rána na hlavě a bérce P	36	-
<i>J.Z.</i>	výbuch páry v průmyslovém objektu; popáleniny na 40-49 % těla, kontuze sleziny, neotevřená četná poranění, fraktura tibie, otevřená fraktura kalkaneu	50	17
<i>H.P.1</i>	pád z výšky; ruptura sleziny, fraktura pelvis, fraktura I. L žebra, transvers.výběžků L1-L5	57	-
<i>V.M.</i>	autonehoda; ruptura plic a jater, crush poranění LHK, fraktury antebrachia	34	-
<i>R.P.</i>	hemoperitoneum, lacerace te. a tl.střeva, (avoluce L ledviny)	25	22
<i>S.J.2</i>	autonehoda; ruptura bérce, fraktura kostí obou bérců, tržná rána na hlavě, pneumothorax vlevo	29	-
<i>K.E.</i>	suicidní pokus; hemoragický šok, fraktura baze C2 bez postižení páteř.kanálu, ruptura hrudní aorty v istmu, nedislokovaná fraktura dorzálního průběhu 6. a 7. žebra P a dorzálního průběhu 2. žebra L, fraktura pelvis typu C, retroperitoneální hematoma, pneumoperitoneum, tříštivá fraktura pilonu tibie a fibuly L; (bilat.hrudní drenáž)	50	12
<i>B.H.</i>	sražena na kole osobním automobilem; fraktura bérce, žeber, P humeru, P femuru, (operace C-páteře, amputace LDK)	27	35

ISS – Injury Severity Score; nejčastěji využívaný skórovací systém pro klasifikaci traumatu

APACHE2 – Acute Physiology and Chronic Health Evaluation II; skórovací systém pro klasifikaci traumatu

(modře) – muži

(červeně) – ženy

(pomlčka) – údaj není k dispozici

7 Přístrojové vybavení a metodika vyhodnocení dat

Kromě kalorimetru a monitoru složení lidského těla, které budou charakterizovány níže, byly využity základní antropometrické metody – vážení a měření výšky těla pomocí kalibrovaných měřidel určených pro klinickou praxi.

Hodnota odpadu dusíku v moči byla stanovena na základě biochemického vyšetření, jehož výsledky byly součástí dokumentace každého z vyšetřovaných pacientů.

7.1 Kalorimetr

Pro vyšetření IC byl využit kalorimetr Vmax Series (V620 Autovox, SensorMedics Corporation, California, USA).

Vyšetření bylo prováděno za maximálně možných příznivých podmínek. Vyšetřovaní pacienti byli v relativně klidném duševním i fyzickém stavu. Měření bylo provedeno v poloze pacienta vleže, nikoli však po striktním 12-hodinovém lačnění. Byla u nich již indikována klinická výživa.

Provedení vyšetření bylo v souladu s doporučením výrobce, a tak jej zde nebudu dále rozvádět.

Součástí kalorimetru byl i software pro kalkulaci klidového energetického výdeje, určení jeho velikosti vůči hodnotě stanovené dle Harris-Benedictovy rovnice, a určení míry utilizace jednotlivých nutričních substrátů.

7.2 Monitor složení těla

Ke stanovení složení těla, zejm. množství LTM a OH, byl použit monitor BCM – Body Composition Monitor (Fresenius Medical Care, Francie). Protože ale BIA nebyla předmětem této práce, a můj podíl na vyšetření pomocí BCM byl pouze dílčí, nebudu způsob provedení vyšetření blíže popisovat. Při vyšetření byly dodrženy všechny pokyny výrobce pro zajištění správného způsobu stanovení korektních výsledků.

7.3 Metodika zpracování a vyhodnocení dat (PC-program)

Pro vyhodnocení získaných údajů jsem využil prostředí programu Excel, tabulkového procesoru od firmy Microsoft, a to funkce Popisná statistika obsahující funkci Počet hodnot, Minimum, Maximum, Medián, Průměr, Směrodatná odchylka (SD), Výběrová směrodatná odchylka (SE) a koeficient variability. Dále byly využity funkce Korelace (vyhodnocení dle Table of Critical values for Person correlation – Two-Tailed Probabilities) a Dvouvýběrový t-test s rovností rozptylů.

8 Výsledky

8.1 Energetický výdej a utilizace nutričních substrátů

Následující tabulky (Tabulka 28 až 31) shrnují zjištěná fakta o energetickém výdeji a utilizaci nutričních substrátů u vybrané populace polytraumatických pacientů. Výsledky jsou uváděny formou statistického přehledu. Pro přehlednost jsou některá ze zjištění vyjádřena též ve formě grafů (Graf 1 až 5).

8.1.1 Energetický výdej

Tabulka 28 předkládá základní výsledky získané vyšetřením pacientů pomocí metody indirektní kalorimetrie. Přehled je též doplněn o laboratorně stanovenou hodnotu odpadu dusíku v moči za 24 hodin (UN), která je nutná pro určení neproteinového respiračního koeficientu. Na základě velikosti jeho hodnoty lze rámcově určit i míru preference nutričních substrátů tak, jak to popisuje Tabulka 22.

Tabulka 28 - Hodnota UN, VO₂ a VCO₂ stanovené u spontánně dýchajících pacientů

	<i>UN</i> [g·den ⁻¹]	<i>VO₂</i> [l·min ⁻¹]	<i>VCO₂</i> [l·min ⁻¹]	<i>RQ</i> [-]	<i>npRQ</i> [-]
počet hodnot	14	14	14	14	14
minimum	14,79	0,20	0,20	0,64	0,56
median	29,59	0,32	0,27	0,82	0,79
maximum	82,63	0,47	0,35	1,08	1,01
průměr	36,48	0,34	0,28	0,82	0,79
SD	18,98	0,08	0,05	0,11	0,11
SE	19,69	0,09	0,05	0,11	0,12
koeficient variace	0,520	0,244	0,167	0,129	0,142

UN – odpad dusíku urey (stanoveno z moči); [g·den⁻¹]

VO₂ – měrný objem (spotřeba) kyslíku; [l·den⁻¹]

VCO₂ – měrný objem (produkce) oxidu uhličitého; [l·den⁻¹]

RQ – *Respiratory Quotient*; respirační koeficient; [-]

npRQ – *non-protein Respiratory Quotient*; nebílkovinný respirační koeficient; [-]

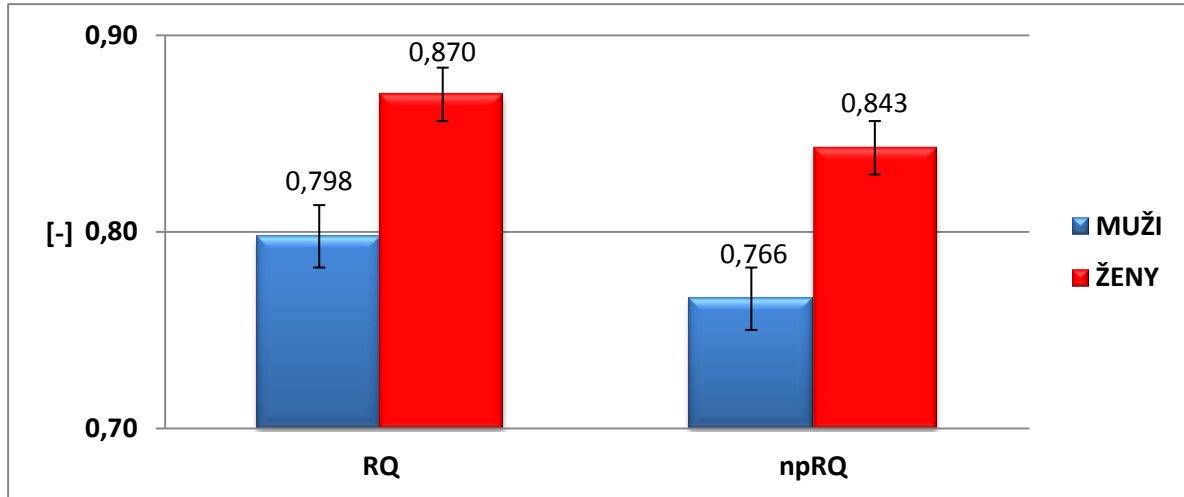
SD – *Standard Deviation*; směrodatná odchylka

SE – *Experimental Standard Deviation*; výběrová směrodatná odchylka

Z Tabulky 28 je patrné navýšení většiny pozorovaných markerů poukazujících na zvýšenou míru metabolismu polytraumatických pacientů. Tehdy byly stanoveny převážně zvýšené hladiny VO₂ (0,335 ± 0,135 l·min⁻¹ oproti obvyklé hodnotě 0,250 l·min⁻¹), VCO₂ (0,335 ± 0,135 l·min⁻¹ oproti obvyklé hodnotě 0,200 l·min⁻¹) i UN (48,71 ± 33,92 g·den⁻¹).

Vzájemný poměr mezi hodnotou klasického RQ a np-RQ u mužů a žen v naší populaci vyjadřuje Graf 1.

Graf 1 - Průměrná hodnota RQ a npRQ



RQ – Respiratory Quotient; respirační koeficient; [-]

npRQ – non-protein Respiratory Quotient; nebílkovinný respirační koeficient; [-]

Graf 1 poukazuje na rozdílnost mezi průměrnou hodnotou RQ ($P = 0,25$) a npRQ ($P = 0,11$) zapříčiněnou korekcí hodnoty RQ hodnotou UN. Dle průměrné hodnoty npRQ lze u průměrného muže rámcově předpokládat preferenci utilizace proteinů, u průměrné ženy se jeví trend smíšené utilizace nutričních substrátů.

Energetický výdej lze určit několika způsoby. Můžeme jej odhadnout např. kalkulací dle Harris-Benedictovy rovnice, jehož výsledná hodnota odpovídá bazální energetické potřebě organismu, nebo stanovit měřením pomocí IC, která kalkuluje s již zmiňovanými hodnotami dýchacích plynů a UN. Tak lze stanovit klidový energetický výdej u pacienta v reálném čase. Jejich vzájemným podílem IC/HB pak získáme míru změny v energetickém metabolismu pacienta.

Pro úplnost Tabulka 29 uvádí statistický přehled oběma těmito způsoby určený energetický výdej, a to vč. kalkulace po odpočtu OH od hmotnosti pacienta.

Tabulka 29 - Energetický výdej

	<i>REE-HB</i> [kcal·den ⁻¹]	<i>REE-HB-OH</i> [kcal·den ⁻¹]	<i>REE-IC</i> [kcal·den ⁻¹]	<i>IC/HB</i> [%]	<i>IC/HB-OH</i> [%]
počet hodnot	9 / 5	8 / 3	14	14	11
minimum	1533,34 / 1095,86	1525,09 / 1264,91	1387,10	89,00	89,00
median	1913,60 / 1435,67	1857,36 / 1500,28	2162,71	133,63	121,72
maximum	2461,15 / 1711,26	2461,15 / 1583,72	3095,65	187,18	166,72
průměr	1945,30 / 1400,42	1908,30 / 1449,64	2314,28	134,14	125,76
SD	281,23 / 210,11	292,48 / 134,99	535,33	27,38	22,46
SE	298,29 / 234,91	312,67 / 165,33	555,53	28,41	23,55
koeficient variace	0,145 / 0,150	0,153 / 0,093	0,231	0,204	0,179

(modře) – muži

(červeně) – ženy

REE-HB – bazální energetický výdej stanovený výpočtem dle Harris-Benedictovy rovnice; [kcal·den⁻¹]

REE-HB-OH – bazální energetický výdej stanovený výpočtem dle Harris-Benedictovy rovnice a korelovaný výpočtem převodnění z tělesné hmotnosti; [kcal·den⁻¹]

REE-IC – klidový energetický výdej experimentálně stanovený dle Weirovy rovnice na základě vyšetření indirektní kalorimetrií na principu dechové analýzy; [kcal·den⁻¹]

IC/HB – % vyjádření rozdílu hodnot klidového energetického výdeje stanovené pomocí indirektní kalorimetrie a hodnoty bazálního energetického výdeje stanoveného pomocí Harris-Benedictovy rovnice; [%]

IC/HB-OH – % vyjádření rozdílu hodnot klidového energetického výdeje stanovené pomocí indirektní kalorimetrie a hodnoty bazálního energetického výdeje stanoveného pomocí Harris-Benedictovy rovnice, kde byla od celkové hmotnosti pacienta odpočtena OH; [%]

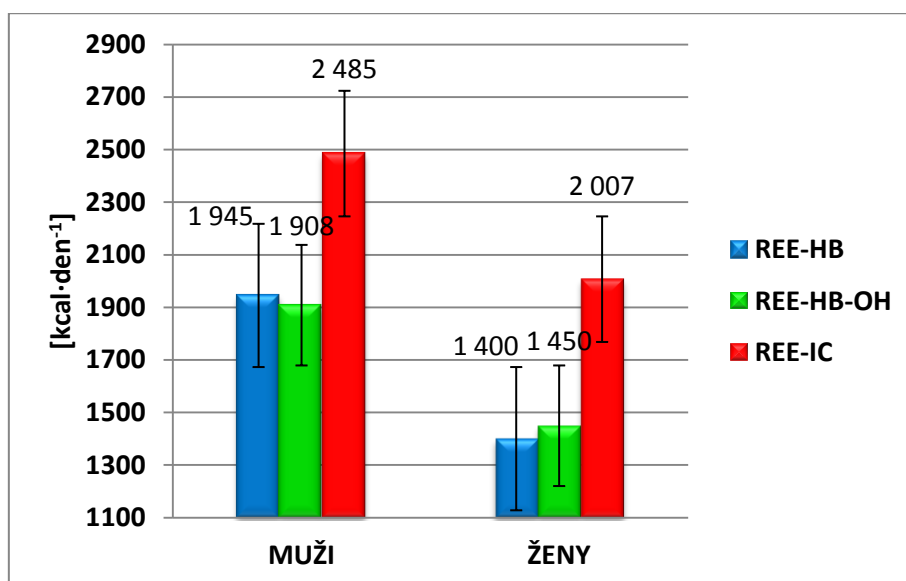
SD – Standard Deviation; směrodatná odchylka

SE – Experimental Standard Deviation; výběrová směrodatná odchylka

Z výsledků uvedených v Tabulce 28 je zřejmé, že většina pacientů je v hypermetabolismu. U žen je REE-HB, ev. REE-HB-OH, stanovený dle Harris-Benedictovy rovnice významně nižší než u mužů. Individuální hodnocení REE-HB a REE-HB-OH zvláště u mužů a žen bylo provedeno na základě výsledků t-testu, kdy u REE-HB byla stanovena t-testem hodnota $P = 0,004$, a u REE-HB-OH $P = 0,04$. Mezi hodnotami REE-IC u mužů a žen nebyl nalezen statisticky významný rozdíl ($P = 0,13$).

