MASARYKOVA UNIVERZITA
LÉKAŘSKÁ FAKULTA

DIPLOMOVÁ PRÁCA

2020 **Bc. Miroslava Kamenská**

MASARYKOVA UNIVERZITA

LÉKAŘSKÁ FAKULTA

Ústav ochrany a podpory zdraví

PRESNOSŤ PREDIKTÍVNYCH ROVNÍC BAZÁLNEHO A KĽUDOVÉHO METABOLIZMU U ŽENSKÉHO POHLAVIA

Diplomová práca

Vedúci diplomovej práce:
Mgr. Martin Forejt, Ph.D.

Autor diplomové práce:
Bc. Miroslava Kamenská

Brno, máj 2020

ANOTÁCIA

Meno a priezvisko autora: Bc. Miroslava Kamenská

Inštitúcia: Lékařská fakulta, Masarykova univerzita
Ústav ochrany a podpory zdraví

Názov diplomovej práce: Presnosť prediktívnych rovníc bazálneho a kľudového metabolizmu u ženského pohlavia

Veducí diplomovej práce: Mgr. Martin Forejt, Ph.D.

Počet strán: 108

Počet príloh: 1

Rok obhajoby: 2020

Kľúčové slová: bazálny metabolizmus, kľudový metabolizmus, ženské pohlavie, beztuková hmota, index beztukovej hmoty, prediktívne rovnice, Harris-Benedict, Mifflin, Nelson, ten Haaf

Anotácia: Pre stanovenie energetickej potreby jedinca je potrebné zistiť výšku bazálneho a kľudového metabolizmu, ktorý tvorí základ celkového energetického výdaju u väčšiny z nás. V teoretickej časti boli popísané základné informácie o zložkách celkového energetického výdaju a bližšie charakterizované faktory ovplyvňujúce bazálny a kľudový metabolizmus organizmu spolu s mechanizmami, ktoré môžu rozdiely v ich hodnotách spôsobiť. Ďalej boli popísané dostupné metódy merania a odhadu BMR a RMR s dôrazom na prediktívne rovnice. Cieľom praktickej časti bolo zhodnotiť výpovednú hodnotu vybraných prediktívnych rovníc RMR založených na odlišných telesných parametroch (telesná hmotnosť, telesná výška, hmotnosť beztukovej a tukovej hmoty) u skupiny respondentiek ženského pohlavia v rozmedzí 18-35 rokov.

ANNOTATION

Name and surname: Bc. Miroslava Kamenská

Institution: Faculty of Medicine, Masaryk University
Department of Public Health

Title of the thesis: Accuracy of basal an resting metabolic rate predictive equations in women

Supervised by: Mgr. Martin Forejt, Ph.D.

Number of Pages: 109

Number of Appendixes: 1

Defended in: 2020

Keywords: basal metabolic rate, resting metabolic rate, female, fat free mass, fat free mass index, predictive equations, Harris-Benedict, Mifflin, Nelson, ten Haaf

Annotation: To determine one's energy requirements, one must identify the basal and resting metabolic rates, these expenditures create the base of energy output for majority of us. Basic information about the total energy output components is listed in the theoretical part of this paper along with more detailed characterization of factors which influence the basal and resting metabolic rates together with the mechanisms which can cause differences in these rates. Furthermore, available BMR and RMR measuring and estimation methods are described with the emphasis on predictive equations. The practical part's goal was to evaluate the accuracy of chosen RMR predictive equations based on different physical parameters (bodyweight, height, fat free mass and fat mass) in a group of female respondents aged 18 to 35.

Prehlásenie

Prehlasujem, že som diplomovú prácu vypracovala samostatne pod vedením Mgr. Martina Forejta, Ph.D. a že som uviedla v zozname literatúry všetky použité literárne a odborné zdroje. Súhlasím s tým, aby bola práca poskytnutá k študijným účelom a aby bola citovaná podľa platných noriem.

V Brne dňa 11.05. 2020 ……

Bc. Miroslava Kamenská

Poďakovanie

Ďakujem Mgr. Martinu Forejtovi, Ph.D. za odborný dohľad nad prevedením tejto diplomovej práce. Taktiež veľmi pekne ďakujem Mgr. Petrovi Loskotovi za konzultácie a veľmi cenné rady obsahu práce a takisto pomoc pri prevádzaní meraní. Rada by som sa takisto poďakovala pani Mgr. Ing. Jane Kunčické za poskytnutie informovaného súhlasu a pomoc pri zoznámení sa s obsluhou prístrojov používaných v praktickej časti práce. Veľká vďaka patrí aj Bc. Anne Pocrovej za kontrolu postupu pri štatistickom vyhodnocovaní dát. Najviac však ďakujem účastníčkam výskumu, ktoré boli pri hľadaní vhodných termínov veľmi tolerantné a ochotné prísť na merania často vo veľmi skorých ranných hodinách.

Na záver by som rada poďakovala rodine za podporu počas celých piatich rokov štúdia.

OBSAH

ÚVOD **10**

TEORETICKÁ ČASŤ **12**

1. Ciele teoretickej časti **12**

2. Celkový energetický výdaj organizmu a jeho zložky **12**

2.1. Bazálny a kľudový energetický výdaj 12

2.2. Diétou indukovaná termogenéza 15

2.3. Pohybová aktivita 16

3. Faktory ovplyvňujúce bazálny metabolizmus **18**

3.1. Nešpecifické pre pohlavie 19

3.1.1 Telesná výška, telesná hmotnosť a povrch tela 19

3.1.2. Beztuková a tuková hmota 19

3.1.3. Pohlavie 24

3.1.4. Vek 24

3.1.5. Genetické a hormonálne vplyvy 25

3.1.6. Etnické skupiny a rasa, klimatické podmienky 30

3.1.7. Fyzická aktivita a EPOC 31

3.1.8. Konzumácia kofeínu a nikotínu 33

3.2. Špecifické pre ženské pohlavie 35

3.2.1. Ovariálny cyklus 35

3.2.2. Tehotenstvo 38

3.2.3. Laktácia 40

3.2.4. Menopauza 42

4. Hodnotenie bazálneho a kľudového metabolizmu organizmu **44**

4.1. Priama kalorimetria 45

4.2. Nepriama kalorimetria 45

4.3. Metóda dvojito značenej vody 47

4.4. Meranie tepovej frekvencie 48

4.5. Prediktívne rovnice 49

PRAKTICKÁ ČASŤ **56**

5. Ciele praktickej časti **56**

6. Hlavné hypotézy a vedecké otázky **56**

7. Metodika a zber dát **57**

8. Popis súboru **59**

9. Výsledky **63**

9.1. Štatistické vyhodnotenie hypotéz 63

9.2. Štatistické vyhodnotenie výskumných otázok 70

10. Diskusia **76**

11. Záver **81**

12. Súhrn **83**

Zoznam použitej literatúry **84**

Zoznam použitých skratiek **102**

Zoznam tabuliek **105**

Zoznam obrázkov **106**

Zoznam grafov **107**

Prílohy **108**

ÚVOD

Prevalencia obezity a nadváhy v globálnom merítku začala rapídne stúpať v druhej polovici 20. storočia. Tento trend je spojený so skracovaním dĺžky a znížením kvality života. Obezita je chronické ochorenie, ktoré sa významne podieľa na zhoršení fyzického ale aj psychického a sociálneho stavu jedinca. Predstavuje závažný rizikový faktor, ktorý významne vplýva na vznik väčšiny civilizačných ochorení ako diabetes mellitus, ateroskleróza, ischemická choroba srdečná, infarkt myokardu, hypertenzia, nádorové ochorenia a mnoho ďalších [1, 2].

Nárast telesnej hmotnosti obyvateľov USA za dekádu dosiahol v priemere 12 kg. Prevalencia obezity je tu extrémne vysoká a v roku 2008 tvorili obézni občania 32,2 % dospelej mužskej populácie s výnimkou mužov vo veku 20 až 39 rokov a 35,5 % ženskej populácie. Nadváhou trpelo až 68% dospelých [1, 3].

Podobné, aj keď o niečo menšie zmeny môžeme pozorovať aj v Európe. Podľa odhadov WHO malo v európskych krajinách v roku 2008 viac ako 50 % mužov a žien nadváhu a z toho približne 23 % žien a 20 % mužov bolo obéznych. Aj tu sú však viditeľné rozdiely medzi jednotlivými krajinami. Podiel dospelých žien s nadváhou v EÚ sa v roku 2014 pohyboval v rozmedzí 36,1 % v Taliansku až 55,2 % na Malte. Najviac obéznych žien bolo zaznamenaných na Malte (23,9 %), v Lotyšsku (23,3 %), Estónsku (21,5 %) a Spojenom kráľovstve (20,4 %) [4, 5].

Nadváha u mužov sa pohybovala medzi hodnotami 53,6% v Holandsku až 67,5 % v Chorvátsku. Najviac obéznych mužov sa vyskytuje na Malte (28,1 %), v Maďarsku (22,0 %). %), Slovinsku (21,0 %) a Chorvátsku (20,7 %). Najnižšie zastúpenie obéznych jedincov môžeme nájsť v Rumunsku, Taliansku, Cypre, Rakúsku a Švédsku [5].

V Českej republike priemerný index telesnej hmotnosti dosahoval hodnotu 25,2, ktorú už radíme do pásma nadváhy. Miernou nadváhou trpí 47 % dospelých mužov a 33 % žien. Do pásma obezity spadá približne 20 % mužov a 18 % žien [6].

Tento trend sa však netýka len dospelých. Napríklad u detí žijúcich v USA sa prevalencia obezity zdvihla z 5 % v roku 1960 na 15 % v roku 2007, čo v súvislostí s prevalenciou obezity v budúcnosti ešte zhoršuje prognózy. Zároveň s nárastom obezity sa u detí a dospievajúcich zvýšil výskyt diabetes mellitus 2. typu napriek tomu, že v predošlých obdobiach sa toto ochorenie týkalo takmer výhradne staršej populácie [7].

Energetická restrikcia sa javí u obéznych jedincov ako najlepšia stratégia pre výrazné zníženie hmotnosti. Približne 28 % mužov v USA a 44 % žien uviedlo pokusy o zníženie svojej hmotnosti, avšak nie všetci jedinci sú rovnako úspešní. Strata hmotnosti v súvislosti so zápornou energetickou bilanciou ukazuje interindividuálne rozdiely [8].