Vzájemný poměr mezi hodnotou REE-HB, REE-HB-OH a REE-IC vyjadřuje též Graf 2.

Graf 2 - Energetický výdej



REE-HB – bazální energetický výdej stanovený výpočtem dle Harris-Benedictovy rovnice; [kcal·den⁻¹]

REE-HB-OH – bazální energetický výdej stanovený výpočtem dle Harris-Benedictovy rovnice a korelovaný odpočtem převodnění z tělesné hmotnosti; [kcal·den⁻¹]

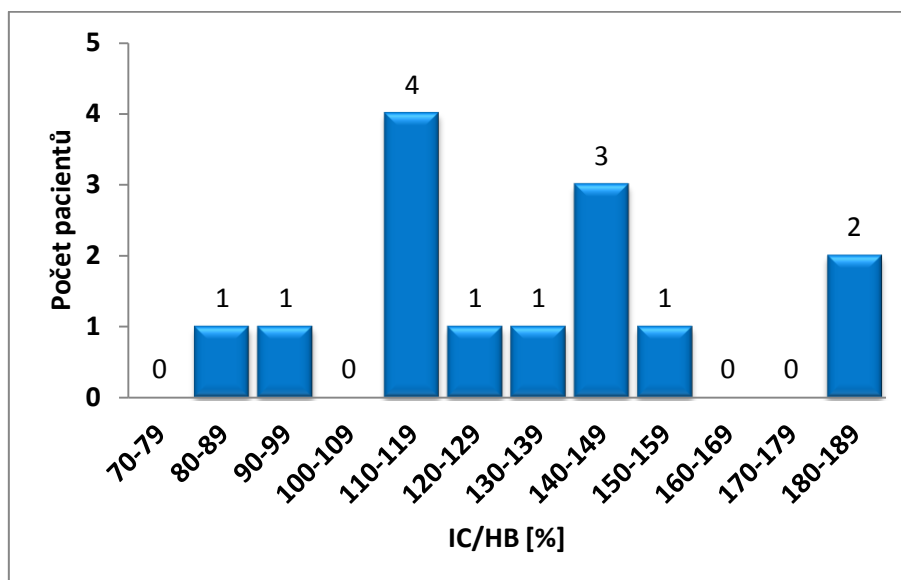
REE-IC – klidový energetický výdej experimentálně stanovený dle Weirovy rovnice na základě vyšetření indirektní kalorimetrie na principu dechové analýzy; [kcal·den⁻¹]

Na první pohled je rozeznatelný významně vyšší reálný klidový energetický výdej stanovený metodou IC. Energetický výdej stanovený dle Harris-Benedictovy rovnice před a po odpočtu OH vykazuje jisté drobné rozdíly. Příčinou paradoxního nárůstu hodnoty REE-HB-OH oproti REE-HB u žen je vzájemný poměr zastoupení pacientek při daném typu výpočtu. Pacientky, u nichž jsme znali i hodnotu OH, byly oproti původním 5 pouze 3. Rozptyl hodnot u všech stanovení je však velmi podobný, a tak lze usuzovat na značnou vzájemnou homogenost získaných dat (viz Tabulka 44). T-testem nebyla prokázána statisticky významná odchylka mezi hodnotami REE-HB a REE-HB-OH ani u jednoho z pohlaví

(muži: $P = 0,81$; ženy: $P = 0,76$). Statisticky významný rozdíl byl nalezen pouze mezi hodnotami REE-HB a REE-IC ($P = 0,01$), a REE-HB-OH a REE-IC ($P = 0,007$) u mužů.

O kumulativním zastoupení pacientů dle míry jejich metabolismu vypovídá blíže Graf 3.

Graf 3 - Kumulativní rozložení hodnot IC/HB [%] u spontánně dýchajících pacientů

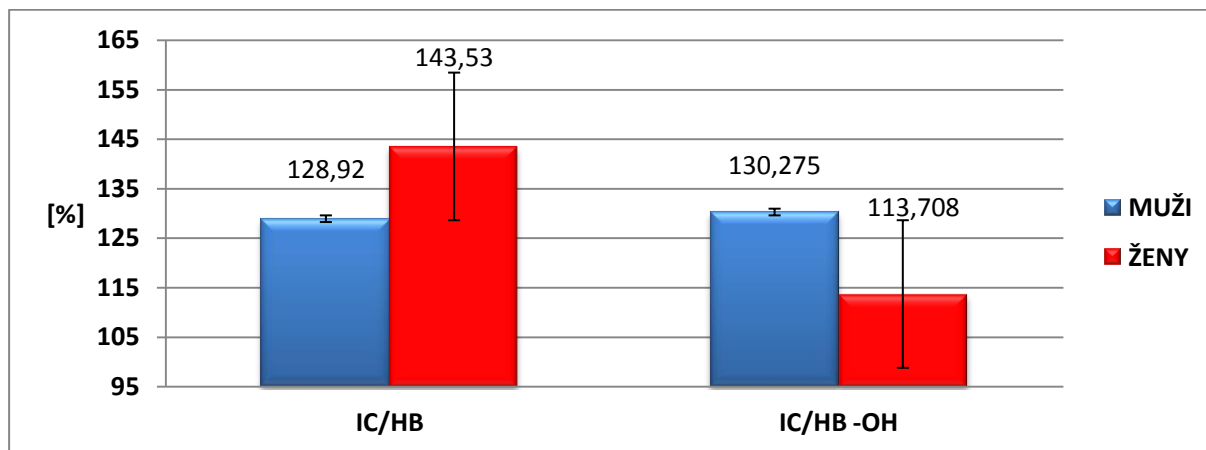


IC/HB – % vyjádření rozdílu hodnot klidového energetického výdeje stanovené pomocí indirektní kalorimetrie a hodnoty bazálního energetického výdeje stanoveného pomocí Harris-Benedictovy rovnice; [%]

Jak je z histogramu (Graf 3) patrné, nejčastěji převládá v populaci našich pacientů hypermetabolismus (12 pacientů). V intervalu 70 až 189 % IC/HB byla zaznamenána 3 maxima se sestupným trendem. U 4 pacientů se IC/HB pohyboval v intervalu 110 až 119 %, u 3 pacientů v intervalu 140 až 149 % a u 2 pacientů v intervalu 180 až 190 %. Ostatní intervaly reprezentoval 1 nebo žádný pacient.

Vzájemný poměr mezi velikostí energetického výdeje stanoveného pomocí Harris-Benedictovy rovnice a energetického výdeje stanoveného metodou IC popisuje též Graf 4.

Graf 4 - Průměrná míra energetické potřeby vyjádřená jako IC/HB [%] bez a s odečtem OH



IC/HB – % vyjádření rozdílu hodnot klidového energetického výdeje stanovené pomocí indirektní kalorimetrie a hodnoty bazálního energetického výdeje stanoveného pomocí Harris-Benedictovy rovnice; [%]

IC/HB-OH – % vyjádření rozdílu hodnot klidového energetického výdeje stanovené pomocí indirektní kalorimetrie a hodnoty bazálního energetického výdeje stanoveného pomocí Harris-Benedictovy rovnice, kde byla od celkové hmotnosti pacienta odpočtena OH; [%]

Graf 4 jasně vyjadřuje významnou odchylku v míře změny energetického výdeje před a po odpočtu OH u žen. Příčinou takového markantního rozdílu může být i fakt, že populaci žen, u nichž byl k dispozici též údaj o OH, tvořili pouze 3 ženy, na rozdíl od populace 8 mužů. U zbylých pacientů (1 muž a 2 ženy) nebyl údaj o OH znám.

Přesto nebyl pomocí t-testu mezi oběma pohlavími nalezen statisticky významný rozdíl (IC/HB: $P = 0,38$; IC/HB-OH: $P = 0,32$). Stejně tak nebyl prokázán ani statisticky významný rozdíl mezi hodnotou IC/HB a IC/HB-OH u mužů ($P = 0,90$) ani žen ($P = 0,28$).

Energetický výdej lze vyjádřit též jako míru energetické potřeby vztaženou na určitou charakteristiku pacienta, např. jeho hmotnost, LTM či BSA. Tyto vztahy představuje ve statistickém přehledu Tabulka 30.

Tabulka 30 - REE vztažený na vybrané antropometrické parametry

	<i>REE/kg</i> [kcal·kg ⁻¹ ·den ⁻¹]	<i>REE/kg-OH</i> [kcal·kg ⁻¹ ·den ⁻¹]	<i>REE/kg LTM</i> [kcal·kg ⁻¹ ·den ⁻¹]	<i>REE/BSA</i> [kcal·m ⁻² ·den ⁻¹]	<i>REE/BSA-OH</i> [kcal·m ⁻² ·den ⁻¹]
počet hodnot	14	11	11	14	11
minimum	17,93	17,93	34,49	832,06	862,05
median	31,15	31,53	48,93	1171,58	1166,86
maximum	37,71	39,20	72,23	1478,58	1596,92
průměr	28,78	29,96	47,11	1182,01	1180,50
SD	5,85	6,79	11,25	197,46	216,19
SE	6,07	7,12	11,80	204,91	226,75
koeficient variace	0,203	0,227	0,239	0,167	0,183

REE/kg – klidový energetický výdej vztažený na 1 kg tělesné hmotnosti bez odečtu převodnění; [kcal·kg⁻¹·den⁻¹]

REE/kg-OH – klidový energetický výdej vztažený na 1 kg tělesné hmotnosti po odečtu převodnění; [kcal·kg⁻¹·den⁻¹]

REE/kg LTM – klidový energetický výdej vztažený na 1 kg tělesná hmotnost bez nadbytečné tukové tkáně a nadbytečné extracelulární tekutiny; [kcal·kg⁻¹·den⁻¹]

REE/BSA – klidový energetický výdej vztažený na povrch těla bez odečtu převodnění; [kcal·kg⁻¹·m²·den⁻¹]

REE/BSA-OH – klidový energetický výdej vztažený na povrch těla po odečtu převodnění; [kcal·kg⁻¹·m²·den⁻¹]

SD – *Standard Deviation*; směrodatná odchylka

SE – *Experimental Standard Deviation*; výběrová směrodatná odchylka

Podstatným zjištěním vyplývajícím z Tabulky 30 je skutečnost, že se průměrné hodnoty všech pozorovaných markerů v populacích s a bez odpočtu OH významně neliší (t-test REE/kg bez a s odpočtem OH: $P = 0,66$; t-test REE/BSA bez a s odpočtem OH: $P = 0,99$).

8.1.2 Utilizace nutričních substrátů

Míra utilizace jednotlivých nutričních substrátů byla stanovena na základě rovnic (Rovnice 13 až 18) uvedených v kapitole 4.2.3.3. Do kalkulace vstupovaly pouze hodnoty VO_2 a VCO_2 získané při vyšetření IC a hodnota UN.

Tabulka 31 uvádí míru utilizace jednotlivých nutričních substrátů vyjádřenou nejen v %, ale též v $g \cdot \text{den}^{-1}$ a $\text{kcal} \cdot \text{den}^{-1}$.

Tabulka 31 - Utilizace nutričních substrátů

	<i>CHO</i> utilizace [g·den ⁻¹]	<i>CHO</i> utilizace [kcal·den ⁻¹]	<i>CHO</i> utilizace [%]	<i>FAT</i> utilizace [g·den ⁻¹]	<i>FAT</i> utilizace [kcal·den ⁻¹]	<i>FAT</i> utilizace [%]	<i>PRO</i> utilizace [g·den ⁻¹]	<i>PRO</i> utilizace [kcal·den ⁻¹]	<i>PRO</i> utilizace [%]
počet hodnot	14	14	14	14	14	14	14	14	14
minimum	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	92,46	399,45	18,23
median	85,33	354,12	19,43	95,65	870,41	36,82	199,13	860,25	37,88
maximum	227,42	943,77	62,49	275,17	2504,02	80,89	516,46	2231,09	100,00
průměr	92,71	384,76	19,65	103,66	943,32	36,11	232,23	1003,23	44,24
SD	84,60	351,09	19,38	84,06	764,97	26,46	116,57	503,60	22,29
SE	87,79	364,35	20,11	87,24	793,85	27,46	120,97	522,61	23,13
koefficient variace	0,913	0,913	0,986	0,811	0,811	0,733	0,502	0,502	0,504

CHO – utilizace sacharidů

FAT – utilizace tuků

PRO – utilizace proteinů

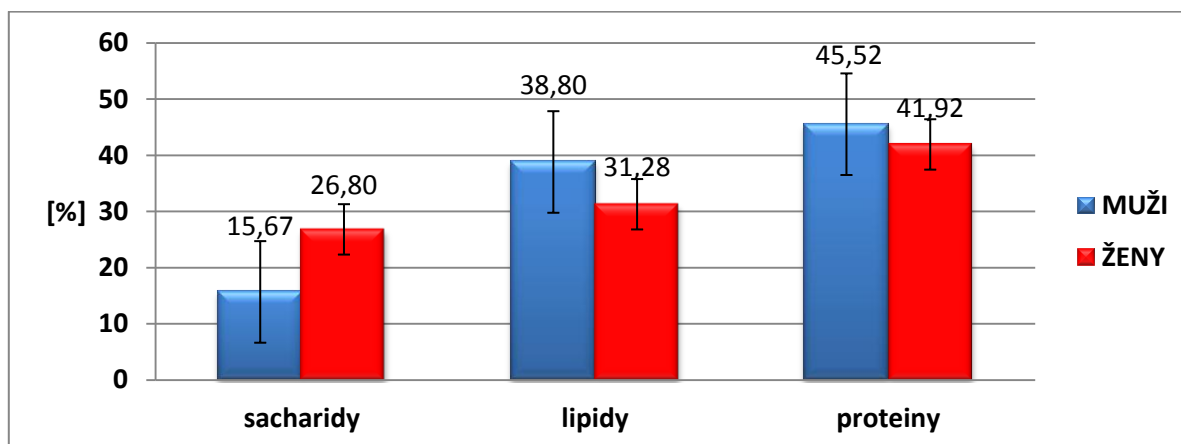
SD – *Standard Deviation*; směrodatná odchylka

SE – *Experimental Standard Deviation*; výběrová směrodatná odchylka

Vzájemný poměr mezi utilizovanými sacharidy, tuky a proteiny činil u naší populace asi 20:36:44. T-testem (Tabulka 43) nebyla prokázána statisticky podstatná hladina významnosti mezi utilizací nutričních substrátů u mužů a žen, a tak lze tento dílčí závěr považovat za korektní.

Pro kompletnost přesto uvádím grafické vyjádření (Graf 5) vzájemného poměru mezi průměrnou hodnotou míry utilizace jednotlivých nutričních substrátů u mužů a žen.

Graf 5 - Vzájemný poměr mezi mírou utilizace jednotlivých nutričních substrátů



Z grafu (Graf 5) je zjevné, že u mužů jsou preferovány zejm. proteiny a lipidy, u žen pouze proteiny. Vzájemný poměr nutričních substrátů – sacharidů, tuků a proteinů – činí u mužů asi 16 : 39 : 45 a u žen 27 : 31 : 42. Toto zjištění do jisté míry potvrzuje predikci preference nutričních substrátů dle npRQ. U mužů jsou dle průměrné hodnoty npRQ (0,766) preferovány vskutku proteiny, u žen (0,843) má míra utilizace ve směru sacharidy – lipidy – proteiny rovnoměrně vzrůstající trend. Organizmem žen jsou preferovány ale zejm. tuky, a nejedná se proto o ryze smíšený metabolismus těchto substrátů, jak to naznačuje hodnota npRQ.

Větší rozptyl hodnot u mužů může být zapříčiněn i většími rozptyly hodnot tělesné hmotnosti a LTM oproti ženám. Naopak větší rozptyl hodnot ISS a APACHE II byl u žen.

8.2 Korelace

Vzájemný vztah mezi vybranými markery a míru jejich statistické významnosti uvádí Tabulky 32 až 43. Kromě souvztažnosti mezi energetickým výdejem a vybranými veličinami (Tabulka 32 až 37) jsou níže uvedeny i vztahy mezi utilizovanými nutričními substráty a dalšími markery (Tabulka 38 až 43).

8.2.1 Statisticky významné korelace mezi REE a vybranými markery

Základem korelační analýzy bylo vzájemné porovnání souvislosti mezi jednotlivými energetickými výdeji rozčleněnými dle způsobu určení jejich velikosti (Tabulka 32).

Tabulka 32 - Přehled vzájemných korelací mezi uvedenými parametry klidového energetického výdeje vyjádřených hodnotou P

	<i>REE-HB</i> [kcal·den ⁻¹]	<i>REE-HB-OH</i> [kcal·den ⁻¹]	<i>REE-IC</i> [kcal·den ⁻¹]	<i>IC/HB</i> [%]	<i>IC/HB-OH</i> [%]
<i>REE-HB</i> [kcal·den ⁻¹]	1,000	0,943 **	0,569 *	-0,340	-0,021
<i>REE-HB-OH</i> [kcal·den ⁻¹]	0,943 **	1,000	0,593	-0,267	-0,100
<i>REE-IC</i> [kcal·den ⁻¹]	0,569 *	0,593	1,000	0,547 *	0,737 **
<i>IC/HB</i> [%]	-0,340	-0,267	0,547 *	1,000	0,800 **
<i>IC/HB-OH</i> [%]	-0,021	-0,100	0,737 **	0,800 **	1,000

REE-HB – bazální energetický výdej stanovený výpočtem dle Harris-Benedictovy rovnice; [kcal·den⁻¹]

REE-HB-OH – bazální energetický výdej stanovený výpočtem dle Harris-Benedictovy rovnice a korelovaný odpočtem převodnění z tělesné hmotnosti; [kcal·den⁻¹]

REE-IC – klidový energetický výdej experimentálně stanovený dle Weirovy rovnice na základě vyšetření indirektní kalorimetrií na principu dechové analýzy; [kcal·den⁻¹]

IC/HB – % vyjádření rozdílu hodnot klidového energetického výdeje stanovené pomocí indirektní kalorimetrie a hodnoty bazálního energetického výdeje stanoveného pomocí Harris-Benedictovy rovnice; [%]

IC/HB-OH – % vyjádření rozdílu hodnot klidového energetického výdeje stanovené pomocí indirektní kalorimetrie a hodnoty bazálního energetického výdeje stanoveného pomocí Harris-Benedictovy rovnice, kde byla od celkové hmotnosti pacienta odpočtena OH; [%]

* $P < 0,05$ (Critical values for Pearson correlation)

** $P < 0,01$ (Critical values for Pearson correlation)

Tabulka 32 uvádí pochopitelně jako statisticky významné korelace vztah *REE-HB* a *REE-HB-OH* ($P < 0,01$), a mezi *REE-IC* a *REE* [%] ($P < 0,05$). Dále byla jako statisticky významná stanovena korelace mezi *REE-HB* a *REE-IC* ($P < 0,05$).

Následující tabulky (Tabulka 33 až 36) popisují zejm. prokázané korelace mezi vybranými markery a klidovým energetickým výdejem.

Tabulka 33 - Vliv pohlaví na REE

	<i>pohlaví</i>
REE-HB [kcal·den ⁻¹]	0,711 **
REE-HB-OH [kcal·den ⁻¹]	0,619 *
REE-IC [kcal·den ⁻¹]	0,428

REE-HB – bazální energetický výdej stanovený výpočtem dle Harris-Benedictovy rovnice; [kcal·den⁻¹]

REE-HB-OH – bazální energetický výdej stanovený výpočtem dle Harris-Benedictovy rovnice a korelovaný odpočtem převodnění z tělesné hmotnosti; [kcal·den⁻¹]

REE-IC – klidový energetický výdej experimentálně stanovený dle Weirovy rovnice na základě vyšetření indirektní kalorimetrií na principu dechové analýzy; [kcal·den⁻¹]

* **P < 0,05** (Critical values for Pearson correlation)

** **P < 0,01** (Critical values for Pearson correlation)

Zcela pochopitelně byla prokázána souvztažnost (Tabulka 33) mezi hodnotou REE-HB a pohlaví ($P < 0,01$) a to i u verze REE-HB-OH ($P < 0,05$). O volbě varianty Harris-Benedictovy rovnice totiž rozhoduje přímo pohlaví pacienta.

Do značné míry byly prokázány i statisticky významné korelace mezi energetickým výdejem a vybranými antropometrickými odvozenými markery (Tabulka 34).

Tabulka 34 - Přehled vzájemných korelací mezi uvedenými parametry klidového energetického výdeje, BSA a BMI vyjádřených hodnotou P

	BMI [kg·m ⁻²]	BMI-OH [kg·m ⁻²]	BSA [m ²]	BSA-OH [m ²]
REE-HB [kcal·den ⁻¹]	0,631 *	0,810 **	0,903 **	0,931 **
REE-HB-OH [kcal·den ⁻¹]	0,768 **	0,816 **	0,961 **	0,965 **
REE-IC [kcal·den ⁻¹]	0,319	-0,318	0,690 **	0,623 *
IC/HB [%]	-0,242	-0,484	-0,084	-0,263
IC/HB-OH [%]	-0,203	-0,304	0,007	-0,050
REE/kg [kcal·kg ⁻¹ ·den ⁻¹]	-0,689 **	-0,750 **	-0,328	-0,435
REE/kg-OH [kcal·kg ⁻¹ ·den ⁻¹]	-0,618 *	-0,709 *	-0,396	-0,439

BMI – Body Mass Index; index tělesné hmotnosti; [kg·m⁻²]

BMI-OH – index tělesné hmotnosti korigovaný odpočtem převodnění z tělesné hmotnosti; [kg·m⁻²]

BSA – Body Surface Area; povrch těla; [m²]

BSA-OH – povrch těla korelovaný odpočtem převodnění z tělesné hmotnosti; [m²]

REE-HB – bazální energetický výdej stanovený výpočtem dle Harris-Benedictovy rovnice; [kcal·den⁻¹]

REE-HB-OH – bazální energetický výdej stanovený výpočtem dle Harris-Benedictovy rovnice a korelovaný odpočtem převodnění z tělesné hmotnosti; [kcal·den⁻¹]

REE-IC – klidový energetický výdej experimentálně stanovený dle Weirovy rovnice na základě vyšetření indirektní kalorimetří na principu dechové analýzy; [kcal·den⁻¹]

IC/HB – % vyjádření rozdílu hodnot klidového energetického výdeje stanovené pomocí indirektní kalorimetrie a hodnoty bazálního energetického výdeje stanoveného pomocí Harris-Benedictovy rovnice; [%]

IC/HB-OH – % vyjádření rozdílu hodnot klidového energetického výdeje stanovené pomocí indirektní kalorimetrie a hodnoty bazálního energetického výdeje stanoveného pomocí Harris-Benedictovy rovnice, kde byla od celkové hmotnosti pacienta odpočtena OH; [%]

REE/kg – klidový energetický výdej vztážený na 1 kg tělesné hmotnosti bez odečtu převodnění; [kcal·kg⁻¹·den⁻¹]

REE/kg-OH – klidový energetický výdej vztážený na 1 kg tělesné hmotnosti po odečtu převodnění; [kcal·kg⁻¹·den⁻¹]

* **P < 0,05** (Critical values for Pearson correlation)

** **P < 0,01** (Critical values for Pearson correlation)

Z tabulky 34 je zřejmé, že nejčastěji koreloval se všemi zde vyhodnocovanými markery (BMI, BMI-OH, BSA a BSA-OH) REE-HB-OH ($P < 0,01$). Statisticky významná souvstažnost byla prokázána i u BSA a REE stanoveným různými způsoby (REE-HB, REE-HB-OH, REE-IC) ($P < 0,01$). Korelace mezi BMI, BMI-OH, BSA ani BSA-OH a IC/HB [%] nebyly prokázány.

Vzájemný vliv mezi LTM, která představuje nejvýznamnější kompartment metabolicky aktivních tkání organismu, a energetickým výdejem představuje Tabulka 35.

Tabulka 35 - Vliv LTM na REE

	<i>LTM</i> [kg]
RQ [-]	-0,476
REE-HB [kcal·den⁻¹]	0,582 *
REE-IC [kcal·den⁻¹]	0,635 *
REE/kg LTM [kcal·kg⁻¹·den⁻¹]	-0,562 *

LTM – *Lean Tissue Mass*; tělesná hmotnost bez nadbytečné tukové tkáně a nadbytečné extracelulární tekutiny (LTM = FFM – OH); [kg]

RQ – *Respiratory Quotient*; respirační koeficient; [-]

REE-HB – bazální energetický výdej stanovený výpočtem dle Harris-Benedictovy rovnice; [kcal·den⁻¹]

REE-IC – klidový energetický výdej experimentálně stanovený dle Weirovy rovnice na základě vyšetření indirektní kalorimetrií na principu dechové analýzy; [kcal·den⁻¹]

REE/kg LTM – klidový energetický výdej vztážený na 1 kg tělesná hmotnost bez nadbytečné tukové tkáně a nadbytečné extracelulární tekutiny; [kcal·kg⁻¹·den⁻¹]

* **P < 0,05** (*Critical values for Pearson correlation*)

Korelace uvedené v Tabulce 35 vypovídají o statisticky významné souvislosti mezi LTM a REE-HB, REE-IC i REE/kg LTM ($P < 0,05$). Vztah mezi LTM a RQ nebyl statisticky významný.

Vliv míry polytraumatu a délky jeho trvání na energetický výdej popisuje Tabulka 36.

Tabulka 36 - Vliv délky traumatu, ISS a APACHE skóre na REE

	délka trvání traumatu [den]	ISS [-]	APACHE II [-]
REE-HB [kcal·den ⁻¹]	-0,075	-0,065	0,013
REE-HB-OH [kcal·den ⁻¹]	-0,104	-0,372	0,605 *
REE-IC [kcal·den ⁻¹]	0,029	0,023	0,166
REE/kg [kcal·kg ⁻¹ ·den ⁻¹]	0,281	0,424	-0,456
REE/kg-OH [kcal·kg ⁻¹ ·den ⁻¹]	0,459	0,366	-0,098
REE/kg LTM [kcal·kg ⁻¹ ·den ⁻¹]	0,146	-0,464	0,858 **

ISS – Injury Severity Score; nejčastěji využívaný skórovací systém pro klasifikaci traumatu; [-]

APACHE II – Acute Physiology and Chronic Health Evaluation II; skórovací systém pro klasifikaci traumatu; [-]

REE-HB – bazální energetický výdej stanovený výpočtem dle Harris-Benedictovy rovnice; [kcal·den⁻¹]

REE-HB-OH – bazální energetický výdej stanovený výpočtem dle Harris-Benedictovy rovnice a korelovaný odpočtem převodnění z tělesné hmotnosti; [kcal·den⁻¹]

REE-IC – klidový energetický výdej experimentálně stanovený dle Weirovy rovnice na základě vyšetření indirektní kalorimetrií na principu dechové analýzy; [kcal·den⁻¹]

REE/kg – klidový energetický výdej vztažený na 1 kg tělesné hmotnosti bez odečtu převodnění; [kcal·kg⁻¹·den⁻¹]

REE/kg-OH – klidový energetický výdej vztažený na 1 kg tělesné hmotnosti po odečtu převodnění; [kcal·kg⁻¹·den⁻¹]

REE/kg LTM – klidový energetický výdej vztažený na 1 kg tělesná hmotnost bez nadbytečné tukové tkáně a nadbytečné extracelulární tekutiny; [kcal·kg⁻¹·den⁻¹]

* **P < 0,05** (Critical values for Pearson correlation)

** **P < 0,01** (Critical values for Pearson correlation)

Zatímco u ISS nebyla prokázána žádná korelace mezi ním a REE, u klasifikace APACHE II byly stanoveny korelace obdobné statistické významnosti mezi APACHE II : REE-HB-OH ($P < 0,05$) a REE/kg LTM ($P < 0,01$). (Tabulka 36)

Tabulka 37 popisuje vzájemný vztah mezi hodnotou REE a utilizací jednotlivých nutričních substrátů.