Pre udržanie stabilnej hmotnosti je potrebná rovnováha medzi príjmom a výdajom energie a niet pochýb, že epidémia obezity je spôsobená hlavne nesúladom týchto dvoch zložiek. Pri bežnej strave a pohybe je však samozrejmé, že kalorický príjem a výdaj počas kratšieho časového úseku nemôže byť v úplnom súlade. Dôležitá je dlhodobá rovnováha v časovom rozmedzí mesiacov až rokov. V teoretickej rovine môžeme predpokladať, že pri každodennej konzumácií len o 10 kcal nad svoju energetickú potrebu môže jedinec pribrať až 0,5 kg tukovej hmoty za rok, čo za dekádu vytvára energetickú zásobu formou tukového tkaniva až 5 kg [9].

Tento koncept nám však pri riešení nadváhy a obezity nedá ucelený obraz. Prvý zákon termodynamiky, ktorý popisuje princíp energetickej rovnováhy, nezahrňuje vplyv hormonálnej regulácie príjmu potravy v tele či génov, ktoré sú do tohto procesu zapojené. Takisto nevysvetľuje odlišné rozloženie tuku u rôznych vekových kategórií či pohlavia. Taktiež nestačí na porozumenie vplyvu liečív, vírusov a toxínov na naberanie či stratu hmotnosti [2, 10].

Literárne zdroje uvádzajú nespočetne veľa faktorov, ktoré k obezite prispievajú. Medzi najčastejšie patrí sedavý spôsob života a tým aj zníženie fyzickej aktivity, „fast foodový“ spôsob stravovania, priveľké porcie, vysoké percentuálne zastúpenie nasýtených tukov a cukrov v prijímaných pokrmoch a mnoho ďalších. Problematika nadváhy a obezity však nie je tak jednoduchá. Ďalšie faktory, ktoré sú však stále predmetom skúmania a môžu mať veľký vplyv na obezitu sú napríklad už spomínané liečivá, vírusy či toxíny [9, 10].

Keďže väčšina daných faktorov vplýva hlavne na hodnoty bazálneho metabolizmu, je pri riešení obezity pravdepodobne najdôležitejšia zložka a je mu potrebné venovať dostatočnú pozornosť.

Väčšina jedincov v bežnej populácií si pre snahe o redukciu hmotnosti nemôže dovoliť profesionálne stanovenie hodnôt bazálneho metabolizmu. Z tohto dôvodu sa často zakladá odhad potrebného množstva skonzumovanej stravy na vytvorených prediktívnych rovniciach bazálneho a kľudového metabolizmu. Vplyv spomínaných faktorov na variácie v hodnotách BMR a RMR však výrazne komplikuje vytvorenie univerzálnych prediktívnych rovníc, ktoré by dokázali správne stanoviť energetickú potrebu u každej osoby.

TEORETICKÁ ČASŤ

1. Ciele teoretickej časti

Cieľom teoretickej časti dane práce je vyhľadanie a spracovanie dostupnej odbornej literatúry, ktorá sa zaoberá celkovým energetickým výdajom organizmu so zameraním najmä na bazálny a kľudový metabolizmus organizmu. Ďalej je úlohou tejto časti upresniť faktory, ktoré na energetický výdaj vplývajú a zamerať sa na špecifiká ženského pohlavia.

Posledný cieľ teoretickej časti je popísať dostupné metódy merania a odhadu bazálneho a kľudového metabolizmu so zameraním na používanie prediktívnych rovníc.

2. Celkový energetický výdaj organizmu a jeho zložky

Ako sme už spomínali, organizmus sa nachádza v energetickej rovnováhe ak sa jeho energetický prijem a výdaj navzájom vyvažujú. Energetický príjem zahŕňa energiu prijatú v potravinách a nápojoch, ktoré človek ale aj iné živočíchy skonzumujú [11].

Energetický výdaj (ang. *energy expenditure*, *EE*) je však oveľa komplexnejší dej. Skladá sa z energie vyprodukovanej na absorbciu, trávenie živín a základné metabolické pochody ako dýchanie, aktivitu kardiovaskulárneho systému, termoreguláciu alebo fyzickú aktivitu. Podľa typu vyprodukovanej energie môžeme rozdeliť celkový energetický výdaj (ang. *total energy expenditure*, *TEE; total daily energy expenditure, TDEE*) na tri hlavné skupiny:

- energia vyprodukovaná pre potreby bazálneho metabolizmu
- energia vyprodukovaná pre potreby trávenia živín
- energia vyprodukovaná pre potreby fyzickej aktivity [9, 12].

Dlhodobejšie dysbalancie v príjme a výdaji energie vedú k strate alebo nabratiu telesnej hmotnosti. Aj keď energetický príjem jedinca vieme veľmi dobre definovať, celkový energetický výdaj sa rapídne mení a ovplyvňuje ho celá rada externých a interných faktorov, ktoré si postupne v tejto práci rozoberieme [9, 13].

2.1. Bazálny a kľudový energetický výdaj

Bazálny metabolizmus (ang. *basal metabolic rate*, BMR) môžeme jednoducho definovať ako hodnotu energie, ktorá je v bdelom stave potrebná pre udržanie základných fyziologických procesov v tele. U ľudí predstavuje BMR 50 – 70 % TDEE [13, 14].

Aj keď všetky bunky v tele spotrebovávajú energiu, nie všetky z nich sú rovnako metabolicky aktívne. Ako príklad môžeme uviesť fakt, že u priemerného človeka tvorí mozog,

pečeň, srdce a obličky dohromady len 5,7% telesnej hmotnosti, sú však zodpovedné za spotrebovanie 58 - 80% energetickej hodnoty BMR. Ďalších 18 – 20 % BMR spaľuje kostrové svalstvo [15, 16].

Orgánovo špecifická hodnota bazálneho metabolizmu je pre tukové tkanivo 4,5 kcal/kg/deň, pre kostrové svalstvo je to 13 kcal/kg/deň a 200 kcal/kg/deň pre pečeň. Mozog v kľudovom režime spaľuje 240 kcal/kg/deň, obličky a srdce až 440 kcal/kg/deň [15].

Telesné komponenty ako kosti, koža, gastrointestinálny trakt či žľazy tvoria až 33% telesnej hmotnosti, sú však zodpovedné len za 15 – 20 % z bazálnej metabolickej aktivity. Jedno z najmenej metabolicky aktívnych zložiek je tukové tkanivo, ktoré napriek tomu, že v priemere tvorí 1/5 telesného zloženia, spáli len 5% z hodnoty bazálneho metabolizmu [9].

Aj keď výška BMR vo väčšine prípadov koreluje s hmotnosťou organizmu, variácie sú stále značné. V rámci rôznych živočíšnych tried sa napriek identickej telesnej hmotnosti vyskytujú niekoľkonásobné rozdiely v energetickom výdaji. Najväčšie odlišnosti môžeme nájsť medzi ektotermnými (plazy a obojživelníky) a endotermnými (vtáky a cicavce) živočíchmi. Vyššie hodnoty BMR dali endotermným organizmom možnosť sústrediť sa na dlhodobo energeticky náročné činnosti ako reprodukciu či migráciu. Naopak pri deficite potravinových zdrojov môže mať schopnosť šetriť energetickú rezervu pomocou nižšieho BMR značné výhody. Tieto rozdiely, aj keď v menšom rozsahu však môžeme nájsť aj medzi jedincami toho istého druhu Faktorom, ktoré prispievajú k variabilite je venovaná celá nasledujúca podkapitola [13, 17].

Metabolizmus počas spánku sa znižuje ešte výraznejšie a tvorí teda skutočne najnižší energetický výdaj, ktorý je ešte kompatibilný so životom. Údaje z prevedených štúdií naznačujú, že napriek tomu, že rýchlosť metabolizmu počas hlbokého spánku klesá, tieto zmeny nemajú výrazný vplyv na výpočet 24–hodinového bazálneho energetického výdaju. Tu je potrebné rozlíšiť skratky OMR (ang. *overnight metabolic rate*) a SMR (ang. *sleeping metabolic rate*). Napriek tomu, že SMR sa u dospelých znižuje približne o 4 – 13 % oproti hodnotám BMR, zanedbateľnosť vplyvu spánku môžeme vysvetliť hodnotami OMR, ktoré zahŕňajú pohyby tela, prebúdzanie sa počas spánku a návštevu toalety [18, 19].

Význam OMR sa ale u rôznych vekových kategórií mení. Napríklad u dojčiat nameraný energetický výdaj počas spánku či pri kľudnom ležaní potichu tvorí iba 76 % hodnoty zmeranej počas bdelého stavu. U starších detí pri výskume zmien tvoril OMR 92 % hodnoty BMR a u seniorov sa pri meraní počas spánku metabolizmus dokonca zvýšil o 6 % [18].

Na meranie BMR sa najčastejšie používajú hodnoty prijatého kyslíku a vyprodukovaného oxidu uhličitého organizmom pomocou priamej a nepriamej kalorimetrie. Pre meranie týchto hodnôt boli zavedené štandardizované podmienky, ktoré eliminujú vplyv ostatných častí

metabolizmu a limitujú tým skreslenie výsledkov. Pretože by príjem potravy pred meraním vyvolal zvýšenie metabolizmu, je najlepšie meranie uskutočniť nalačno v postapradiálnom štádiu (12–14 hodín) namiesto toho, aby sa predpisovalo zloženie a množstvo stravy, ktoré by mohla mať u jednotlivcov odlišný efekt. Ďalej je potrebné, aby bola meraná osoba bez ťažkej fyzickej záťaže aspoň 24 hodín pred meraním. Meranie by malo prebiehať pri teplote okolia medzi 20 - 25 ˚C a v leže za úplnej psychickej a fyzickej relaxácie jedinca. Preferuje sa meranie tesne po prebudení v ranných hodinách [9, 14, 17].

Zhrnutie základných kritérií pre meranie BMR
• Meranie by malo prebiehať ihneď po prebudení na lôžku
• Meranie by malo prebiehať po 12 – 14 hodinovom lačnení
• Posledné jedlo pred meraním nemá obsahovať proteíny
• Meranie prebieha v teplotne neutrálnom prostredí
• Meranie prebieha za čo najväčšieho psychického kľudu vyšetrovaného, bez rušivých elementov
• Vyšetrovaná osoba by mala obmedziť ťažkú fyzickú záťaž aspoň 24 hodín pred meraním
• Vyšetrovaná osoba je v normálnom nutričnom stave bez známok malnutrície
• Vyšetrovaná osoba nejaví známky infekcie alebo ochorenia

Tabuľka 1: Zhrnutie základných kritérií pre meranie BMR [20, 21].