Tabulka 37 - Přehled vzájemných korelací mezi REE A a utilizací jednotlivých nutričních substrátů

	<i>CHO</i> <i>utilizace</i> [%]	<i>FAT</i> <i>utilizace</i> [%]	<i>PRO</i> <i>utilizace</i> [%]
REE-HB [kcal·den ⁻¹]	-0,436	0,513	-0,230
REE-HB-OH [kcal·den ⁻¹]	-0,416	0,733 *	-0,444
REE-IC [kcal·den ⁻¹]	-0,675 **	0,728 **	-0,278
IC/HB [%]	-0,330	0,421	-0,212
IC/HB-OH [%]	-0,526	0,304	0,121

OH – *Overhydration*; převodnění představující nefyziologický nadbytek tekutiny v těle; [kg]

REE-HB – bazální energetický výdej stanovený výpočtem dle Harris-Benedictovy rovnice; [kcal·den⁻¹]

REE-HB-OH – bazální energetický výdej stanovený výpočtem dle Harris-Benedictovy rovnice a korelovaný odpočtem převodnění z tělesné hmotnosti; [kcal·den⁻¹]

REE-IC – klidový energetický výdej experimentálně stanovený dle Weirovy rovnice na základě vyšetření indirektní kalorimetrie na principu dechové analýzy; [kcal·den⁻¹]

IC/HB – % vyjádření rozdílu hodnot klidového energetického výdeje stanovené pomocí indirektní kalorimetrie a hodnoty bazálního energetického výdeje stanoveného pomocí Harris-Benedictovy rovnice; [%]

IC/HB-OH – % vyjádření rozdílu hodnot klidového energetického výdeje stanovené pomocí indirektní kalorimetrie a hodnoty bazálního energetického výdeje stanoveného pomocí Harris-Benedictovy rovnice, kde byla od celkové hmotnosti pacienta odpočtena OH; [%]

* **P < 0,05** (*Critical values for Pearson correlation*)

** **P < 0,01** (*Critical values for Pearson correlation*)

Nejčastěji koreluje s mírou utilizace nutričních substrátů hodnota REE-IC. A to s mírou utilizace sacharidů ($P < 0,01$) a lipidů ($P < 0,01$). Statisticky významná korelace mezi REE a utilizací proteinů nebyla nalezena.

8.2.2 Statisticky nevýznamné korelace mezi REE a vybranými markery

Následující Tabulka 38 uvádí přehled statisticky nevýznamných korelací mezi REE a věkem či velikostí OH.

Tabulka 38 - Vliv věku a OH na REE

	<i>věk</i> [rok]	<i>OH</i> [l]
<i>REE-HB</i> [kcal·den ⁻¹]	-0,114	0,167
<i>REE-HB-OH</i> [kcal·den ⁻¹]	-0,023	0,014
<i>REE-IC</i> [kcal·den ⁻¹]	0,009	0,320
<i>IC/HB</i> [%]	0,042	0,098
<i>IC/HB-OH</i> [%]	-0,075	0,369

OH – Overhydration; převodnění představující nefyziologický nadbytek tekutiny v těle; [kg]

REE-HB – bazální energetický výdej stanovený výpočtem dle Harris-Benedictovy rovnice; [kcal·den⁻¹]

REE-HB-OH – bazální energetický výdej stanovený výpočtem dle Harris-Benedictovy rovnice a korelovaný odpočtem převodnění z tělesné hmotnosti; [kcal·den⁻¹]

REE-IC – klidový energetický výdej experimentálně stanovený dle Weirovy rovnice na základě vyšetření indirektní kalorimetrie na principu dechové analýzy; [kcal·den⁻¹]

IC/HB – % vyjádření rozdílu hodnot klidového energetického výdeje stanovené pomocí indirektní kalorimetrie a hodnoty bazálního energetického výdeje stanoveného pomocí Harris-Benedictovy rovnice; [%]

IC/HB-OH – % vyjádření rozdílu hodnot klidového energetického výdeje stanovené pomocí indirektní kalorimetrie a hodnoty bazálního energetického výdeje stanoveného pomocí Harris-Benedictovy rovnice, kde byla od celkové hmotnosti pacienta odpočtena OH; [%]

Překvapivým bylo zjištění nízké, statisticky nevýznamné, korelace mezi hodnotou REE-HB a věkem, který je jednou z proměnných v Harris-Benedictově rovnici. Vliv OH na energetický výdej nebyl statisticky významný.

8.2.3 Statisticky významné korelace mezi mírou utilizace nutričních substrátů a vybranými markery

Statisticky významné korelace mezi mírou utilizace nutričních substrátů a vybranými odvozenými antropometrickými markery uvádí Tabulka 39.

Tabulka 39 - Vliv BMI a BSA na míru utilizace nutričních substrátů

	BMI [kg·m ⁻²]	BSA [m ²]	hmotnost [kg]	hmotnost-OH [kg]
CHO <i>utilizace</i> [%]	-0,375	-0,487	-0,464	-0,431
FAT <i>utilizace</i> [%]	0,494	0,666 **	0,648 *	0,656 *
PRO <i>utilizace</i> [%]	-0,260	-0,367	-0,366	-0,347

BMI – Body Mass Index; index tělesné hmotnosti; [kg·m⁻²]

BSA – Body Surface Area; povrch těla; [m²]

CHO – utilizace sacharidů

FAT – utilizace tuků

PRO – utilizace proteinů

* **P < 0,05** (Critical values for Pearson correlation)

** **P < 0,01** (Critical values for Pearson correlation)

Jedinou statisticky velmi významnou korelací mezi mírou utilizace nutričních substrátů je FAT a BSA ($P < 0,01$). (Tabulka 39) Mezi další statisticky význačné korelace patří též vztah FAT a hmotnost či hmotnost-OH ($P < 0,05$). U žádného jiného nutričního substrátu nebyla prokázána významná statistická souvstažnost s vybranými markery uvedenými v Tabulce 39.

Vliv LTM na míru utilizace nutričních substrátů uvádí Tabulka 40.

Tabulka 40 - Vliv LTM na míru utilizace nutričních substrátů

	LTM [kg]
CHO <i>utilizace</i> [%]	-0,580 *
FAT <i>utilizace</i> [%]	0,392
PRO <i>utilizace</i> [%]	0,070

LTM – *Lean Tissue Mass*; tělesná hmotnost bez nadbytečné tukové tkáně a nadbytečné extracelulární tekutiny (LTM = FFM – OH); [kg]

CHO – *utilizace sacharidů*

FAT – *utilizace tuků*

PRO – *utilizace proteinů*

* $P < 0,05$ (*Critical values for Pearson correlation*)

Jediný statistický významný vztah byl prokázán mezi LTM a CHO ($P < 0,05$).

Ověření vztahu mezi odpadem dusíku a mírou utilizace jednotlivých nutričních substrátů popisuje Tabulka 41.

Tabulka 41 - Vliv odpadu dusíku v moči na míru utilizace nutričních substrátů

	UN [g·den ⁻¹]
CHO <i>utilizace</i> [%]	-0,424
FAT <i>utilizace</i> [%]	-0,410
PRO <i>utilizace</i> [%]	0,855 **

UN – *odpad dusíku urey* (stanoveno z moči); [g·den⁻¹]

CHO – *utilizace sacharidů*

FAT – *utilizace tuků*

PRO – *utilizace proteinů*

** $P < 0,01$ (*Critical values for Pearson correlation*)

Tabulka 41 uvádí pouze předpokládanou významnou korelaci mezi UN a PRO ($P < 0,01$).

Obdobně i Tabulka 42 uvádí významnou korelaci mezi mírou utilizace PRO a hodnotou ISS. Délka traumatu ani skóre APACHE II významně nekoreluje s mírou utilizace jednotlivých nutričních substrátů.

Tabulka 42 - Vliv polytraumatu na míru utilizace nutričních substrátů

	<i>délka trvání traumatu</i> [den]	<i>ISS</i> [-]	<i>APACHE II</i> [-]
CHO <i>utilizace</i> [%]	0,121	-0,069	-0,069
FAT <i>utilizace</i> [%]	-0,301	-0,445	0,435
PRO <i>utilizace</i> [%]	0,253	0,588 *	-0,237

ISS – Injury Severity Score; nejčastěji využívaný skórovací systém pro klasifikaci traumatu; [-]

APACHE II – Acute Physiology and Chronic Health Evaluation II; skórovací systém pro klasifikaci traumatu; [-]

CHO – utilizace sacharidů

FAT – utilizace tuků

PRO – utilizace proteinů

* $P < 0,05$ (Critical values for Pearson correlation)

8.2.4 Statisticky nevýznamné korelace mezi mírou utilizace nutričních substrátů a vybranými markery

Tabulky 43 předkládá souhrn statisticky nevýznamných korelací mezi utilizovanými nutričními substráty a pohlavím, věkem či velikostí OH (Tabulka 43).

Tabulka 43 - Vliv pohlaví, věku a OH na míru utilizace nutričních substrátů

	<i>pohlaví</i>	<i>věk</i> [rok]	<i>OH</i> [l]
CHO <i>utilizace</i> [%]	-0,275	-0,066	-0,170
FAT <i>utilizace</i> [%]	0,136	-0,056	0,030
PRO <i>utilizace</i> [%]	0,077	0,124	0,113

OH – Overhydration; převodnění představující nefyziologický nadbytek tekutiny v těle; [kg]

CHO – utilizace sacharidů

FAT – utilizace tuků

PRO – utilizace proteinů

8.3 T-test

Dvouvýběrový t-test s rovností rozptylů byl proveden pouze u vybraných markerů. Jejich přehled a výsledky analýzy jsou uvedeny v Tabulkách 44 až 46.

Do značné míry byly již výsledky t-testů popsány v souvislosti s výsledky popisné statistiky a korelační analýzy.

Tabulka 44 - T-test vybraných markerů

<i>hodnocený marker (M vs. F)</i>	χ^2	<i>P</i>
OH [-]	2,26	0,95
RQ [-]	2,18	0,25
npRQ [-]	2,18	0,11
REE-HB [kcal·den⁻¹]	2,18	0,004
REE-HB-OH [kcal·den⁻¹]	2,26	0,04
REE-IC [kcal·den⁻¹]	2,18	0,13
IC/HB [%]	2,18	0,38
IC/HB-OH [%]	2,26	0,32
REE/kg [kcal·kg⁻¹·den⁻¹]	2,18	0,48
REE/BSA [kcal·kg⁻¹·m²·den⁻¹]	2,18	0,31
REE/ kg LTM [kcal·kg⁻¹·den⁻¹]	2,26	0,32
CHO utilizace [%]	2,18	0,34
FAT utilizace [%]	2,18	0,64
PRO utilizace [%]	2,18	0,79

χ^2 – kritická hodnota

P – p-value

OH – *Overhydration*; převodnění představující nefyziologický nadbytek tekutiny v těle; [kg]

RQ – *Respiratory Quotient*; respirační koeficient; [-]

npRQ – *non-protein Respiratory Quotient*; nebílkovinný respirační koeficient; [-]

REE-HB – bazální energetický výdej stanovený výpočtem dle Harris-Benedictovy rovnice; [kcal·den⁻¹]

REE-HB-OH – bazální energetický výdej stanovený výpočtem dle Harris-Benedictovy rovnice a korelovaný odpočtem převodnění z tělesné hmotnosti; [kcal·den⁻¹]

REE-IC – klidový energetický výdej experimentálně stanovený dle Weirovy rovnice na základě vyšetření indirektní kalorimetrie na principu dechové analýzy; [kcal·den⁻¹]

IC/HB – % vyjádření rozdílu hodnot klidového energetického výdeje stanovené pomocí indirektní kalorimetrie a hodnoty bazálního energetického výdeje stanoveného pomocí Harris-Benedictovy rovnice; [%]

IC/HB-OH – % vyjádření rozdílu hodnot klidového energetického výdeje stanovené pomocí indirektní kalorimetrie a hodnoty bazálního energetického výdeje stanoveného pomocí Harris-Benedictovy rovnice, kde byla od celkové hmotnosti pacienta odpočtena OH; [%]

REE/kg – klidový energetický výdej vztažený na 1 kg tělesné hmotnosti bez odečtu převodnění; [kcal·kg⁻¹·den⁻¹]
REE/BSA – klidový energetický výdej vztažený na povrch těla bez odečtu převodnění; [kcal·kg⁻¹·m²·den⁻¹]
REE/kg LTM – klidový energetický výdej vztažený na 1 kg tělesná hmotnost bez nadbytečné tukové tkáně a nadbytečné extracelulární tekutiny; [kcal·kg⁻¹·den⁻¹]
CHO – utilizace sacharidů
FAT – utilizace tuků
PRO – utilizace proteinů

Prostřednictvím t-testu nebyla prokázána, s výjimkou 2 markerů, statisticky významná hladina významnosti v porovnání mezi muži a ženami.

Signifikance byla mezi pohlavími statisticky významná pouze u porovnání hodnoty REE-HB ($P = 0,004$) a REE-HB-OH ($P = 0,04$). Z tohoto důvodu byla provedena samostatná popisná statistika (muži : ženy) pro tyto markery (Tabulka 29) doplněná o grafické vyjádření průměrné hodnoty REE-HB, REE-HB-OH a REE-IC v Grafu 2.

Vzájemný vztah mezi REE zvláště u mužů a žen uvádí Tabulka 45.

Tabulka 45 - T-test vybraných markerů REE

hodnocený marker (bez vs. po odpočtu OH)	χ^2	P
REE-HB [kcal·den ⁻¹]	2,13	0,81
REE-HB [kcal·den ⁻¹]	2,45	0,76
IC/HB [%]	2,13	0,90
IC/HB [%]	2,45	0,28
REE/kg [kcal·kg ⁻¹ ·den ⁻¹]	2,07	0,66
REE/BSA [kcal·kg ⁻¹ ·m ² ·den ⁻¹]	2,07	0,99

(modře) – muži

(červeně) – ženy

χ^2 – kritická hodnota

P – p-value

OH – Overhydration; převodnění představující nefyziologický nadbytek tekutiny v těle; [kg]

REE-HB – bazální energetický výdej stanovený výpočtem dle Harris-Benedictovy rovnice; [kcal·den⁻¹]

REE-IC – klidový energetický výdej experimentálně stanovený dle Weirovy rovnice na základě vyšetření indirektní kalorimetrií na principu dechové analýzy; [kcal·den⁻¹]

IC/HB – % vyjádření rozdílu hodnot klidového energetického výdeje stanovené pomocí indirektní kalorimetrie a hodnoty bazálního energetického výdeje stanoveného pomocí Harris-Benedictovy rovnice; [%]

REE/kg – klidový energetický výdej vztažený na 1 kg tělesné hmotnosti bez odečtu převodnění; [kcal·kg⁻¹·den⁻¹]

REE/BSA – klidový energetický výdej vztažený na povrch těla bez odečtu převodnění; [kcal·kg⁻¹·m²·den⁻¹]

Jak je z Tabulky 45 zřejmé, nebyla prokázána statisticky podstatná hladina významnosti mezi hodnotami REE stanoveného bez a s odpočtem OH. A to jak u mužů, tak i u žen. Graficky míru takto stanoveného energetického výdeje a jejich poměr vyjadřuje též výše uvedený Graf 2.

Zásadní přínos má Tabulka 46, která uvádí vzájemný vztah mezi hodnotami energetického výdeje stanovenými různými metodami – výpočtem pomocí Harris-Benedictovy rovnice s i bez odpočtu OH a metodou indirektní kalorimetrie.

Tabulka 46 - T-test vztahu mezi hodnotou REE-IC a REE-HB či REE-HB-OH

hodnocený marker (REE-IC vs.)	χ^2	P
REE-HB [kcal·den ⁻¹]	2,12	0,01
REE-HB [kcal·den ⁻¹]	2,31	0,09
REE-HB-OH [kcal·den ⁻¹]	2,13	0,007
REE-HB-OH [kcal·den ⁻¹]	2,45	0,22

(modře) – muži

(červeně) – ženy

χ^2 – kritická hodnota

P – p-value

OH – *Overhydration*; převodnění představující nefyziologický nadbytek tekutiny v těle; [kg]

REE-HB – bazální energetický výdej stanovený výpočtem dle Harris-Benedictovy rovnice; [kcal·den⁻¹]

REE-IC – klidový energetický výdej experimentálně stanovený dle Weirovy rovnice na základě vyšetření indirektní kalorimetrií na principu dechové analýzy; [kcal·den⁻¹]

T-testem byla prokázána statisticky významná odchylka mezi hodnotami REE-HB a REE-IC ($P = 0,01$), a REE-HB-OH a REE-IC ($P = 0,007$) pouze u mužů.

9 Diskuse

Tato práce si kladla za cíl stanovit a vyhodnotit energetický výdej (REE) a využití nutričních substrátů u polytraumatizovaných pacientů na JIP metodou indirektní kalorimetrie (IC) a predikční rovnice dle Harrise a Bennedicta.

Naši populaci tvořilo 14 pacientů (9 mužů a 5 žen) ve věku od 15 do 70 let, bez febrilií, s velmi širokým spektrem míry poranění (ISS 41 ± 16) a průměrnou délkou trvání traumatu $16,5 \pm 14,5$ dne. Díky tomu byla tato populace do jisté míry nesourodá, poskytla nám ale komplexní přehled o polytraumatizovaných pacientech na JIP, což lze chápat jako velmi přínosné.

Charakter a míra poranění všech do studie zahrnutých pacientů odpovídaly dle rozsahu a míry poranění klasifikaci polytraumatu dle jeho definice i klasifikace ISS (Drábková, 2002). 10 pacientů bylo účastníky dopravní nehody, u všech pacientů byla hodnota ISS ≥ 25 .

Průměrný klidový energetický výdej byl stanoven na $2241,38 \pm 854,27$ kcal·den⁻¹. U 12 ze 14 pacientů byl prokázán, dle kritéria Makka et al., hypermetabolismus, který jej definuje jako REE > 110 % BEE stanoveného pomocí predikční rovnice (Makk et al., 1990). Dle přísnější definice Frankenfielda et al. z roku 1997 (REE > 115 % BEE) se v hypermetabolismu nacházelo pouze 10 pacientů.

Nárůst energetického výdeje činil u naší populace v průměru, vzhledem k fyziologickému stavu, $+ 38,09 \pm 49,09$ %. Takový nárůst lze dle literatury (Miles, 2006) očekávat při těžkém traumatu či infekci, sepsi nebo po chirurgickém výkonu. Naopak pokles může naznačovat nejen setrvání v hypometabolismu (Zadák, 2008), vyčerpání organismu či sedaci (Hronek et Zadák, 2011; Máček et Radvanský, 2011), ale může též signalizovat malnutrici (Housová et al., 2010).

Ve shodě s literaturou (Hronek et Zadák, 2011) byl zaznamenán vyšší průměrný REE-IC u mužů ($2417,5 \pm 585,5$ kcal·den⁻¹) než u žen ($2241,5 \pm 854,5$ kcal·den⁻¹). Mezi hodnotou REE-IC a REE-HB byla určena statisticky významná korelace ($P < 0,05$). T-test ale prokázal statisticky významný rozdíl mezi REE-IC a REE-HB pouze u mužů ($P = 0,01$). Statisticky významný rozdíl mezi IC/HB u mužů a žen nebyl prokázán ($P = 0,38$). Literatura je o tomto faktu zdrženlivá. Většina studií i meta-analýz (Miles, 2006), však hodnotí IC/HB nezávisle na pohlaví.

Významné korelace bylo pochopitelně dosaženo mezi REE-HB a pohlavím pacienta ($P = 0,004$). Naopak zarážející byla neprokázaná korelace mezi REE-HB a věkem pacienta. Obě tyto proměnné totiž vystupují v Harris-Benedictově rovnici (Hronek et Zadák, 2011).

Cílem práce bylo též posoudit míru vlivu převodnění (OH), stanoveného pomocí BCM, na změnu REE a utilizaci nutričních substrátů. Převodnění, typicky doprovázející hypermetabolickou fází šoku (Monk, 1996; Zadák, 2008), bylo zaznamenáno u 9 z 11 pacientů ($7,45 \pm 6,85$ l), u kterých bylo stanovení provedeno.

Jako statisticky významný byl prokázán vztah mezi REE určeným pomocí Weirovy rovnice a dle Harris-Benedictovy rovnice bez ($P = 0,01$) i s odpočtem OH ($P = 0,007$) pouze u mužů. Kalkulace REE s odpočtem OH sice vedla k zpřesnění výsledků, statisticky však v naší populaci pacientů nebyla významná ($P = 0,95$). Vliv OH na IC/HB ani utilizaci nutričních substrátů nebyl námi prokázán, a nebyl uváděn ani v literatuře.

V této práci byla prokázána významná korelace mezi mírou utilizace nutričních substrátů a hodnotou REE-IC. Tento vztah v dostupné literatuře neby doposud popsán. S překvapením nebyla prokázána statisticky významná korelace pouze mezi REE-IC a utilizací proteinů, která je ve flow fázi šoku významně zvýšená (Zadák, 2008). Statisticky významná korelace byla ale prokázána mezi REE-IC a utilizací sacharidů ($P < 0,01$) a lipidů ($P < 0,01$).

Uehara et al. uvádějí ve své studii z roku 1999 u polytraumatizovaných pacientů v 2. týdnu od inzultu energetickou potřebu 50 až 60 kcal·kg⁻¹·den⁻¹. U našich pacientů (průměrná délka trvání traumatu 12,6 dne) tento výdej činil $27,82 \pm 9,89$ kcal·kg⁻¹·den⁻¹. Takovýto nález blíže koreluje se zjištěním Holečka (Holeček, 2006) a Musila (Musil, 2002), kteří energetický výdej u polytraumatizovaných pacientů shodně vyčíslili na 10 až 50 kcal·kg⁻¹·den⁻¹. Statisticky významný rozdíl mezi hodnotami stanovenými u mužů a u žen nebyl prokázán ($P = 0,480$).

Energetický výdej vztážený na BSA byl u našich pacientů ($1,985 \pm 0,425$ m²) stanoven na $1155,32 \pm 323,26$ kcal·m⁻²·den⁻¹. Byl tedy oproti fyziologickým hodnotám, které činí u mužů 957 kcal·m⁻²·den⁻¹ a u žen 859 kcal·m⁻²·den⁻¹ (Holeček, 2006), zvýšen. Byla prokázána významná korelace mezi REE-IC a BSA ($P < 0,01$), t-testem ale nebyl prokázán statisticky významný rozdíl hodnoty REE/BSA mezi pohlavími ($P = 0,31$), proto byla celá naše populace, stejně jako při statistickém zpracování REE/kg, hodnocena jednotně.

Hodnota REE/kg LTM byla u naší populace stanovena na $53,36 \pm 18,87 \text{ kcal}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{den}^{-1}$. Statisticky významný interindividuální rozdíl mezi jeho hodnotou u mužů a u žen nebyl prokázán ($P = 0,318$). Svendsen et al. ale upozorňují na fakt bližší korelace mezi REE a LTM trupu ($P < 0,05$) než LTM celého těla (Sevendse et al., 1993), tak, jak jsme ho stanovovali my. Faktem ale zůstává, že i nám se podařilo prokázat statisticky významnou provázanost mezi REE-IC a LTM ($P < 0,05$).

V rozporu s Kinneyho poznatky publikovanými již v 60. let minulého století (Zadák, 2008) se nám nepodařilo prokázat statisticky významnou korelaci mezi REE-IC a morbiditou, jejíž závažnost jsme vyjádřili formou ISS. Podpořeno bylo ale zjištění Methaa et al. z roku 2009, kdy nebyla prokázána žádná statisticky významná korelace mezi energetickým metabolismem pacienta a jeho klinickým stavem. Tato studie byla ale provedena na pacientech ve věku od 2 měsíců do 32 let. Podobně ani Brandi et al. ve své studii z roku 1999 neprokázali statisticky významnou korelaci mezi ISS a REE.

V naší populaci byla prokázána i zvýšená spotřeba inspirovaného kyslíku ($0,335 \pm 0,135 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$) typická pro hypermetabolismus, stejně jako zvýšený odpad dusíku v moči za 24 hodin ($48,71 \pm 33,92 \text{ g}\cdot\text{den}^{-1}$), tak, jak to uvádí řada literárních zdrojů (Monk et al., 1996; Zadák, 2008). Hodnota respiračního koeficientu (RQ) ($0,86 \pm 0,22$) se podobně jako hodnota neproteinového RQ (npRQ) ($0,785 \pm 0,225$), pohybovala ve standardním rozmezí 0,65 až 1,25 (Forrette, 2005). Pouze 1 z hodnot npRQ i pod ním (0,56). Byla však jediná, která byla mimo tento interval. Námi provedená vyšetření lze proto označit za korektní (v steady-state). Míra korelace mezi RQ u mužů a žen ($P = 0,25$), shodně jako u npRQ ($P = 0,11$), byla statisticky nevýznamná. Pro doplnění uvádím poznatek Lyona et al., kteří prokázali u obézních jedinců nižší hodnotu RQ ($< 0,70$) oproti jedincům normostenickým. RQ dále při jejich hladovění klesal až na 0,653 (Lyon et al., 1932). U naší populace ($\text{BMI} = 27,5 \pm 9,4 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$) byla průměrná hodnota RQ stanovena na 0,82. Pro porovnání změny hodnoty RQ by bylo ale třeba vyšetření zopakovat nejdříve za 24 hodin.

Průměrný vzájemný poměr mezi preferencí jednotlivých nutričních substrátů v pořadí sacharidy : lipidy : proteiny byl u celé populace stanoven v poměru 20 : 36 : 40. Toto zjištění pak odpovídá popisu hypermetabolické flow fáze, kdy dochází k zvýšené utilizaci zejm. proteinů, a posléze i lipidů, jako významných zdrojů energie (Zadák, 2008; Jeevanandam,

1990). Nízkou utilizací sacharidů lze vysvětlit glukózovou intolerancí spojenou s inzulínovou rezistencí (Zadák, 2008; Bartůňková, 2010).

U mužů byly preferovány zejm. proteiny a lipidy (16 : 39 : 45), u žen pouze proteiny (27 : 31 : 42). Tomuto stavu do jisté míry odpovídá i predikce preference nutričních substrátů dle npRQ. U mužů jsou dle průměrné hodnoty npRQ (0,766) preferovány vskutku proteiny, u žen (0,843) má míra utilizace [%] ve směru sacharidy – lipidy – proteiny rovnoměrně vzrůstající trend. Organismem žen jsou preferovány ale zejm. tuky, a nejedná se proto o ryze smíšený metabolismus těchto substrátů jak to naznačuje hodnota npRQ. Z tohoto vyplývá, že samotná hodnota npRQ má pouze obecnou, nikoliv ryze exaktní, informační funkci. Její znalost je ale bezpodmínečně nutná pro přesné stanovení utilizace jednotlivých nutričních substrátů.

Statisticky významná korelace byla stanovena mezi utilizací sacharidů a LTM ($P < 0,05$), utilizací lipidů a BSA ($P < 0,01$), hmotností pacienta ($P < 0,05$), a pochopitelně mezi utilizací proteinů a odpadem dusíku v moči za 24 hodin ($P < 0,01$).