Keďže tieto podmienky je v praxi veľmi ťažké dodržať, často sa meranie BMR nahradzuje meraním tzv. **kľudového metabolizmu** (ang. *resting metabolic rate*, RMR; *resting metabolic expenditure*, REE). Pri tomto meraní nie je potrebné 12 hodinové obdobie lačnenia a postačia 2 - 4 hodiny po príjme stravy. Meranie taktiež nemusí prebiehať hneď po prebudení, odporúča sa eliminovať nízku a strednú fyzickú aktivitu (pre ťažkú fyzickú aktivitu platia podmienky ako u BMR) minimálne 2 hodiny pred meraním s dodatočným 10 - 20 minútovým kľudom na lôžku. Pri meraní RMR je potrebné vyzdvihnúť vplyv konzumácie alkoholu, kofeínu a nikotínu pred meraním. Keďže pri meraní BMR sa predpokladá dlhšie obdobie spánku bez možnosti požitia daných látok nie je prakticky možné skreslenie údajov. Pri meraní RMR počas dňa však treba eliminovať ich príjem minimálne 2 hodiny pred meraním. U alkoholu to sú 4 hodiny [9, 22].

Kľudový bazálny metabolizmus je o niečo vyšší ako BMR a v priemere sa líši o cca 10 %. RMR reprezentuje bazálny metabolizmus spolu s energiou vynaloženou na trávenie

v postpradiálnom štádiu a bežnú každodennú svalovú aktivitu. Keďže sú pri meraní RMR menej prísne podmienky, vo vedeckých protokoloch môžeme často nájsť práve meranie RMR namiesto hodnôt BMR [23].

2.2. Diétou indukovaná termogenéza

Ďalšia časť celkového energetického výdaja je termický efekt stravy (ang. *dietary-induced thermogenesis*, DIT; *thermic effect of food,* TEF). Tvorí ho metabolická odpoveď organizmu na prijatú potravu a súvisí s trávením, absorpciou, transportom, metabolizmom jednotlivých komponentov stravy a vytváraním energetických zásob. Vyjadruje sa ako percentuálne zastúpenie energie z prijatého pokrmu a jeho význam z veľkej časti závisí na zložení stravy. Diétou indukovaná termogenéza môže tvoriť 5 až 30 % z celkového energetického výdaja. Pre bežnú stravu prijatú za 24 hodín sa vo väčšine publikácií počíta s 10 % zo skonzumovaného energetického príjmu. To znamená, že človek, ktorý skonzumuje za deň 2000 kcal spotrebuje 200 kcal na TEF a zvyšných 1800 kcal sa môže ďalej využiť na ostatné metabolické procesy v tele [9, 23].

Termický efekt stravy dosiahne maxima približne po 1 hodine po prijatí potravy a vymizne v pospradiálnom štádiu približne po 4 hodinách. Niektorí z autorov potvrdili zvýšené hodnoty TEF aj po 5 - 6 hodinách, samozrejme záleží od množstva a zloženia stravy, ktorá efekt môže predĺžiť alebo naopak skrátiť [23, 24].

Je všeobecne známe, že 1 g sacharidov a proteínov poskytuje organizmu energiu 17 kJ, 1 g tuku až 37 kJ a 1g etanolu 29 kJ. Musíme však zobrať v úvahu koľko energie sa v organizme spotrebuje na spracovanie každej zložky [23, 25].

Proteíny majú najväčší termický efekt a ich metabolizmus zvýši termogenézu o 20 – 30 %. Tu je zaujímavé podotknúť efekt vysokoproteínovej diety pri redukcií hmotnosti. Bolo preukázané, že pri strave, kde energetický príjem tvoril zo 68 % proteín sa predĺžil termický efekt potravy až na 7 hodín, aj keď tento nárast nebol z praktického hľadiska až tak dôležitý. Sacharidy a tuky vo vysokom zastúpení však tento efekt nepreukázali [26, 27].

Sacharidy majú približne tretinový TEF, a to 5 – 10 %. Najmenej energie vydá organizmus na trávenie tuku, vyžaduje len 0 – 5 % ich energetickej hodnoty. Aj keď by samozrejme nemal byť pravidelná zložka kalorického príjmu, alkohol spôsobuje nárast TEF približne o 15 % [9, 23].

Frekvencia a veľkosť porcie pri príjme celodennej energetickej potreby môže ovplyvniť hodnotu TEF. Predpokladá sa, že konzumácia väčšieho jedla produkuje vyššie hodnoty TEF ako jeho rozdelenie do menších častí. Iné štúdie tento dej však nepreukázali [28–31].

Niektorí autori spájajú hodnotu TEF s pocitom nasýtenia po jedle, čo by vysvetľovalo vysokú sýtiacu schopnosť proteínov. Túto teóriu však nemôžeme aplikovať na všetky zložky potravy. V štúdií skúmajúcej efekt vlákniny bolo preukázané, že jedlo s vysokým obsahom vlákniny znížilo hodnotu TEF napriek tomu, že zvýšilo pocit nasýtenosti v porovnaní s jedlom s nízkym obsahom vlákniny [27, 32].

Boli takisto prednesené teórie o nižšom TEF u obéznych jedincov oproti jedincom s normálnou hmotnosťou. Autori prác tvrdia, že obézni jedinci oxidujú menej nutrientov, čo poskytuje väčšie množstvo prijatej energie na vytvorenie zásob. Ako jeden z možných mechanizmov sa uvádza znížená aktivita sympatického nervového systému. Iné práce tieto rozdiely nepotvrdili [33–35].

2.3. Pohybová aktivita

Energetický výdaj prostredníctvom fyzickej aktivity je najviac variabilný faktor celkového energetického výdaja. U priemerného človeka tvorí fyzická aktivita 20 – 40 % TDEE. Sedavé zamestnanie, zdravotné limity spojené s ochorením môžu efekt výrazne znížiť, u aktívneho športovca sa naopak efekt zvýši. Pre udržanie zdravotných benefitov pohybovej aktivity je potrebný energetický výdaj touto formou aspoň 1000 - 3000 kcal/týždeň. Spotreba kyslíku a tým aj energetický výdaj býva zvýšený aj po ukončení aktivity, tento faktor však súvisí so zvýšením samotného RMR a nie výdajom energie počas aktivity, preto si ho rozoberieme bližšie v podkapitole *3.1.7. Fyzická aktivita a EPOC* [9, 36–38].

Množstvo energie, ktorú telo spotrebuje pri pohybe závisí od intenzity, trvania a frekvencie pohybu. Zvýšená intenzita a trvanie pohybu neznamená automaticky viac vynaloženej energie. Skúsený plavec vynaloží menej energie na odplávanie tej istej vzdialenosti ako plavec začiatočník, ktorý nemá tak efektívne pohyby a preto musí na udržanie tempa vynaložiť viac energie [23].

Ďalší faktor je hmotnosť a svalová hmota. Ako príklad môžeme uviesť priemerného jedinca vážiaceho 100 kg, ktorý na hodinu bežeckej aktivity s rýchlosťou 8 km/h vydá 804 kcal. Pre udržanie tejto istej rýchlosti by človek s polovičnou hmotnosťou (50 kg) vynaložil za hodinu len polovičnú energiu, a to 402 kcal. Príklady pohybových aktivít a ich energetickej náročnosti sú uvedené v *Tabuľke 2* [12].

Mechanická práca spojená so svalovou kontrakciou počas fyzickej aktivity vyžaduje energiu. Hlavnou úlohou energie je resyntéza ATP v svale, aj keď nezanedbateľné množstvo unikne vo forme tepelnej energie. Vďaka tomu je energetická účinnosť pracujúceho svalu približne len 25 %. Energetická účinnosť fyzickej aktivity môže ukazovať interindividuálne

rozdiely, ktoré by jednotlivcov predisponovali na „šetrenie energie“ počas fyzickej aktivity a tým aj k naberaniu hmotnosti, v praxi však tieto rozdiely neboli preukázané [39].

Polymorfizmus uncoupling proteínu 2, ktorý podporuje výdaj energie pomocou tepla (podobný rozpojovač nájdeme hnedom tukovom tkanive) predpisponuje jedincov k menšej efektivite svalovej práce a tým k väčšiemu energetickému výdaju [40].

Druh aktivity	[kcal/ min]			
	1 kg	50 kg	75 kg	100 kg
štúdium	**0,024**	1,20	1,80	2,40
chôdza 5,6 km/h	**0,077**	3,85	5,78	7,70
vysávanie	**0,066**	3,30	4,95	6,60
rýchla chôdza 7,2 km/h	**0,106**	5,30	7,95	10,60
beh 8 km/h	**0,134**	6,70	10,05	13,40
beh 12 km/h	**0,207**	10,35	15,53	20,70
beh (šprint) 17 km/h	**0,288**	14,40	21,60	28,80
golf (s nosením palíc)	**0,099**	4,95	7,43	9,90
futbal (vysoká intenzita)	**0,213**	10,65	15,98	21,30
basketbal (vysoká intenzita)	**0,213**	10,65	15,98	21,30
plávanie 18,2 m/min	**0,070**	3,50	5,25	7,00
plávanie 41,2 m/min	**0,128**	6,40	9,73	12,80
plávanie 45,7 m/min	**0,154**	7,70	11,55	15,40
tanec (vysoká intenzita)	**0,136**	6,80	10,20	13,60
veslovanie (stredná intenzita)	**0,099**	4,95	7,43	9,90
stolný tenis (pokročilý)	**0,099**	4,95	7,43	9,90
tenis (začiatočník)	**0,070**	3,50	5,25	7,00
rezistenčný tréning (ľahká/stredná intenzita)	**0,053**	2,65	3,98	5,30
rezistenčný tréning (vysoká intenzita)	**0,106**	5,30	7,95	10,60

Tabuľka 2: Príklady energetickej náročnosti pohybových aktivít pre rôzne váhové kategórie [12] (Upravené).

3. Faktory ovplyvňujúce bazálny metabolizmus

Napriek tomu, že zložky prispievajúce k hodnote každodenného energetického výdaja sa u jednotlivcov značne líšia, faktom zostáva, že u väčšiny ľudí žijúcich v rozvinutých krajinách tvorí bazálny metabolizmus najväčší komponent celkového energetického výdaja [41].

Keďže tieto krajiny majú takisto najväčšie zastúpenie obyvateľov s nadváhou a obezitou, mala by sa mu pri riešení tohto problému venovať osobitá pozornosť. Hodnoty BMR môžu byť do epidémie obezity zapojené niekoľkými spôsobmi.

Ako prvý z nich môžeme uviesť predispozíciu k naberaniu tukovej hmoty zapríčinenej nižším BMR. Niekoľko prierezových štúdií uvádza, že jedinci, ktorí boli v minulosti obézni majú BMR o 3 – 5 % nižšie, ako sa očakávalo [42].

Druhý princíp môže byť adaptívna reakcia na kalorické obmedzenie pri redukčných diétach, pri ktorej sa BMR zníži a tým môže jednotlivcov predisponovať k následnému spätnému nabratiu hmotnosti aj pri dodržiavaní odporúčaného kalorického príjmu. Mnoho štúdií však túto teóriu metabolickej adaptácie spochybnilo a príčinu pripísalo strate metabolicky aktívnej beztukovej hmoty. V tomto prípade však pravdepodobne záleží najmä na intenzite redukčného režimu. Podľa iných zdrojov pri extrémnej redukčnej diéte u obéznych jedincov pod 800 kcal/d boli namerané znížené hodnoty RMR. V jednej zo štúdií, kde sa kalorický príjem u obéznych pacientov zredukoval až na 472 kcal/d sa preukázalo, že sa RMR účastníkov znížil až o 9,4 % [23, 43].

Ako jeden z hlavných faktorov výšky bazálneho metabolizmu je vo väčšine materiálov udávaná beztuková hmota, ďalej ako **FFM** (ang. *fat-free mass*) a s ním súvisiacia tuková hmota, ďalej ako **FM** (ang. *fat mass*), **telesná výška, telesná váha** a **povrch tela**, ktoré pomáhajú charakterizovať zloženie tela a môžeme ich zahrnúť do spoločnej skupiny antropometrických parametrov. Ďalšie faktory ovplyvňujúce bazálny metabolizmus sú **vek, pohlavie, fyzická aktivita, rasová/etnická príslušnosť, klimatické podmienky, zloženie stravy, hormonálny profil, konzumácia tabaku a kofeínu, menštruačný cyklus, tehotenstvo, laktácia a patologické stavy** ako zmena teploty či ochorenie organizmu [13, 41, 44].

Kvôli zameraniu tejto práce na ženskú populáciu ďalej faktory rozdelíme do dvoch hlavných skupín - nešpecifické pre pohlavie a špecifické pre ženské pohlavie.

3.1. Nešpecifické pre pohlavie

3.1.1 Telesná výška, telesná hmotnosť a povrch tela

Výška ovplyvňuje bazálny metabolizmus pozitívne. Vyšší jedinec s rovnakou telesnou hmotnosťou má väčší povrch tela ako jedinec nižšieho vzrastu, čím sa zvyšuje povrch k tepelnej výmene s prostredím, čím narastajú aj hodnoty BMR. Podobný vplyv má aj vyššia hmotnosť [12].

Vzhľadom k telesnej výške a váhe sa pre diagnózu podváhy, nadváhy či obezity vo väčšine epidemiologických štúdií a v medicínskej praxi používa už spomínaný **index telesnej hmotnosti** BMI (ang. *body mass index*), ktorý vo svojom výpočte používa dve parametry - telesnú výšku a hmotnosť. Prvý krát bol použitý v druhej polovici 19. storočia a poznáme ho aj pod názvom Queteletov index. Hlavná výhoda tohto indexu spočíva v jednoduchosti jeho prevedenia a nenáročnosti na technické vybavenie. Ako veľké negatívum však musíme uviesť jeho neschopnosť zhodnotiť zloženie tela - a to pomer tukovej a netukovej hmoty vzhľadom k telesnej hmotnosti organizmu. Epidemiologické štúdie preukázali, že nízke a vysoké hodnoty BMI zvyšujú morbiditu a mortalitu ale takisto preukázali, že zloženie tela, viac ako BMI, je primárnym determinantom zdravia a lepší prediktor rizika mortality a morbidity ako BMI [9, 45].

Ako príklad môžeme uviesť hypotetickú osobu s BMI v pásme obezity, avšak vďaka veľkému objemu FFM má obsah tuku v tele v norme. Do tejto kategórie často spadajú vrcholoví športovci. Naopak osoba s BMI v normálnom rozmedzí môže mať extrémne nízke zastúpenie beztukovej hmoty v tele a zvyšok telesnej hmotnosti tu bude zastupovať tukové tkanivo, vďaka čomu je vo väčšom zdravotnom riziku ako prvá osoba. Tento typ „skrytej obezity“ sa nazýva sarkopenická a môže sa nachádzať u ľudí s nízkou pohybovou aktivitou, nevyváženým jedálničkom alebo pacienti v nemocnici. Vďaka tomu takisto môžeme vidieť rozdielne hodnoty bazálneho metabolizmu u ľudí s rovnakou telesnou hmotnosťou a výškou, kde sa podľa štúdií uvádza, že zastúpenie FFM vysvetľuje až 65 – 90 % tejto variability [9, 13, 16].

3.1.2. Beztuková a tuková hmota

Podľa najjednoduchšieho dvojkompartmentového modelu, rozdeľujeme telesné zloženie na dve časti: **beztukovú hmotu (FFM) a tukovú hmotu (FM).**

FFM sa skladá zo všetkých netukových tkanív v organizme a predstavuje hlavnú aktívnu zložku metabolizmu. FFM je z veľkej časti tvorená vodou, ktorá tu zastupuje až 73,6 %. Ďalej sem zahŕňame proteíny, minerálne látky a glykogén. Inými slovami sem patria všetky orgány, kostrové svalstvo, skelet a spojivové tkanivo. Niektoré práce preferujú rozdelenie podľa

štvorkompartmentového modelu, ktoré rozdeľujú FFM ešte na celkovú telesnú vodu (ang. *total body water,* TBW), proteíny a minerálne látky [46, 47].

Ďalší názov s ktorým sa môžeme stretnúť pri charakteristike beztukovej hmoty je LBM (ang. *lean body mass*). Aj keď sa často FFM a LBM považujú za synonymá, nie je tomu tak. LBM zahrňuje len svalovú a kostnú hmotu spolu s intracelulárnou a extracelulárnu vodou. Vo FFM je však zahrnutá aj esenciálna tuková hmota [9].

Energetická a nutričná rovnováha v prijímanej strave udržiava primeraný obsah FFM v tele človeka a takisto prispieva k dobrému vzájomnému pomeru tukovej a netukovej zložky. Tento pomer sa líši najmä podľa pohlavia, fyzickej aktivity, veku a genetiky.

Hlavnou funkciou **FM** je energetická rezerva, pretože pozostáva z triglyceridov, ktoré majú vysokú kalorickú hodnotu. Tukové hmota obsahuje 83 % tuku, 15 % vody a 2 % bielkovín. Esenciálny tuk v sebe zahŕňa fyziologický tuk v kostnej dreni, CNS, vnútorných orgánoch a bunečných membránach, u ženského pohlavia zahŕňa taktiež tuk v prsných žľazách a v panvovej oblasti [9].

Čo predstavuje **normálne rozmedzie FFM a FM** v dospelej populácií je stále diskutabilná téma. Ako referenčné hodnoty sa u mužov uvádzajú 3 % esenciálnej tukovej hmoty a 12 % zásobnej tukovej hmoty (spolu 15 % FM), 44,8 % svalovej hmoty, 14,9 % kostného tkaniva a 25,3 % ďalších zložiek. U žien je potreba FM takmer dvojnásobná – a to 12 % esenciálnej FM a 15 % zásobného tukového tkaniva (spolu 27% FM). Svaly v priemere tvoria 36 % telesného zloženia, kostné tkanivo 12 % a 25 % tvoria ostatné komponenty [9].

Predpokladá sa však, že percentuálne zastúpenie tukovej hmoty u zdravého človeka môže byť aj o niečo vyššie. Uvádza sa rozmedzie 13 - 21 % u mužov a 23 - 31 % u žien. U starších jednotlivcov sa hranica dvíha. Pre mužov nad 40 rokov je to 25 %BF (ang. *body fat percentage*), u žien 35 %BF. U hospitalizovaných pacientov je viac pravdepodobná znížená hodnota FFM a nízke alebo nadmerné hodnoty %BF [9, 12, 45].

Mimo daných rozmedzí nastávajú zdravotné problémy spojené s nadváhou alebo naopak podváhou, avšak nie je to pravidlo. Pre športovcov môže byť výhodné nižšie zastúpenie tuku – dostatočné množstvo, ktoré síce zabezpečuje energetické rezervy, izoláciu a hormonálnu aktivitu, ale zároveň nezaťažuje nadbytočnou váhou pri športovom výkone. Naopak u niektorých populácií, ako napríklad aljašských rybárov je vhodnejšie vyššie zastúpenie tuku z dôvodu chladnejších klimatických podmienkach, kde vďaka izolácií tukom strácajú menej tepla [12].

Napriek tomu, že FFM je hlavný determinant hodnôt BMR, u jedincov s rovnakým množstvom FFM v tele sa môžu stále značne líšiť, a to o 28 – 32 % . Napríklad pri meraní BMR

u dvoch osôb s identickou hmotnosťou beztukovej hmoty (FFM = 43 kg) jeden z účastníkov spálil až 7,5 MJ/d, avšak druhá meraná osoba mala hodnotu BMR približne 4,5 MJ/d. Je vhodné podotknúť, že rozdiel medzi týmito hodnotami tvorí 3 MJ, čo je približne rovnaké množstvo energie, ktoré by priemerná osoba s hmotnosťou 43 kg FFM vynaložila 10 km beh [17].

Je zrejmé, že samotná hodnota FFM a FM bez zohľadnenia telesnej výšky jedinca by nebola objektívna. Pre tento účel sa vytvorili indexy FFMI (ang. *fat-free mass index*) a FMI/ BFMI (ang. *fat mass index/ body fat mass index*), ktoré sa často využívajú v novších vedeckých výskumoch [45, 46, 48–50].

Referenčné hodnoty FFMI a FMI sa líšia na základe rasy, veku a pohlavia. K tejto téme boli vypracované rozsiahle štúdie, ktoré analyzovali primerané telesné zloženie pre rôzne vekové kategórie a pohlavie. Väčšina z týchto výskumov bolo prevedených na europoidnej rase, na mongoloidnú rasu bola zameraná len jedna. Výskum sústredený na negroidnú rasu alebo jednotlivé etnické skupiny sa mi medzi uverejnenými štúdiami nepodarilo nájsť. Každá z týchto prác má však odlišne definované vekové skupiny, čo porovnávanie výsledkov mierne komplikuje, preto si ich rozoberieme postupne.