Statisticky významná korelace mezi mírou utilizace proteinů a ISS ($P < 0,05$) může vyjadřovat mohutnost reakce organismu na poranění. Zvýšená utilizace proteinů je spojena nejen s potřebou hrazení energetického výdeje organismu, ale též se syntézou proteinů akutní fáze zánětu, protilátek a stavebních elementů nutných pro reparaci poškozené tkáně (Monk, 1996; Zadák, 2008; Bartůňková, 2010)

Pro účely nutriční intervence byly u naší populace jako významné prokázány korelace mezi REE-IC a utilizací lipidů ($P < 0,01$) a sacharidů ($P < 0,01$).

Práce prokázala, že vlivem polytraumatem indukovaného katabolismu dochází ke zvýšení nároků organismu na hrazení energetických ztrát. Zde se pak nabízí možnost – nutnost tyto požadavky saturovat formou nutriční intervence, a odvrátit tak rizika spojená s polytraumatickým stavem. Zadák však uvádí, že na rozdíl od prostého hladovění, nelze stresové hladovění, ke kterému dochází při polytraumatu, odvrátit pouze nutriční intervencí (Zadák, 2008).

Jak bylo ale v této i dalších studiích prokázáno, odhad energetické potřeby, tím spíše poměru jednotlivých energetických substrátů, není snadný. Tuzemské i zahraniční studie (Kross, 2012; Neelemaat, 2012; Aimová, 2012) poukazují na nespolehlivost predikčních rovnic

či tabelovaných hodnot. Přesto literatura (Frankenfield et al., 2007; Tichá, 2011; Kross, 2012) uvádí jako jednu z nejvhodnějších predikčních rovnic u polytraumatizovaných pacientů rovnici Ireton-Johnstonovu z roku 1997. Naopak Harris-Benedictova rovnice je, ač v klinické praxi hojně využívána, do značné míry nevyhovující (REE-IC a REE-HB $P < 0,05$; REE-IC a REE-HB statisticky významná hladina významnosti pouze u mužů: $P = 0,01$), neboť nikterak nezohledňuje aktuální stav pacienta, což prokázala i Brandiho et al. práce z roku 1999.

Při indikaci klinické výživy je třeba zohlednit též skutečnost, že podhodnocený či nadměrný přísun potravy (overfeeding) pro pacienta v kritickém stavu na základě pouhých odhadů představuje významnou zátěž (Coss-Bu et al. 2001). Proto je třeba stanovit energetickou potřebu co možná nejpřesněji, což významně snižuje riziko morbidit a mortality, jak to např. prokázali ve své studii z roku 2013 Sero-Arbeloa et al.

Jelikož reakce každého organismu bez ohledu na pohlaví je vysoce individuální, je pro nasazení odpovídající nutriční podpory nezbytné stanovení konkrétního energetického výdeje a individuální utilizace nutričních substrátů.

Z výše uvedeného a získaných výsledků z pilotní studie *Nutrlcu* je patrné, že indirektní kalorimetrie má na JIP své opodstatněné a nezastupitelné místo. To potvrzuje i studie Conneyho z roku 2012.

10 Závěr

Polytraumatizovaní pacienti jsou až v 65 % ohroženi malnutricí, která často přispívá k rozvoji komplikací a tedy zhoršení prognózy, prodloužení délky hospitalizace či přímo smrti pacienta.

Vlivem polytraumatu dochází ke zvýšení klidového energetického výdeje (REE). Jeho přesné určení, tím spíše stanovení míry utilizace jednotlivých nutričních substrátů, není ale snadné. Jak ukazují tuzemské i zahraniční studie (Kross, 2012; Neelemaat, 2012; Aimová, 2012), nelze se spolehnout na odhady z predikčních rovnic či tabelované hodnoty. Nejspolehlivější exaktní metodou pro tato stanovení zůstává indirektní kalorimetrie (IC). (Hronek et Zadák, 2011; Cooney, 2012)

12 ze 14 námi vyšetřovaných polytraumatických pacientů na JIP vykazovalo hypermetabolismus (celá populace: $REE = 2241,38 \pm 854,27 \text{ kcal} \cdot \text{den}^{-1}$). Nejfrekventovanější nárůst REE oproti jeho fyziologické hodnotě (IC/HB) se pohyboval v intervalu +10 až +19 % (4 pacienti) a +40 až +49 % (3 pacienti). T-testem nebyla prokázána statistická významnost mezi IC/HB u mužů a žen ($P = 0,13$). Jako statisticky významný byl ale u mužů prokázán vztah mezi REE určeným pomocí Weirovy rovnice (REE-IC) a odhadem dle Harris-Benedictovy rovnice bez ($P = 0,01$) i s odpočtem OH ($P = 0,007$).

Pro klinickou praxi významné korelace byly prokázány mezi REE-IC a BSA ($P < 0,01$), s LTM ($P < 0,05$), s utilizací sacharidů ($P < 0,01$) a s utilizací lipidů ($P < 0,01$). V rozporu s některými studii nebyla prokázána u naší populace statisticky významná korelace mezi REE-IC a ISS.

Vzájemný poměr mezi preferencí jednotlivých nutričních substrátů v pořadí sacharidy : lipidy : proteiny byl u mužů stanoven v průměru 16 : 39 : 45, u žen 27 : 31 : 42. Statisticky významná korelace byla stanovena mezi utilizací sacharidů a LTM ($P < 0,05$), utilizací lipidů a BSA ($P < 0,01$) a hmotností pacienta ($P < 0,05$), a pochopitelně mezi utilizací proteinů a odpadem dusíku v moči za 24 hodin ($P < 0,01$) a ISS ($P < 0,05$).

Vliv převodnění (OH), stanoveného pomocí BCM, na změnu REE nebyl statisticky významný ($P = 0,95$). Kalkulace REE s odpočtem OH vedla pouze k dílčímu zpřesnění výsledků.

Z klinických zjištění vyplývá, že je nutné, pro odvrácení výše uvedených rizik spojených s polytraumatickým stavem, energetické potřeby polytraumatem postiženého organismu saturovat. Toho je docilováno intenzivní metabolickou podporou (IMS).

Tato práce popsala u populace čítající 14 spontánně dýchajících polytraumatických pacientů energetický výdej a preference utilizace nutričních substrátů. Nabízí se též otázka, jaká je situace u pacientů s řízenou ventilací. To může být předmětem dalšího šetření a stejně tak i dílčím přínosem pro klinickou praxi.

Abstrakt

Cílem této práce bylo stanovit a vyhodnotit klidový energetický výdej (REE) a využití nutričních substrátů u 14 polytraumatizovaných pacientů na JIP. Posuzována byla též míra vlivu převodnění (OH) na přesnost stanovení.

Vyšetření metodou indirektní kalorimetrie (IC) bylo provedeno u 9 mužů a 5 žen (věk 30 ± 15 let; BMI $27,5 \pm 9,4$ kg·m⁻²) s polytraumatem (ISS 41 ± 16). K zpřesnění stanovení velikosti REE a míry využití nutričních substrátů bylo využito rovnic odvozených od rovnice Weirovy, nikoliv softwaru kalorimetru. Pomocí IC byly stanoveny pouze objemy inspirovaného kyslíku a expirovaného oxidu uhličitého. Pro určení míry OH bylo využito metody bioimpedanční analýzy pomocí BCM.

Téměř 86 % (8 mužů a 4 ženy) vyšetřovaných pacientů vykazovalo hypermetabolismus. Průměrná hodnota REE činila $2241,38 \pm 854,27$ kcal·den⁻¹, což představovalo průměrný nárůst od predikce o $+ 38,09 \pm 49,09$ % vzhledem k fyziologickému stavu. Jako statisticky významný byl prokázán vztah mezi REE určeným pomocí Weirovy rovnice a dle Harris-Benedictovy rovnice bez ($P = 0,01$) i s odpočtem OH ($P = 0,007$) pouze u mužů.

Pro klinickou praxi významné korelace byly prokázány mezi REE-IC a BSA ($P < 0,01$), LTM ($P < 0,05$), využití sacharidů ($P < 0,01$) a využití lipidů ($P < 0,01$).

U mužů jsme prokázali zvýšenou využití proteinů a lipidů, u žen pouze proteinů. Statisticky významná korelace byla stanovena mezi využití sacharidů a LTM ($P < 0,05$), využití lipidů a BSA ($P < 0,01$), hmotností pacienta ($P < 0,05$), a pochopitelně mezi využití proteinů a odpadem dusíku v moči za 24 hodin ($P < 0,01$) a ISS ($P < 0,05$).

Kalkulace REE s odpočtem OH sice vedla k zpřesnění výsledků, statisticky však v naší populaci pacientů nebyla významná ($P = 0,95$). Práce prokázala, že indirektní kalorimetrie má na JIP nezastupitelné místo k nasazení korektní nutriční podpory.

Klíčová slova: polytrauma, klidový energetický výdej, indirektní kalorimetrie, Harris-Bennedictova rovnice, využití nutričních substrátů, převodnění

Výzkum byl finančně podpořen Výzkumným záměrem MZO 00179906.

Abstract

The aim of this study was to determine and evaluate resting energy expenditure (REE) and the utilization of nutritional substrates in 14 polytrauma patients in the ICU. Was also assessed level of impact Overhydration (OH) on the accuracy of the determination.

Diagnostic investigations using indirect calorimetry (IC) was performed in 9 men and 5 women (age 30 ± 15 years, BMI 27.5 ± 9.4 kg·m⁻²) with polytrauma (ISS 41 ± 16). For more accurate sizing of REE and extent of utilization of nutritional substrates were used equations derived from the equation of Weir, not Software calorimeter. Using IC volumes were determined only inspired and expired oxygen and carbon dioxide. To determine the rate of OH was used bioimpedance analysis methods using BCM.

Almost 86% (8 men and 4 women) examined patients showed hypermetabolism. Average REE value was 2241.38 ± 854.27 kcal·day⁻¹, which represented an average increase of prediction of $38.09 \pm 49.09\%$ due to the physiological condition. A statistically significant relationship was demonstrated between REE determined using the Weir equation according and the Harris-Benedict equation without ($P = 0,01$) with deduction of OH ($P = 0,007$) only in men.

In clinical practice, significant correlations were established between the REE-IC and BSA ($P < 0,01$), LTM ($P < 0,05$), carbohydrate utilization by ($P < 0,01$) and lipid ($P < 0,01$).

For men, we have demonstrated an increased utilization of proteins and lipids in women only proteins. A statistically significant correlation was established between the utilization by carbohydrates and LTM ($P < 0,05$), and lipid utilization and BSA ($P < 0,01$), weight of the patient ($P < 0,05$), and of course the utilization by proteins and waste nitrogen in urine for 24 hours ($P < 0,01$) and ISS ($P < 0,05$).

Calculation of REE deduction OH Although led to more accurate results, but statistically in our patient population was not significant ($P = 0,95$). The work showed that indirect calorimetry in the ICU has an irreplaceable role to deploy proper nutritional support.

Keywords: polytrauma, resting energy expenditure, indirect calorimetry, Harris-Bennedict equation, utilization of nutritional substrates, Overhydration

The research was financially supported by the Research Plan MZO 00179906.

Použité zkratky

zkratka	význam zkratky	český význam
A	<i>Age</i>	věk [rok]
AF	<i>Activity Factor</i>	faktor aktivity [-]
APACHE II	<i>Acute Physiology and Chronic Health Evaluation II</i>	(klasifikační systém pro polytrauma)
ATM	<i>Adipose Tissue Mass</i>	tuková tkáň vč. vázané vody [kg]
B	<i>Burn</i>	popálenina
BCM	<i>Body Composition Monitor</i>	monitor složení těla
BEE	<i>Basal Energy Expenditure</i>	bazální energetický výdej [kcal/den]
BIA	<i>Bioelectrical Impedance Analysis</i>	bioelektrická impedanční analýza (těla)
BMI	<i>Body Mass Index</i>	index tělesné hmotnosti; [kg·m ⁻²]
BMI-OH	-	index tělesné hmotnosti korigovaný odpočtem převodnění z tělesné hmotnosti; [kg·m ⁻²]
BSA	<i>Body Surface Area</i>	povrch těla [m ²]
BSA-OH	-	povrch těla korelovaný odpočtem převodnění z tělesné hmotnosti; [m ²]
CO ₂	<i>carbon dioxide</i>	molekula oxidu uhličitého
EE	<i>Energy Expenditure</i>	energetický výdej [kcal·den ⁻¹]
FAT	-	utilizace tuků [g·den ⁻¹]
FAT_K	-	utilizace sacharidů [kcal·den ⁻¹]
FFM	<i>Fat Free Mass</i>	tukuprostá tkáň [kg]
FiO ₂	fraction of inspired oxygen O ₂	inspirační koncentrace kyslíku O ₂
GIT	<i>Gastro-Intestinal Tract</i>	gastrointestinální systém
H	<i>High</i>	výška [m]
χ ²	-	kritická hodnota (statistika)
hmotnost-OH	-	tělesná hmotnost bez převodnění; [kg]
CHO	-	utilizace sacharidů [g·den ⁻¹]
CHO_K	-	utilizace sacharidů [kcal·den ⁻¹]
I	<i>Injury</i>	poranění
IC	<i>Indirect Calorimetry</i>	indirektní (nepřímá) kalorimetrie
IF	<i>Injury Factor</i>	faktor poškození [-]

Použité zkratky (pokračování)

zkratka	význam zkratky	český význam
IMS	Intensive Metabolic Support	intenzivní metabolická podpora
ISS	<i>Injury Severity Score</i>	(klasifikační systém pro polytrauma)
JIP	-	jednotka intenzivní péče
LTM	<i>Lean Tissue Mass</i>	netuková tkáň vč. vázané vody [kg]
MODS	<i>Multiple Organ Dysfunction Syndrome</i>	syndrom multiorgánové dysfunkce
npRQ	<i>non protein Respiratory Quotient</i>	neproteinový respirační koeficient [-]
O	<i>Obesity</i>	obezita
O₂	<i>oxygen</i>	molekula kyslíku
OH	<i>Overhydration</i>	nadbytečný objem tekutiny (v těle)
P	-	p-value
PAF	<i>acute phase reactants (APR's)</i>	proteiny akutní fáze
PRO	-	utilizace proteinů [g·den ⁻¹]
PRO_K	-	utilizace sacharidů [kcal·den ⁻¹]
REE	<i>Resting Energy Expenditure</i>	klidový energetický výdej [kcal·den ⁻¹]
REE/BSA	-	klidový energetický výdej vztažený na povrch těla bez odečtu převodnění; [kcal·m ² ·den ⁻¹]
REE/BSA-OH	-	klidový energetický výdej vztažený na povrch těla po odečtu převodnění; [kcal·m ² ·den ⁻¹]
REE-HB	-	bazální energetický výdej stanovený výpočtem dle Harris-Benedictovy rovnice; [kcal·den ⁻¹]
REE-HB-OH	-	bazální energetický výdej stanovený výpočtem dle Harris-Benedictovy rovnice a korelovaný odečtem převodnění z tělesné hmotnosti; [kcal·den ⁻¹]
REE-IC	-	klidový energetický výdej experimentálně stanovený dle Weirovy rovnice na základě vyšetření indirektní kalorimetrií na principu dechové analýzy; [kcal·den ⁻¹]

Použité zkratky (pokračování)

zkratka	význam zkratky	český význam
REE/kg	-	klidový energetický výdej vztažený na 1 kg tělesné hmotnosti bez odečtu převodnění; [kcal·kg ⁻¹ ·den ⁻¹]
REE/kg-OH	-	klidový energetický výdej vztažený na 1 kg tělesné hmotnosti po odečtu převodnění; [kcal·kg ⁻¹ ·den ⁻¹]
REE/kg LTM	-	klidový energetický výdej vztažený na 1 kg tělesná hmotnost bez nadbytečné tukové tkáně a nadbytečné extracelulární tekutiny; [kcal·kg ⁻¹ ·den ⁻¹]
RQ	<i>Respiratory Quotient</i>	respirační koeficient [-]
S	<i>Sex</i>	pohlaví
SD	<i>Standard Deviation</i>	směrodatná odchylka
SE	<i>Experimental Standard Deviation</i>	výběrová směrodatná odchylka
SIRS	<i>Systemic Inflammatory Response Syndrome</i>	systémová zánětlivá reakce
TF	<i>Temperature Factor</i>	faktor teploty [-]
TOT_KCAL	-	celkový energetický výdej vycházející z utilizace nutričních substrátů [kcal·den ⁻¹]
U	-	odpad urey v moči za 24 hodin [mmol·l ⁻¹]
V	-	objem moči za 24 hodin [l]
VCO ₂	<i>Carbon Dioxide Production</i>	objem vydechaného oxidu uhličitého; [l·den ⁻¹]
VO ₂	<i>Oxygen Consumption</i>	objem vdechovaného kyslíku; [l·den ⁻¹]
W	<i>Weight</i>	hmotnost [kg]
WHO	<i>World Health Organization</i>	světová zdravotnická organizace

Seznam tabulek

Tabulka 1 - Faktory ovlivňující bazální energetický výdej	10
Tabulka 2 - Reakce zdravého organismu na fyzickou inaktivitu.....	11
Tabulka 3 - Reakce organismu na stres v jeho 1. fázi – fázi alarmové (poplachové)	13
Tabulka 4 - Reakce organismu na infekci jako stresové agens.....	17
Tabulka 5 - Reakce organismu na kritický stav.....	18
Tabulka 6 - Malnutrice – Rizikové skupiny pacientů	19
Tabulka 7 - Základní rozdíly mezi prostým a stresovým hladověním.....	21
Tabulka 8 - Laboratorní a klinické rozdíly mezi prostým a stresovým hladověním	22
Tabulka 9 - Vztah mezi hodnotou ISS a mírou poranění či prognózou přežití	27
Tabulka 10 - Vztah mezi hodnotou APACHE II a mírou úmrtnosti	28
Tabulka 11 - Metabolické změny a změny vnitřního prostředí v jednotlivých fázích stresové reakce.	29
Tabulka 12 - Faktor poškození (IF) uvažovaný při výpočtu AEE	33
Tabulka 13 - Faktor aktivity (AF) uvažovaný při výpočtu AEE	33
Tabulka 14 - Faktor teploty (TF) uvažovaný při výpočtu AEE	33
Tabulka 15 - Základní předpoklady metody stanovení REE a utilizace nutričních substrátů pomocí IC39	
Tabulka 16 - Základní podmínky vyšetření pacienta pomocí IC	40
Tabulka 17 - Ideální a akceptovatelné podmínky pro měření IC.....	40
Tabulka 18 - Obvyklé hodnoty VO_2 , VCO_2 a RQ při měření IC	41
Tabulka 19 - Možnosti vyjádření REE	44
Tabulka 20 - Spalné teplo, RQ a množství spotřebovaného O_2 a vytvořeného CO_2 při utilizaci jednotlivých nutričních substrátů.....	46
Tabulka 21 - Stechiometrie chemických reakcí oxidace jednotlivých nutričních substrátů.....	46
Tabulka 22 - Preference nutričních substrátů organismem dle hodnoty npRQ.....	47
Tabulka 23 - Možnosti vyjádření utilizace nutričních substrátů.....	51
Tabulka 24 - Množství vody uvolněné oxidací substrátů	51
Tabulka 25 - Základní charakteristika pacientů	56
Tabulka 26 - Hodnota LTM, OH a hodnoty odvozené od antropometrických charakteristik pacientů	57
Tabulka 27 - Charakteristika traumatu pacientů.....	58
Tabulka 28 - Hodnota UN, VO_2 a VCO_2 stanovené u spontánně dýchajících pacientů	61
Tabulka 29 - Energetický výdej.....	63
Tabulka 30 - REE vztažený na vybrané antropometrické parametry	67
Tabulka 31 - Utilizace nutričních substrátů.....	69
Tabulka 32 - Přehled vzájemných korelací mezi uvedenými parametry klidového energetického výdeje vyjádřených hodnotou P.....	71
Tabulka 33 - Vliv pohlaví na REE.....	72
Tabulka 34 - Přehled vzájemných korelací mezi uvedenými parametry klidového energetického výdeje, BSA a BMI vyjádřených hodnotou P	73
Tabulka 35 - Vliv LTM na REE	74
Tabulka 36 - Vliv délky traumatu, ISS a APACHE skóre na REE.....	75
Tabulka 37 - Přehled vzájemných korelací mezi REE A a utilizací jednotlivých nutričních substrátů ...	76
Tabulka 38 - Vliv věku a OH na REE	77
Tabulka 39 - Vliv BMI a BSA na míru utilizace nutričních substrátů.....	78
Tabulka 40 - Vliv LTM na míru utilizace nutričních substrátů	79

Tabulka 41 - Vliv odpadu dusíku v moči na míru utilizace nutričních substrátů	79
Tabulka 42 - Vliv polytraumatu na míru utilizace nutričních substrátů	80
Tabulka 43 - Vliv pohlaví, věku a OH na míru utilizace nutričních substrátů	80
Tabulka 44 - T-test vybraných markerů.....	81
Tabulka 45 - T-test vybraných markerů REE.....	82
Tabulka 46 - T-test vztahu mezi hodnotou REE-IC a REE-HB či REE-HB-OH	83

Seznam rovnic

Rovnice 1 - Výpočet bazálního energetického výdeje dle Harris-Benedictovy rovnice	32
Rovnice 2 - Výpočet aktuálního energetického výdeje korekcí hodnoty bazálního energetického výdeje vypočítaného dle Harris-Benedictovy rovnice	32
Rovnice 3 - Výpočet aktuálního energetického výdeje dle Ireton-Jonesovy rovnice	34
Rovnice 4 - Výpočet klidového energetického výdeje dle WHO na základě hmotnosti jedince	35
Rovnice 5 - Výpočet klidového energetického výdeje dle WHO na základě hmotnosti a výšky jedince	35
Rovnice 6 - Rovnice pro výpočet respiračního koeficientu (RQ)	38
Rovnice 7 - Rovnice pro výpočet odpadu dusíku v moči (UN)	38
Rovnice 8 - Rovnice pro výpočet neproteinového respiračního koeficientu (npRQ)	39
Rovnice 9 - Základní Weirova rovnice pro výpočet klidového energetického výdeje	42
Rovnice 10 - Rovnice pro výpočet REE, známe-li hodnotu odpadního dusíku v moči	43
Rovnice 11 - Rovnice pro výpočet REE, neznáme-li hodnotu odpadního dusíku v moči	43
Rovnice 12 - Rovnice pro měrný objem kyslíku nutný pro utilizaci 1g každého z nutričních substrátů a měrný objem oxidu uhličitého vytvořeného při utilizaci 1g každého z nutričních substrátů	47
Rovnice 13 - Výpočet utilizace sacharidů [$\text{g}\cdot\text{den}^{-1}$]	48
Rovnice 14 - Výpočet utilizace sacharidů [$\text{kcal}\cdot\text{den}^{-1}$]	48
Rovnice 15 - Výpočet utilizace lipidů [$\text{g}\cdot\text{den}^{-1}$]	49
Rovnice 16 - Výpočet utilizace lipidů [$\text{kcal}\cdot\text{den}^{-1}$]	49
Rovnice 17 - Výpočet utilizace proteinů [$\text{g}\cdot\text{den}^{-1}$]	49
Rovnice 18 - Výpočet utilizace proteinů [$\text{kcal}\cdot\text{den}^{-1}$]	50
Rovnice 19 - Výpočet celkového množství energie získaného oxidací nutričních substrátů	50

Seznam obrázků

Obrázek 1 - Faktory ovlivňující energetický výdej organismu postiženého traumatem	14
Obrázek 2 - Faktory vedoucí k rozvoji malnutrice a její následky	20
Obrázek 3 - Základní hormonální reakce organismu při stresové situaci	24
Obrázek 4 - Provedení vyšetření IC u pacienta napojeného na ventilátor.....	37
Obrázek 5 - Provedení vyšetření IC u spontánně dýchajícího pacienta	37
Obrázek 6 - Rozčlenění lidského těla do jednotlivých kompartmentů a subkompartmentů dle jeho složení.....	53

Seznam grafů

Graf 1 - Průměrná hodnota RQ a npRQ.....	62
Graf 2 - Energetický výdeje.....	64
Graf 3 - Kumulativní rozložení hodnot IC/HB [%] u spontánně dýchajících pacientů	65
Graf 4 - Průměrná míra energetické potřeby vyjádřená jako IC/HB [%] bez a s odečtem OH.....	66

Použitá literatura

1. Anonymous. The APACHE II Severity of Disease Classification System. *Medical Criteria.com: Unifyng concepts* [online]. [cit. 2013-03-17]. Dostupné z: http://www.medicalcriteria.com/criteria/uti_APACHE II.htm
2. Glossary. FRESENIUS MEDICAL CARE. *BCM - Body Compositor Monitor: Innovation for better outcome* [online]. [cit. 2013-04-03]. Dostupné z: <http://www.bcm-fresenius.com/26.htm#L>
3. From Technology to Therapy. FRESENIUS MEDICAL CARE. *BCM - Body Compositor Monitor: Innovation for better outcome* [online]. [cit. 2013-04-03]. Dostupné z: <http://www.bcm-fresenius.com/10.htm>
4. AIMOVÁ, Petra. *Hodnocení možnosti predikce energetického výdeje u polytraumatických u polytraumatických pacientů*. Diplomová práce, UK FaF, Hradec Králové, 2011. 71 s.
5. BARASI, Mary E. *Nutrition at a glance*. Malden, MA: Blackwell Pub., 2007.
6. BARTŮŇKOVÁ, Staša. *Stres a jeho mechanismy*. 1. vyd. Praha: Univerzita Karlova v Praze, nakladatelství Karolinum, 2010, 137 s. Učební texty Univerzity Karlovy v Praze.
7. BRANDI, Luigi S., et al. Energy expenditure and severity of injury and illness indices in multiple trauma patients. *Critical care medicine* [online]. roč. 27, č. 12, s. 2684-2689 [cit. 2013-04-11]. Dostupné z: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10628610>
8. Nutriční péče je efektivní cestou k úsporám ve zdravotnictví. *Braunoviny: Zprávy*. 2012. Dostupné z: <http://braunoviny.bb Braun.cz/clanky/nutricni-pece-je-efektivni-cestou-k-usporam-ve-zdravotnictvi/>
9. CECCHINI, S., E. SCHENA, R. CUTTONE, M. CARASSITI et S. SILVESTRI. Influence of ventilatory settings on indirect calorimetry in mechanically ventilated patients. [online]. [cit. 2013-04-15]. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6090293>
10. COONEY, Robert N., David C. FRANKENFIELD, R. CUTTONE, M. CARASSITI et S. SILVESTRI. Determining energy needs in critically ill patients. [online]. [cit. 2013-04-1]. Dostupné z: <http://content.wkhealth.com/linkback/openurl?sid=WKPTLP:landingpage>
11. COSS-BU, Jorge A, Coss-Bu, William J KLISH, David WALDING, Fernando STEIN, E O'Brian Smith et Larry S Jefferson. Energy metabolism, nitrogen balance, and substrate utilization in critically ill children. *Am J Clin Nutr* [online]. vol. 74 no. 5 664-669 [cit. 2013-03-08]. Dostupné z: <http://ajcn.nutrition.org/content/74/5/664.short>