Švajčiarsky výskum pod vedením doktorky Ursuly G. Kyle skúmal hodnoty FFM a FM u 5225 zdravých respondentov v rozmedzí 15 - 98 rokov, ktorý boli rozdelení do ôsmich skupín. Najvyššie priemerné hodnoty FFM u mužov dosiahla veková skupina 35 - 44 rokov (FFM= 60,3 ± 5,8 kg) a u žien to bolo vo veku 45 - 54 rokov (43,3 ± 4,7 kg). Zo všetkých vekových skupín ženského pohlavia sa 90 % respondentiek nachádzalo v rozmedzí 37 až 48 kg FFM. Ženy mladšie ako 45 rokov mali len o niečo menšiu hmotnosť FFM, a to 42,6 - 42,9 ± 4,1 kg. V starších vekových kategóriách nasledoval postupný pokles. Priemerný FFM bol o 8,9 kg (14,8 %) nižší u mužov nad 85 rokov ako u mužov vo veku 35 až 44 rokov a 6,2 kg (14,3 %) nižší u žien nad 85 rokov ako u žien vo veku 45 až 54 rokov [51].

FM aj percentuálne zastúpenie tukovej hmoty bolo najnižšie u mužov 15 - 24 rokov (FM = 14,9 ± 5,7 kg; %BF = 16,2 ± 4,5) a najvyššie u mužov nad 85 rokov, kde boli priemerné hodnoty %BF takmer dvojnásobné ako u prvej skupiny. FM u ženského pohlavia bola taktiež najnižšia vo veku 15 až 24 rokov a táto hodnota postupne rástla až po vekovú skupinu 65 - 74 rokov. Nad touto vekovou hranicou sa však priemerná hmotnosť FM v tele začala znižovať. Treba však podotknúť, že percentuálne zastúpenie FM v tele u tejto skupiny naďalej rástlo. Ako vysvetlenie môžeme uviesť údaje z predošlého odstavca, kde vidíme, že spolu s tukovou hmotou ubúda aj tá beztuková a mení sa hlavne vzájomný pomer kompartmentov. U 90 % respondentiek sa nachádzali hodnoty FM v rozmedzí 10,7 až 25,9 kg (20,8 – 37,6 %BF) [51].

Ďalšia švajčiarska práca z tej istej geografickej oblasti (Ženeva, Lausanne) s 5635 účastníkmi (24 - 98 rokov) sa zamerala na priemerné hodnoty FFMI a FMI respondentov. Medián FFMI u skupiny 18 - 34 ročných mužov činil 18,9 kg/m^2, 5. – 95. percentil tvorili hodnoty 16,8 - 21,1 kg/m^2. U žien bola táto hodnota približne o 20% nižšia (FFMI= 15,4 kg/m^2), 90 % z nich v rozmedzí 13,8 – 17,6 kg/m^2. Medián FMI bol u skupiny 18 – 34 rokov 4,0 kg/m^2 (P5 – P95 = 2,2 – 7,0 kg/m^2) u mužov a 5,5 kg/m^2 u žien (P5 – P95 = 3,5 – 8,7 kg/m^2). Od najmladšej po najstaršiu vekovú kategóriu sa FMI postupne zvýšila až o 55 % u mužského pohlavia a o 62 % u ženského pohlavia. (viz *Obrázok 1*) [49].

Table 2 Percentiles values for FFM and FM index in men and women by different age categories

	P5		*P10*		*P25*		*P50*		*P75*		*P90*		*P95*	
Age (y)	*M*	*F*	*M*	*F*	*M*	*F*	*M*	*F*	*M*	*F*	*M*	*F*	*M*	*F*
Fat-free mass index (kg/m^2)														
18–34	16.8	13.8	17.2	14.1	18.0	14.7	18.9	15.4	19.8	16.2	20.5	17.1	21.1	17.6
35–54	17.2	14.4	17.6	14.7	18.3	15.3	19.2	15.9	20.1	16.7	21.1	17.5	21.7	18.0
55–74	17.0	14.1	17.6	14.6	18.4	15.4	19.4	16.2	20.3	17.4	21.1	18.4	22.1	19.0
>75	16.6	12.9	16.9	13.7	17.6	14.7	18.5	15.9	19.4	17.0	20.9	18.1	21.2	18.7
Fat mass index (kg/m^2)														
18–34	2.2	3.5	2.5	3.9	3.2	4.6	4.0	5.5	5.0	6.6	6.1	7.8	7.0	8.7
35–54	2.5	3.4	2.9	3.9	3.7	4.8	4.8	5.9	6.0	7.3	7.2	8.8	7.9	9.9
55–74	2.8	4.5	3.4	5.4	4.3	6.5	5.7	8.3	7.2	10.3	8.4	12.0	9.3	13.5
>75	3.7	4.9	4.3	5.6	5.2	7.5	6.4	9.3	7.6	11.4	9.0	13.5	10.1	14.3

Obrázok 1: Percentilové zastúpenie FMI a FFMI u mužského a ženského pohlavia v závislosti na vekovej kategórií [49].

V nadväzujúcej práci tá istá skupina autorov vztiahla získané údaje k hodnotám BMI. Zistili, že pri BMI v normálnom rozmedzí (18,5-24,9) tvoria hodnoty FFMI u mužov 16,7 až 19,8 kg/m^2 a u žien 14,6 až 16,8 kg/m^2. Hodnoty FMI boli v rozmedzí 1,8 až 5,2 kg/m^2 a 3,9 až 8,2 kg/m^2. U obéznych jedincov s BMI nad 30 kg/m^2 FMI vzrástlo na 8,3 kg/m^2 (muži) a 11,8 kg/m^2 (ženy). Percentuálne zastúpenie tukovej hmoty bolo pri BMI v norme 10,8 - 21,6 % a 21,7 - 33,1 % (viz *Obrázok 2*) [45].

FFMI, BFMI, AND %BF VALUES FOR VARIOUS BMI VALUES IN HEALTHY CAUCASIAN ADULTS*

BMI (kg/m^2)	FFMI (kg/m^2)	BFMI (kg/m^2)	%BF	%BF†
Men (n = 2982)				
30.0	21.7	8.3	28.8	29.1
27.8	20.9	6.9	25.8	25.9
25.0	19.8	5.2	21.7	21.3
20.0	17.5	2.5	13.4	12.0
18.5	16.7	1.8	10.8	9.0
Women (n = 2647)				
30.0	18.2	11.8	40.0	40.8
27.3	17.5	9.8	36.5	37.4
25.0	16.8	8.2	33.2	33.8
20.0	15.1	4.9	24.6	24.0
18.5	14.6	3.9	21.7	20.6

* FFMI, BFMI, and %BF were determined from regression equations shown in Figures 2 to 5.
† %BF predicted from BFMI ranges determined in column 2.
%BF, percentage of body fat; BFMI, body fat mass index; BMI, body mass index; FFMI, fat-free mass index

Obrázok 2: Priemerné hodnoty FFMI, BFMI a %BF vo vzťahu s hodnotami BMI u zdravých jedincov kaukazskej rasy [45].

O niečo menší výskum prebehol v Taliansku (n =1866) na vzorke vo veku 20-80 rokov, pri ktorej však na meranie telesného zloženia bola namiesto BIA použitá technológia DXA, čo môže skresliť výsledky. Napriek odlišnej populácií sa zistené hodnoty veľmi podobajú predošlým výsledkom zo Švajčiarska. U mužov bol priemerný FFMI 19,9 ± 1,9 kg/m^2 a vo vekových skupinách sa hodnoty menili len minimálne. Referenčný rozsah (5. - 95. percentil) pre všetky mužské subjekty tvoril 17,0 – 23,7 kg/m^2. U žien bol priemerný FFMI 16,1 ± 1,8 kg/m^2 a mierne stúpal s vekom. Referenčné hodnoty (5. - 95. percentil) boli podobné pre všetky vekové skupiny žien, a to v rozmedzí od 13,6 do 19,4 kg/m^2. Významné rozdiely boli u skupín 30 - 39 a 50 - 59 ročných v porovnaní s predchádzajúcimi vekovými skupinami. U najstaršej skupiny (70 - 80 rokov) FFMI výrazne klesalo, čo môžeme taktiež pozorovať v predošlých prácach [46].

Podľa štúdie prevedenej v Južnej Kórei, ktorá taktiež používala technoĺógiu DXA sa FFMI pohybovala u mužov vo vekovej skupiny 18 – 59 rokov v rozmedzí 16,3 až 22,3 kg/m^2, u % FM boli hodnoty medzi 9,2 % a 30,5 % (P5 - P95). Ženy mali FFMI v rozmedzí 13,3 a 17,8 kg/m^2 a %BF v rozmedzí 20,8 a 42,2 %. Údaje o FFMI u kórejských žien boli o 20% nižšie ako u mužov, zatiaľ čo %BF bolo u žien o 10 % vyššie, V porovnaní s európskymi štúdiami majú kórejské ženy o niečo nižšie hodnoty FFMI a %BF, muži mali tieto hodnoty veľmi podobné [48].

3.1.3. Pohlavie

Bazálny energetický výdaj mužov je v priemere o 5 – 15 % vyšší ako u žien s rovnakou hmotnosťou. Rozdiel je prevažne spôsobený väčším zastúpením metabolicky aktívnej FFM v mužskom tele.

Otázkou zostáva či tento rozdiel môžeme vidieť medzi pohlaviami aj pri zohľadnení rozdielneho zloženia tela. Prispôsobenie hmotnosti metabolicky aktívnej bunečnej hmoty mozgu, viscerálnych orgánov, srdca a kostrového svalstva by podľa viacerých autorov mala rozdiely eliminovať. Jedna zo štúdií zameraná síce zaznamenala rozdielny energetický výdaj počas dňa pri bežnom režime (cca 100 kcal/deň), pri zohľadnení faktorov beztukovej hmoty, tukovej hmoty a veku u hodnôt RMR a SMR však nenašla signifikantné rozdiely medzi pohlaviami. Viaceré štúdie tieto zistenia podporili [52–55].

V jednej z práci s pomerne veľkou vzorkou (n = 322) sa však pri meraní preukázali u mužskej vzorky vyššie hodnoty RMR až o 21 - 24 % (v závislosti na vekovej skupine), avšak po zohľadnení FFM a veku sa tento rozdiel znížil na 3 - 5 % oproti hodnotám u ženskej vzorky. Pri prepočítaní na energiu táto hodnota tvorí približne 50 kcal/deň [56].

Rozdiely medzi ženským a mužským pohlavím môžeme vidieť aj v závislosti na fáze menštruačného cyklu či menopauzy, vďaka ktorému sa hodnoty BMR môžu výrazne líšiť a pomer rozdielov sa tým mení. Táto práca však dané rozdiely nezistila a rovnaké zníženie BMR u žien zaznamenala vo všetkých spomenutých obdobiach. Podrobnejšie si dôvody týchto zmien popíšeme v podkapitole *3.2. Špecifické pre ženské pohlavie* [56] .