12. DE OLIVEIRA, Erick Prado, Fãjbio Lera ORSATTI, Okesley TEIXEIRA, Nailza CARASSITI et Roberto Carlos BURINI. Comparison of Predictive Equations for Resting Energy Expenditure in Overweight and Obese Adults. [online]. [cit. 2013-04-15]. Dostupné z: <http://www.hindawi.com/journals/jobes/2011/534714/>
13. DE WAELE, Elisabeth, Herbert SPAPEN, Patrick M. HONORã, Sabrina MATTENS, Viola VAN GORP, Marc DILTOER et Luc HUYGHENS. Introducing a new generation indirect calorimeter for estimating energy requirements in adult intensive care unit patients: Feasibility, practical considerations, and comparison with a mathematical equation. *Journal of Critical Care* [online]. s. - [cit. 2013-04-15]. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0883944113000543>
14. DRãBKOVã, Jarmila. *Polytrauma v intenzivní medicíně*. 1. vyd. Praha: Grada, 2002, 307 s.
15. EKNOYAN, Garabed et Nathan W LEVIN. K/DOQI Clinical Practice Guidelines for Chronic Kidney Disease: Evaluation, Classification, and Stratification. Kidney Disease Outcome Quality Initiative. *Am J Kidney Dis*. 2002, roã. 39 (Supp2), s. 266
16. FLANCAUM Louis, Patricia S CHOBAN, Susan SAMBUCCO, Joseph VEDUCII et Jean C BURGE. Comparison of indirect calorimetry, the Fick method, and prediction equations in estimating the energy requirements of critically ill patients. *Am J Clin Nutr* [online]. roã. 69, ã. 3, s. 461-466 [cit. 2013-03-11]. Dostupné z: <http://ajcn.nutrition.org/content/69/3/461.short>
17. FORRETTE, Terry L. Indirect Calorimetry: Principles and applications for managing critically ill patients. *Medscape General Medicine* [online], 2005. [cit. 2013-02-07]. Dostupné z: <http://www.medscape.org/viewarticle/515891>
18. FRANKENFIELD, David C., J. Stanley SMITH, Robert N. COONEY, Sandralee A. BLOSSER, G. Yvonne SARSON, Marc DILTOER et Luc HUYGHENS. Relative association of fever and injury with hypermetabolism in critically ill patients: Feasibility, practical considerations, and comparison with a mathematical equation. *Injury* [online]. roã. 28, ã. 9-10, s. 617-621 [cit. 2013-04-16]. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0020138397001174>
19. FRANKENFIELD, David, et al. Prediction of resting metabolic rate in critically ill adult patients: results of a systematic review of the evidence. *Journal of the American Dietetic Association* [online]. roã. 107, ã. 9, s. 1552-1561 [cit. 2013-04-11]. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0002822307012904>
20. GROFOVã, Zuzana Kala. Hladovění v nemocnici. *Interní Med*. 2012; 14(1): 38–39
21. HASENBOEHLER, Erik, Allison WILLIAMS, Iris LEINHASE, Steven J MORGAN, Wade R SMITH, Ernest E MOORE et Philip F STAHEL. Relative association of fever and injury with hypermetabolism in critically ill patients: Feasibility, practical considerations, and comparison with a mathematical equation. *World Journal of Emergency Surgery* [online]. roã. 1, ã. 1, s. 29- [cit. 2013-04-15]. Dostupné z: <http://www.wjes.org/content/1/1/29>

22. HAVEL, Eduard. Nutriční příprava k operaci. *Interní Med.* 2012; 14(8 a 9): 339–342
23. HEADLEY, Jan M. Indirect Calorimetry – A trend toward continuous metabolit assessment. *AACN Clinical Issues* [online]. vol. 14 no. 155-167 [cit. 2013-03-19].
Dostupné z:
http://journals.lww.com/aacnadvancedcriticalcare/Abstract/2003/05000/Indirect_Calorimetry__A_Trend_Toward_Continuous.5.aspx
24. HOLEČEK, Milan. *Regulace metabolismu cukrů, tuků, bílkovin a aminokyselin*. 1. vyd. Praha: Grada, 2006, 286 s.
25. HOUSOVÁ, Jitka. et al. Dělení malnutrice in: SVAČINA, Štěpán. et al. *Poruchy metabolismu a výživy*. Vyd. 1. Praha: Galén, 2010, xxii, 505 s. Učební texty Univerzity Karlovy v Praze.
26. HRONEK, Miloslav et ZADÁK, Zdeněk. Stanovení potřeby energie in: ZADÁK, Zdeněk. KVĚTINA, Jaroslav. et al. *Metodologie předklinického a klinického výzkumu v metabolismu, výživě, imunologii a farmakologii*. Praha : Galen, 2011. 255 – 268 s.
27. CHYTRA, Ivan, Eduard KASAL, Petr PELNÁŘ, Jan LEJČKO, Pavel LAVIČKA, Stanislav MACHART, Richard PRADL et Miroslav BÍLEK. Hodnocení přesnosti predikce přežití APACHE II, ISS a TRISSu traumatologických nemocných. *Anest. intenziv. Med.*, , 1999, č. 1, s. 36-39
28. JEEVANANDAM, Malayappa, David H. YOUNG et William R. SCHILLER. Nutritional impact on the energy cost of fat fuel mobilization in polytrauma victims. *The Journal of Trauma and Acute Care Surgery* [online]. roč. 30, č. 2, s. 147-154 [cit. 2013-03-11].
Dostupné z:
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/?term=Nutritional+impact+on+the+energy+cost+of+fat+fuel+mobilization+in+polytrauma+victims>
29. KAZDA, Antonín. JABOR, Antonín. Varianty poruch metabolismu vody a sodného kationtu in: SVAČINA, Štěpán. et al. *Poruchy metabolismu a výživy*. Vyd. 1. Praha: Galén, 2010, xxii, 505 s. Učební texty Univerzity Karlovy v Praze.
30. KOHOUT, Pavel et Eva KOTRLÍKOVÁ. *Základy klinické výživy*. 1. vyd. v nakl. Forsapi. Praha: Forsapi, 2009, 113 s. Informační servis pro lékaře.
31. KOUDELOVÁ, Jitka et MOUREK, Jindřich. Termoregulace in: TROJAN, Stanislav. *Lékařská fyziologie*. 4. vyd. přepr. a dopl. Praha: Grada Publishing, 2003, s. 423.
32. KROSS, Erin K., Matthew SENA, Karyn SCHMIDT, Renee D. STAPLETON, Wade R SMITH, Ernest E MOORE et Philip F STAHEL. A comparison of predictive equations of energy expenditure and measured energy expenditure in critically ill patients: Feasibility, practical considerations, and comparison with a mathematical equation. *World Journal of Emergency Surgery* [online]. roč. 1, č. 1, s. 29- [cit. 2013-04-16].
Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0883944112000263>

33. LANGMEIER, Miloš. TROJAN, Stanislav. et al. Tělesné tekutiny in: TROJAN, Stanislav. *Lékařská fyziologie*. 4. vyd. přepr. a dopl. Praha: Grada Publishing, 2003, s. 423.
34. MÁČEK, Miloš. et RADKOVSKÝ, Jiří. et al. *Fyziologie a klinické aspekty pohybové aktivity*. Vyd. 1. Praha: Galén, 2011, 245 s. Učební texty Univerzity Karlovy v Praze.
35. MAKK, Laszlo; Stephan A. McCLAVE, Peter W. CREECH, Darrell R. JOHNSON, Alicia F. SHORT, Nancy L. WHITLOW, Francis S. PRIDDY, Leslie K. SEXTON et Pippa SIMPSON. Clinical application of the metabolit cart to the delivery of total parenteral nutrition. *Crit Care Med* [online], vol. 18, , [cit. 2013-03-11]. Dostupné z: http://journals.lww.com/ccmjournal/Abstract/1990/12000/Clinical_application_of_the_metabolic_cart_to_the.3.aspx
36. MILES, John M., Matthew SENA, Karyn SCHMIDT, Renee D. STAPLETON, Wade R. SMITH, Ernest E. MOORE et Philip F. STAHEL. Energy Expenditure in Hospitalized Patients: Implications for Nutritional Support. *World Journal of Emergency Surgery* [online]. roč. 1, č. 1, s. 29- [cit. 2013-04-16]. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0025619611617357>
37. KOUDELOVÁ, Jitka et MOUREK, Jindřich. Fyziologie výživy in: TROJAN, Stanislav. *Lékařská fyziologie*. 4. vyd. přepr. a dopl. Praha: Grada Publishing, 2003, s. 423.
38. LYON, David M., Derrick M. DUNLOP, Corbet P. STEWART. Respiratory quotient in obese subjects. *Biochemical Journal* [online]. roč. 26, č. 4, s. 1107- [cit. 2013-03-21]. Dostupné z: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1261011/>
39. MARTINS, Maria Auxiliadora, Mayra Gonçalves MENEGUETI, Edson Antônio NICOLINI, Michele Ferreira PICOLO, Alessandra Fabiane LAGO, Olindo Assis Martins FILHO et Anibal Basile FILHO. Energy expenditure in critically ill surgical patients. Comparative analysis of predictive equation and indirect calorimetry. *Acta Cirúrgica Brasileira* [online]. vol. 26, , [cit. 2013-04-15]. Dostupné z: <http://www.scielo.br/pdf/acb/v26s2/a10v26s2.pdf>
40. MEHTA, Nilesh M., et al. Cumulative energy imbalance in the pediatric intensive care unit: role of targeted indirect calorimetry. *Journal of Parenteral and Enteral Nutrition* [online]. roč. 33, č. 3, s. 336-344 [cit. 2013-03-17]. Dostupné z: <http://open.sagepub.com/cgi/doi/10.1177/0148607108325249>
41. MONK, David N., et al. Sequential changes in the metabolic response in critically injured patients during the first 25 days after blunt trauma. *Annals of surgery* [online]. , č. -, s. 395- [cit. 2013-03-17]. Dostupné z: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1235135/>
42. MUSIL, Dalibor. *Klinická výživa a intenzivní metabolická péče*. 1. vydání. Olomouc : Univerzita Palackého v Olomouci, 2002. 109 s.
43. NEELEMAAT, Floor et Marian A.E. VAN BOKHORST - DE VAN DER SCHUEREN, Abel THIJS, Jaap C. SEIDELL, Peter J.M. WEIJS, Ernest E. MOORE a Philip F. STAHEL. Resting energy expenditure in malnourished older patients at hospital admission and three

- months after discharge: Predictive equations versus measurements. *World Journal of Emergency Surgery* [online]. roč. 1, č. 1, s. 29- [cit. 2013-04-16]. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0261561412000829>
44. NEČAS, Emanuel. et al. *Obecná patologická fyziologie*. 3. vyd. Praha: Karolinum, 2009, 377 s.
45. POKORNÝ, Vladimír. et al. *Traumatologie*. 1. vyd. Praha: Triton, 2002, 307 s. Učební texty Univerzity Karlovy v Praze.
46. RUŠAVÝ, Zdeněk. Energetický metabolismus in: SVAČINA, Štěpán. et al. *Klinická dietologie*. Vyd. 1. Praha: Grada, 2008, 381 s. Učební texty Univerzity Karlovy v Praze.
47. SERON-ARBELOA, Carlos, et al. Enteral Nutrition in Critical Care. *Journal of clinical medicine research* [online]. roč. 5, č. 1, s. 3- [cit. 2013-03-11]. Dostupné z: <http://www.jocmr.org/index.php/JOCMR/article/view/1210>
48. SCHULMAN, Rifka C, Marian A.E. MECHANICK, Abel THIJIS, Jaap C. SEIDELL, Peter J.M. WEIJS, Ernest E MOORE et Philip F STAHEL. Resting energy expenditure in malnourished older patients at hospital admission and three months after discharge: Predictive equations versus measurements. *World Journal of Emergency Surgery* [online]. roč. 1, č. 1, s. 29- [cit. 2013-04-16]. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0261561412000829>
49. *Basics in clinical nutrition*. 4th ed. Editor Luboš Sobotka, S Allison. Praha: Galén, c2011, xxxii, 723 s.
50. SUCHARDA, Petr. Obezita in: SVAČINA, Štěpán. et al. *Poruchy metabolismu a výživy*. Vyd. 1. Praha: Galén, 2010, xxii, 505 s. Učební texty Univerzity Karlovy v Praze.
51. SVENDSEN, Ole Lander; HASSAGER, Christian; CHRISTIANSEN, Claus. Impact of regional and total body composition and hormones on resting energy expenditure in overweight postmenopausal women. *Metabolism* [online]. roč. 42, č. 12, s. 1588-191 [cit. 2013-04-11]. Dostupné z: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8246774>
52. TICHÁ, Veronika. *Bazální metabolismus u polytraumatizovaných pacientů*. Rigorózní práce, UK FaF, Hradec Králové, 2012. 100 s.
53. TROJAN, Stanislav. et al. Fyziologie svalstva in: TROJAN, Stanislav. *Lékařská fyziologie*. 4. vyd. přepr. a dopl. Praha: Grada Publishing, 2003, s. 423.
54. UEHARA, Masanori; PLANK, Lindsay D.; HILL, Graham L. Components of energy expenditure in patients with severe sepsis and major trauma: a basis for clinical care. *Critical care medicine* [online]. roč. 27, č. 7, s. 1295-1302 [cit. 2013-04-13]. Dostupné z: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10446823>
55. WALKER, Renee N et HEUBERGER Roschelle A. Predictive equations for energy needs for the critically ill.. *Respiratory care* [online] 54(4):509-21 [cit. 2013-04-01]. Dostupný z: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19327188/>

56. WEEKES C. Elizabeth. Controversies in the determination of energy requirements. *Proc Nutr Soc.* [online] 66(3):367-77 [cit. 2013-02-07]. Dostupné z: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17637089>
57. WEIJS, Peter JM, Hinke M KRUIZENGA, Aimee E VAN DIJK, Barbara S VAN DER MEIJ, Jacqueline AE LANGIUS, Dirk L KNOL, Robert JM STRACK VAN SCHIJNDEL et Marian AE VAN BOKHORST-DE VAN DER SCHUEREN. Validation of predictive equations for resting energy expenditure in adult outpatients and inpatients: Predictive equations versus measurements. *World Journal of Emergency Surgery* [online]. roč. 1, č. 1, s. 29- [cit. 2013-04-16]. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0261561407001586>
58. WILHELM, Zdeněk. Přehled referenčních hodnot organismu, metabolismu, biochemie krve a moči in: KLEINOVÁ, Jana. *Malnutrice nejen u nádorových onemocnění*. Olomouc: Solen, 2011, s. 45-50.
59. ZADÁK, Zdeněk. *Výživa v intenzivní péči*. 2. vydání. Praha : Grada, 2008. 552 s.
60. ZEZULA, Roman, Petr WOHL a Pavel WOHL. Nutriční stav pacienta a možnosti jeho hodnocení. *Interní Med.* 2009. 11 (1): 45–47