3.1.4. Vek

Vplyv veku na BMR môžeme taktiež z veľkej časti vysvetliť zmenami obsahu FFM v rôznych štádiách života.

Existuje množstvo rozdielov medzi telesným zložením detí a dospelých. Deti majú nižšiu telesnú hmotnosť a FFM ako dospelí. Taktiež denzita FFM je u detí signifikantne nižšia ako u dospelých. Meranie zloženia tela u detí je náročné, a to z dôvodu rýchlych zmien týkajúcich sa výšky, hmotnosti, beztukovej a tukovej hmoty, ktoré sú spojené s rastom. Tieto zmeny ovplyvňujú aj BMR [57, 58].

Ako príklad rapídnych zmien v zložení tela môžeme uviesť priemerné hodnoty za prvých desať rokov života dieťaťa. Celková telesná voda klesá u novorodenca z 80,6 % FFM na 75,1 % vo veku 10 rokov u chlapcov a na 76,9 % u dievčat. Percentuálne zastúpenie tuku u priemerného chlapca sa zvyšuje z novorodeneckej hodnoty 13,7 % na 25,4 % v 6. mesiaci života a potom znovu klesá na hodnotu 13,7 % u 10-ročných chlapcov. Percento telesného tuku

sa v priemere zvyšuje u dievčat zo 14,9 % na 26,4 % po 6. mesiacoch od narodenia, a následne postupne klesá do 10. roku života na 19,4 % [59].

U 4 - 5 ročného dieťaťa (17 kg ± 2,91) tvorí RMR v priemere 868 kcal/deň, čo je približne 50 kcal/kg/deň. V porovnaní s dospelou populáciou majú teda deti vo vzťahu k telesnej hmotnosti podstatne vyšší bazálny aj kľudový metabolizmus [60].

Pomer RMR k telesnej hmotnosti ďalej postupne klesá na približne 30 – 40 kcal/kg/deň u detí v rozmedzí 6 - 12 rokov. V 18. roku života je to cca 26 kcal/kg/deň, čo je štandard v bežnej dospelej populácií [61].

Ako sme si v podkapitole o hodnotách FFMI a FMI u rôznych vekových kategórií preukázali, predpoklad najvyššej hodnoty FFMI má veková skupina medzi 30. až 59. rokom s následným poklesom najmä po 70. roku života. Zmeny sú spojené hlavne s úbytkom pohlavných hormónov ako u mužov, tak aj u žien. Po prekročení tejto vekovej hranice má FFM tendenciu klesať, zatiaľ čo percentuálne zastúpenie celkového tuku v tele sa zvyšuje a jeho ukladanie sa sústreďuje primárne do abdominálnej oblasti. Tieto zmeny majú veľký dopad na funkciu FM v tele a tým aj na zdravie jedinca [23, 46].

U žien je najvýraznejší pokles RMR vo veku 51 až 8l rokov a pred týmto obdobím zníženie nebýva veľmi významné. U mužov môžeme zníženie zaznamenať skôr, a to približne od 40. roku života [62].

Forbes navrhol, že pre stabilizáciu a zabránenie úbytku FFM u starších osôb by bolo potrebné zvýšenie telesnej hmotnosti o 2,3 kg za dekádu, čo tvorí za toto obdobie nárast BMI približne o 0,9 kg/m^2 . Ďalšia štúdia navrhla ako dostačujúci pre udržanie vhodných hodnôt FFM pomerne vyšší nárast BMI, a to 1,9 kg/m^2 u mužov a 4,0 kg/m^2 u žien starších ako 60 rokov [46, 63].

Ďalším z potenciálnych faktorov vplývajúcich na zníženie RMR u seniorov po zohľadnení vplyvu FFM môže byť znížená maximálna rýchlosť spotreby kyslíka VO_{2max} či plazmatické hodnoty thyroidných hormónov. Pri spárovaní jedincov s rovnakou hmotnosťou FFM a vekom, ale s rôznymi hodnotami VO_{2max} bola u trénovaných mladších mužov (8 %) a trénovaných starších mužov (11 %) zaznamenaná vyššia hodnota RMR v porovnaní s netrénovanými jedincami v ich kategórií [64].

3.1.5. Genetické a hormonálne vplyvy

Tvar a veľkosť tela jedinca závisí z veľkej časti na **genetických predpokladoch**. Podľa výskumov je viac ako 127 ľudských kandidátnych génov asociovaných s obezitou. Dané gény môžeme nájsť na každom chromozóme okrem chromozómu Y. Defekt na niektorom z nich

môže priamo viesť k vzniku nadváhy a obezity, či už ovplyvnením apetítu alebo samotného BMR [65, 66].

Genetický vplyv na telesnú hmotnosť a zloženie sa veľmi dobre testuje na jedincoch s rovnakým genómom - teda na jednovaječných dvojčatách. Niekoľko dobre kontrolovaných štúdií s monozygotnými dvojčatami sa špecificky zaoberalo genetickým vplyvom na interindividuálne variácie v reakcií na nadmerný príjem energie alebo naopak jej obmedzenie [67–70].

Jedna z daných štúdií sledovala 12 párov dvojčiat s energetickým príjmom navýšeným o 1000 kcal/deň po dobu 100 dní. Priemerný prírastok telesnej hmotnosti pre 24 subjektov bol 8,1 kg, avšak rozdiely boli značné. Rozsah prírastku hmotnosti sa pohyboval medzi 4 až 12 kg. Podľa výsledkov bola táto heterogenita silne asociovaná s genotypom dvojčiat [68].

Odpoveď na deficit energetického príjmu testovala ďalšia práca, ktorá skúmala efekt 4-týždňovej diéty s veľmi nízkym obsahom energie (380 kcal/deň) na 14 pároch obéznych dvojičiek. Účastníčky v priemere znížili svoju hmotnosť o 8,8 ± 1,9 kg a 6,5 ± 2,3 kg telesného tuku. Strata telesnej hmotnosti sa však pohybovala od 5,9 do 12,4 kg a 3,5 až 12 kg tukového tkaniva s vysokou koreláciou medzi pármi dvojičiek [70].

Je všeobecne známe, že niektorí jedinci budú priberať alebo chudnúť výrazne jednoduchšie ako iní. Výsledky týchto vedeckých prác vedú k hypotéze, podľa ktorej má každý jedinec geneticky determinovanú telesnú hmotnosť. Očividne sú však genetické faktory výrazne ovplyvnené tými environmentálnymi, inak by sme v posledných desaťročiach nezaznamenali tak výrazný nárast obezity. Zvýšený energetický príjem či znížená fyzická aktivita by v opačnom prípade mali na navýšenie hmotnosti minimálny vplyv. Touto hypotézou však môžeme z časti vysvetliť prečo je u obéznych jedincov po redukcií tak náročné udržať dosiahnutú hmotnosť a viac ako 95 % u nich priberie stratenú hmotnosť do 5 rokov naspäť [10, 66].

Väčšina monogénnych prípadov obezity je spojovaná s mutáciou, deléciou alebo inzerciou v géne pre **melanokortínový receptor** (MCR), ktorý je zapojený do regulácie apetítu. Z hľadiska anorexigenního pôsobenia je najvýznamnejší práve MCR4 lokalizovaný v hypothalame. Jeho aktivácia vedie k zvýšeniu energetického výdaja (aktiváciou sympatika), zníženiu príjmu potravy, aktivácií thyroideálnej osi, poklesu sekrécie inzulínu a zvýšeniu inzulínovej senzitivity. Prevalencia mutácií MCR4 sa u morbídne obéznych jedincov podľa rôznych štúdií pohybuje od 0,5 % - 5,8 % [66, 71–73].

Pri regulácii energetickej rovnováhy hrá kľúčovú rolu adrenergný systém. Účastní sa regulácie termogenézy, metabolizmu glykogénu a mobilizácie lipidov v tukovom tkanive. Z

tohto dôvodu variácie v sekvencií DNA v **beta adrenergnom receptore** môžu výrazne ovplyvniť energetický metabolizmus organizmu [65].

Uncoupling proteíny (UCP) môžu taktiež hrať významnú rolu pri výdaji či šetrení energie. V podkapitole zložiek bazálneho metabolizmu sme tieto proteíny spomenuli v súvislosti s produkciou tepla počas fyzickej aktivity. V regulácii energetického metabolizmu môžu hrať úlohu odpojením dýchacieho reťazca a fosforylácie, vďaka čomu nie je vytvorená energia zabudovaná do adenozíntrifosfátu a uvoľňuje sa vo forme tepelnej energie. Toto „plytvanie" energiou teda automaticky navyšuje energetický výdaj. UCP1 bol prvý objavený mitochondriálny transmembránový nosičový proteín a preukázalo sa, že je zodpovedný za vysokú termogénnu kapacitu hnedého tukového tkaniva. UCP2 je exprimovaný vo väčšine tkanív, zatiaľ čo UCP3 sa prevažne nachádza v kostrovom svalstve [65].

Niekoľko štúdií preukázalo, že polymorfizmus BclI génu UCP1 modifikuje zmenu telesnej hmotnosti v reakcii na zmenu energetickej bilancie [40, 74–76].

Jedna z nich skúmala vplyv polymorfizmu u 163 pacientov s BMI $\leq$ 27. Po 10-týždňovej nízkokalorickej diéte (25% energetické obmedzenie) homozygoti s polymorfizmom schudli menej (4,6 kg) v porovnaní s heterozygotmi (5,7 kg). Najlepšie dopadli homozygoti bez prítomnosti polymorfizmu, ktorí schudli v priemere 7,1 kg [74] .

Genetické faktory z veľkej časti ovplyvňujú **hormonálne procesy** v tele. Mechanizmus, ktorý ovplyvňuje náš energetický príjem a výdaj v krátkodobom aj dlhodobom období je z veľkej časti založený na hormonálnej regulácií.

Primárne súvisia s reguláciou samotných hodnôt BMR najmä thyroidné hormóny, katecholamíny, kortizol, rastový hormón, pohlavné hormóny a CRP.

Hormóny štítnej žľazy (najmä voľná frakcia T3) sú hlavnými endokrinnými regulátormi metabolizmu a ich hypermetabolické účinky sú všeobecne známe. Charakteristickým znakom hypertyreózy je zvýšený metabolický obrat a tým často znížená telesná hmotnosť. Astrup a kol. naopak zistili, že obézne ženy, ktoré zredukovali svoju hmotnosť, mali nižšie plazmatické hladiny T3 a hodnoty BMR ako kontrolná skupina, ktorá v minulosti nebola obézna [77, 78].

Väčšina obéznych jedincov má však zachovanú normálnu funkciu štítnej žľazy. Napriek tomu je subklinická hypotyreóza u dospelej populácie častá a u pacientov s abnormálne vysokou hladinou TSH bol zaznamenaný mierne znížený energetický výdaj. Okrem toho môže subklinická hypotyreóza zvýšiť riziko metabolického syndrómu [78].

Ukázalo sa, že thyroidné hormóny modulujú mnoho metabolických ciest, ktoré sú potenciálne relevantné pri ovplyvňovaní BMR. Vo všeobecnosti je však ich hlavná cesta

regulácie ovplyvnenie už viackrát vysvetlených uncoupling proteínov, čím sa znižuje účinnosť metabolických procesov a zvyšuje produkcia tepelnej energie [79].

Katecholamíny ovplyvňujú metabolizmus stimuláciou sympatického nervového systému. Typicky sa plazmatické hodnoty adrenalínu a noradrenalínu zvyšujú počas fyzickej záťaže, avšak dlhodobo zvýšené hodnoty sú spojené s hypermetabolickým stavom (napr. počas závažnej traumy, stresu či popálenín) [80, 81].

Nádor drene nadobličiek (feochromocytom) spôsobujúci nadprodukciu katecholamínov rapídne navyšuje bazálny metabolizmus. Podľa Petráka a kol. sú hodnoty RMR o 10 % vyššie, iné práce uvádzajú aj výraznejšie zmeny [82].

Pohlavné hormóny vzhľadom k dlhodobému navýšeniu metabolizmu reprezentuje najmä testosterón. Mužské pohlavie má vďaka podstatne vyšším hodnotám testosterónu, ktorý stimuluje proteosyntézu v svalstve, vyššie zastúpenie FFM. Je teda jedným z hlavných faktorov v rozdielnych hodnotách BMR medzi pohlaviami. Pomerne staré práce, ktoré skúmali vplyv substitučnej liečby u hypogonadálnych mužov s deficitom endogénneho testosterónu zaznamenali zvýšenie BMR o 5 – 60 % [83].

Vplyvu typicky ženských hormónov bude venovaná celá podkapitola *3.2 Špecifické pre ženské pohlavie.*

Ďalšia hormonálna regulácia ovplyvňuje hlavne apetít jedinca, a tým jeho energetický príjem. Krátkodobo ovplyvňujú reguláciu najmä hormóny produkované v tenkom čreve a žalúdku. Patria sem cholecystokinín, oxyntomodulín, apolipoproteín, peptid YY, glukagon-like peptid 1, apelín, gastrin-related peptide, neuromedín B a C, bombezín, obestatín a ďalej pankreatické hormóny glukagón, amylin, pankreatický polypeptid, somatostatín, inzulín a mnoho ďalších. Tieto hormóny majú prevažne anorexigenné účinky (potlačujú apetít) a ich produkcia/absencia vplýva na reguláciu apetítu primárne pomocou centrálneho systému. Medzi orexigenné hormóny, ktoré zvyšujú pocit hladu v tejto skupine radíme ghrelín. Dlhodobo ovplyvňuje príjem potravy z periferne produkovaných hormónov hlavne inzulín, leptín, adiponektín a adipsín [84].

Centrálna regulácia je lokalizovaná v hypothalame a je výsledkom pôsobenia antagonistických neuromediátorov. Oblasť hypothalamu, kde regulácia hladu prebieha sa nazýva **arcuate nucleus**. Produkujú sa tu dva typy neurotransmiterov: orixogenné neurotransmitery (neuropeptid Y, agouti-related protein) a anorexigenné neurotransmitery (už spomínané melonokortikoidy) [9].

Regulácia sýtosti a hladu je veľmi komplexná téma a pre potreby tejto práce si preto viac priblížime len niektoré z hlavných hormónov.

Ako prvý z nich uvedieme tzv. „hormón hladu“ **ghrelín**, ktorý reguluje apetít pomocou vplyvu na arcuate nucleus. Ghrelín je gastointestinálny peptid produkovaný žalúdkom a duodenom a patrí medzi orexigenné hormóny. Sekrécia tohto hormónu stúpa v postpradiálnej fáze a pomocou receptorov v hypothalame stimuluje uvoľnenie neurotransmiterov, ktoré zvyšujú pocit hladu. Po konzumácií potravy sekrécia ghrelínu klesá a tým sa utlmuje aj pocit hladu. Ghrelín sa okrem krátkodobej regulácie apetítu zdá byť aj súčasťou mechanizmu dlhodobej energetickej bilancie. Je to anabolický hormón, ktorý okrem zvyšovania príjmu potravy znižuje využívanie tuku ako energetického substrátu pri metabolických procesoch v tele a zároveň podporuje ukladanie tukových zásob. Hladina cirkulujúceho ghrelínu negatívne koreluje s telesnou hmotnosťou a s percentuálnym zastúpením tuku v tele. Predpokladá sa, že táto skutočnosť môže hrať fyziologicky relevantnú úlohu v období hladovania a nedostatku potravy, kde zvýšená hladina ghrelínu spôsobí, že telo využíva energetické zásoby efektívnejšie. Naopak v časoch hojnosti, kde sa hmotnosť zvyšuje, nízke hladiny ghrelínu spôsobia, že človek bude konzumovať menej potravy a tvoriť menej tukových zásob. Niektoré polymorfizmy v géne ghrelínu boli asociované s nižšou telesnou hmotnosťou a obsahom tukového tkaniva v tele. Takisto sa preukázal častejší výskyt polymorfizmov u jedincov trpiacich poruchami príjmu potravy ako mentálna anorexia a bulímia [85–87].

Jeden z najdôležitých anorexigenných hormónov, ktorý vplýva na hypothalamus je **leptín**. Na rozdiel od predošlých hormónov, ktoré sú tvorené v GIT, leptín je produktom adipocytov. Leptín potlačuje sekréciu neuropeptidu Y a naopak stimuluje uvoľnenie melanokrotikoidov, ktoré potlačujú pocit hladu. Fyziologická úloha leptínu je korigovať množstvo zásobného tuku v tele. Logicky z tohto faktu vyplýva, že väčšie množstvo adipocytov produkuje vyššie koncentrácie leptínu v krvi, čo by malo dlhodobo potlačovať pocit hladu. V praxi tento dej funguje u jedincov s normálnou hmotnosťou, u obéznych pacientov sa však efekt vytráca. Najčastejší dôvod je tzv. leptínová rezistencia spôsobená vysokou obsahom adipocytov v tele a tým pádom aj koncentráciou leptínu v krvi. Problém však môže nastať aj v signalizačnej dráhe leptínu, a to v dôsledku poruchy alebo deficitu leptínu a leptínových receptorov spôsobenej genetickými mutáciami. Mutácie génu leptínu vedú k výraznej obezite už v detskom veku z dôvodu poškodenia regulácie sýtosti a hyperfágie. Nosiči mutácií vykazujú hypogonadizmus, hypotyreózu a majú takmer nedetegovateľné hladiny leptínu. Tieto problémy sa riešia subkutánnym podávaním leptínu [73, 88].

3.1.6. Etnické skupiny a rasa, klimatické podmienky

Vplyv genetických faktorov súvisí takisto s rasovými a etnickými skupinami. Ako jedna z prvých rizikových skupín bola podľa viacerých štúdií uvádzaná indická populácia. V priemere mala hodnoty BMR o 10 – 18 % nižšie ako belošská populácia v Európe. Novšie výskumy, ktoré zohľadnili aj rozdiely v telesnej hmotnosti a FFM, a tým eliminovali hlavné zdroje rozptylu, však preukázali minimálne rozdiely v BMR medzi indickou a kaukázskou populáciou [14, 89].

Ďalšou študovanou etnickou skupinou, kvôli jej sklonu k vzniku obezity a diabetu mellitu 2. typu, boli členovia indiánskeho kmeňa Pima. Po zohľadnení obsahu FFM, veku a pohlavia však hodnoty energetického výdaju taktiež nevykazovali nižšie hodnoty ani u detí, ani u dospelých jedincov [90, 91].

Nespočetne veľa štúdií napriek tomu preukázalo, že zníženie BMR môžeme nájsť v mnohých populáciách nachádzajúcich sa v tropických oblastiach (Filipíny, India, Japonsko, Brazília, Čína, Malajzia a Jáva). Tieto zmeny by sa z časti dali vysvetliť rozdielnym zastúpením FFM v tele, ale aj prispôsobením na klimatické podmienky v tropickom pásme. Podľa veľkého množstva výskumu zameraného na vplyv podnebia možno výsledky zhrnúť takto: ak je BMR normalizované vzhľadom k FFM, populácie žijúce v tropickom pásme majú tendenciu k nižším priemerným hodnotám BMR ako populácie v miernom pásme. Najvyššie hodnoty majú osoby žijúce v polárnych oblastiach alebo vo vysokých nadmorských výškach [14, 92–97].

Pokles teploty prostredia o 1 °C zvyšuje bazálny metabolizmus o približne 4 – 5 kcal/deň. Pri navýšení teploty sa BMR o túto hodnotu naopak zníži. Dané zmeny môžeme pripísať prispôsobeniu sa chladným/tropickým podmienkam prostredníctvom krátkodobej aklimatizácie, pričom hormóny štítnej žľazy a aktivita hnedého tuku v tele hrajú dôležitú úlohu pri formovaní metabolických reakcií na teplotné zmeny. Krátkodobé zmeny môžeme údajne pozorovať aj pri zmenách ročných období, aj keď výsledky zamerané na túto problematiku nie sú jednoznačné [94, 97, 98].

Pri migrácií jedincov medzi tropickým a miernym pásmom bola zaznamenaná adaptácia na teplotné podmienky v danej oblasti, ich hodnoty BMR sa prispôsobili teplotným zmenám prostredia a boli v súlade s hodnotami jedincov narodených a žijúcich v danej oblasti [99, 100].

Dlhodobá genetická adaptácia by však mohla vysvetliť prečo pri porovnávaní etnických skupín žijúcich v tých istých klimatických podmienkach boli napriek krátkodobej adaptácií naďalej zaznamenané rozdiely v BMR. Galloway a kol. porovnávali bazálny metabolizmus jedincov domorodého (Evenki) a nedomorodého pôvodu (ruskí imigranti) žijúcich v severnej oblasti Ruska. Napriek tomu, že žili v rovnakých klimatických podmienkach, BMR na jednotku

hmotnosti a FFM boli podobné v prípade mužov, zatiaľ čo domorodé ženy mali vyššie hodnoty BMR ako ruské ženy [93].

Podobné zistenia uviedla práca skúmajúca Inuitov a prisťahovalcov európskeho pôvodu. Keď boli údaje vyjadrené na jednotku LBM, hodnoty boli opäť vyššie o 10 - 12 % u Inuitov [92].

Rush a kol. porovnával obéznych a neobéznych jedincov európskeho a polynézskeho pôvodu obývajúcich Nový Zéland. TDEE korelovala s telesnou hmotnosťou u všetkých skupín okrem obéznych dospelých polynézskeho pôvodu. Výskum tiež uvádza, že neobézni jedinci polynézskeho pôvodu vynaložili 50 % viac energie pomocou fyzickej aktivity ako neobézni jedinci európskeho pôvodu. Telesná hmotnosť a RMR spolu tvorili 66 % variácie v TDEE pre európsku skupinu, ale iba 17 % pre polynézsku skupinu [101].

Medzi jednu z najviac preskúmaných rizikových skupín, ktorých zmeny v BMR jednoznačne nepatria len pod vplyvy podnebia, patrí negroidná rasa. Afroamerické ženy majú najvyššiu prevalenciu nadváhy (82,1 %) a obezity (58,6 %) u akejkoľvek rasovej skupiny v USA. Väčšina štúdií uviedla nižšie hodnoty RMR u afroameričanov, a to v rozmedzí od 81 do 274 kcal/deň oproti kaukázskej populácií, čo tvorí približne 3 – 5 % rozdiel. Ako príčinu uvádzajú individuálne rozdiely v beztukovej hmote. Afroamerické ženy majú väčšie zastúpenie kostrového svalstva a kostnej hmoty na úkor zostatkového metabolicky aktívneho tkaniva vrátane pečene, srdca, mozgu a obličiek, ktoré tvoria majoritu bazálneho výdaju. Javí sa však, že u afroameričanov mužského pohlavia dané efekty nie sú tak silné ako u žien[102–104].

Jedna zo štúdií sa zamerala na vplyv fyzickej zdatnosti na riziko vzniku obezity. Potvrdila, že afroamerické ženy majú nižšie hodnoty RMR v porovnaní s beloškami a nižšia kardiorespiračná zdatnosť vysvetlila 25 % tohto rozdielu [105].

3.1.7. Fyzická aktivita a EPOC

Fyzická aktivita neovplyvňuje celkový energetický výdaj len počas trvania záťaže. Podľa intenzity a dĺžky môže takisto zvýšiť hodnotu RMR v zotavovacej fáze. Vzostup telesnej teploty a hormónov ako adrenalín v plazme naďalej stimuluje metabolickú aktivitu respiračného a kardiovaskulárneho systému. Táto elevácia má dočasný efekt a nazývame ju EPEE (ang. *the excess post-exercise energy expenditure*). Hodnota EPEE sa zisťuje pomocou porovnania spotreby kyslíka počas kľudového metabolizmu so zvýšenými hodnotami v období niekoľkých hodín po vykonaní fyzickej aktivity. Získaný rozdiel sa nazýva EPOC (ang. *excess postexcercise oxygen consumption*), ktorý odpovedá navýšeniu spotreby energie mimo samotné trvanie fyzickej aktivity [23, 106].

Trvanie fyzickej záťaže zvyšuje vo väčšine prípadov EPOC lineárnym spôsobom, najmä pri miernej až vysokej intenzite (> 50% VO_{2max}). Rezistenčný tréning má v porovnaní s aeróbnym zaťažením vyššiu hodnotu EPOC. Ako dôvod sa udáva zvýšený energetický výdaj počas regenerácie po rezistenčnej záťaži, aj keď niektoré štúdie dané rozdiely nezaznamenali [106–109].

V závislosti na type, intenzite a dĺžke pohybu sa podľa rôznych meraní RMR zvyšuje o 4 – 24 %. Obdobie, počas ktorého toto navýšenie trvá sa pohybuje v rozmedzí 15 – 30 min, kedy je zvýšenie spotreby kyslíku signifikantné. Po uplynutí 2 hodín od záťaže je však stále badateľné nepatrné navýšenie RMR, ktoré môže trvať niekoľko desiatok hodín. Ako priemer sa pri dlhodobom efekte EPOC považuje navýšenie RMR o 5 - 10 %. Po uplynutí 72 hodín však už zvýšené hodnoty nie sú detekovateľné [23, 110, 111].

Table 2. Long-term excess post-exercise oxygen consumption (EPOC) levels (percentage elevation of metabolic rate in exercised group when compared with controls) in a sample of studies of human subjects in which measurements extended beyond 2 h after the exercise was completed

Reference	Magnitude of EPOC (% above non-exercised control)	Time interval from completion of exercise (h)
Binzen *et al.* (2001)	18·6	2
Melby *et al.* (1992)	7·0	2
Melby *et al.* (1993)	11·7	2
	4·7–9·4	15
Osterberg & Melby (2000)	4·2	15
Dolezal *et al.* (2000)		
Trained subjects	11·0	24
	6·4	48
	0	72
Untrained subjects	24·7	24
	16·8	48
	0	72

Obrázok 3: Zhrnutie výsledkov vedeckých prác skúmajúcich dlhodobý účinok EPOC (pri meraniach trvajúcich dlhšie ako 2 hodiny po ukončení fyzickej aktivity) na percentuálne navýšenie RMR oproti kontrolným skupinám bez fyzickej aktivity [110].

Niektoré štúdie zaoberajúce sa účinkami vytrvalostného tréningu na BMR propagujú názor, že level fyzickej aktivity nemá významný vplyv na samotné hodnoty BMR alebo SMR. Tieto štúdie vo všeobecnosti naznačujú, že fyzická aktivita nemá žiadny chronický dlhodobý účinok na SMR alebo BMR a zmeny v hodnotách zvyčajne vysvetľujú zmenami v telesnom zložení zapríčinenými fyzickou záťažou [112, 113].

V jednej z práci však fyzická aktivita u vytrvalostných športovcov vykazovala vplyv na zvýšenie BMR, nie len hodnôt EPOC. Aj po zohľadnení FFM mali športovci pri meraní najmenej 39 hodín po poslednej fyzickej aktivite zvýšený bazálny metabolizmus až o 16 % oproti kontrolnej skupine s rovnakými hodnotami FFM. V predošlých odstavcoch sme si však

ukázali, že dlhodobý vplyv EPOC môže trvať až po dobu 72 hodín, čo by čiastočne mohlo dané zvýšenie vysvetliť [114].

3.1.8. Konzumácia kofeínu a nikotínu

Kofeín patrí medzi zlúčeniny nazývané metylxantíny, kde zaraďujeme aj teobromín, paraxantín a teofylín. Kofeín je prítomný v káve, čaji, kakau, čokoláde a niektorých kolových nápojoch. Už od začiatku 20. storočia je známe, že kofeín a káva môžu stimulovať energetický výdaj. Použitie kofeínu alebo jeho kombinácii s inými látkami boli preto navrhnuté k liečbe obezity. Mechanizmus účinku kofeínu na zvýšenie metabolizmu sa vysvetľuje jeho vplyvom na uvoľňovanie katecholamínov do krvného obehu. Ďalšie práce však uvádzajú aj iné cesty: kofeín zvyšuje lipolýzu inhibíciou cyklickej nukleotidovej fosfodiesterázy, ktorá je zodpovedná za katalyzovanie konverzie cAMP na AMP. Výsledná vysoká koncentrácia cAMP aktivuje hormón-senzitívnu lipázu a tým podporuje lipolýzu [115–117].

Podľa odporúčaní by denný príjem kofeínu u zdravej dospelej populácie nemal prekročiť 400 - 450 mg (5,7 - 6,4 mg/kg/deň), pre gravídne ženy je to 300 mg/deň. Aj keď by sa deti vo všeobecnosti mali konzumácií kofeínu vyhýbať, ako bezpečná sa považuje u menších detí dávka 45 mg/deň (2,5 mg/kg/deň). Aj keď neboli zaznamenané smrteľné prípady, ako toxická dávka sa považuje príjem 10 g kofeínu [115–117].

Pre zhodnotenie účinkov kofeínu a kávy na rýchlosť metabolizmu a využitie substrátov boli prevedené pokusy u jedincov s normálnou aj nadmernou hmotnosťou. V prvom z nich bol subjektom s normálnou telesnou hmotnosťou podaný kofeín v dávke 8 mg/kg (ekvivalent 5-6 šálok kávy) a porovnával sa s efektom placeba. Rýchlosť metabolizmu sa významne zvýšila počas 3 hodín po požití kofeínu. Oxidácia glukózy v plazme sa významne nezmenila, hladiny mastných kyselín v plazme sa však zvýšili a táto elevácia bola sprevádzaná výrazným zvýšením oxidácie tukov počas poslednej hodiny testu. V ďalšom experimente sa sledovali účinky kávy v dávke 4 mg/kg kofeínu (cca 3 šálky kávy) u kontrolných a obéznych jedincov. Rýchlosť metabolizmu sa významne zvýšila v oboch skupinách. Významné zvýšenie oxidácie tukov sa však pozorovalo iba v kontrolnej skupine. Narozdiel od skupiny s normálnou hmotnosťou, u obéznych jedincov nebola zaznamenaná elevácia voľných mastných kyselín v plazme. V poslednom pokuse sa káva skonzumovala spolu s pokrmom s energetickou hodnotou 3080 kJ. Diétou indukovaná termogenéza bol významne vyššia ako po pokrme konzumovaným s kávou bez kofeínu a oxidácia tukov bola opäť významne vyššia po prijatí kofeínu [118].

Energetický výdaj po požití kávy s kofeínom sa podľa práce Hollandsa a kol. navýšil o 16 % počas 2 hodín od jej konzumácie v porovnaní s kávou bez kofeínu. Ďalší experiment

pozoroval u 9 štíhlych a 9 obéznych osôb zvýšenie BMR o 3 - 4 % po jednorazovej perorálnej dávke 100 mg kofeínu. Efekt na zvýšenie metabolizmu sa javí byť lineárne závislý na podanej dávky. V ďalšej práci porovnávajúcej 20 žien (10 chudých a 10 obéznych) bolo pozorované zvýšenie termogenézy pri dávke 4 mg/kg kofeínu 5-krát denne, ale toto zvýšenie bol menšie u obéznych (4,9 ± 2,0 %) ako u štíhlych žien (7,6 ± 1,3 %) [116].

Avšak pri zhodnotení dlhodobého efektu konzumácie kofeínu oproti placebu na redukciu hmotnosti u obéznych subjektov neboli pozorované významné výsledky [119].

Výskumy takisto naznačujú, že kofeín ovplyvňuje okrem energetického výdaju aj množstvo konzumovanej stravy. Ukázalo sa, že zvýšená aktivita sympatiku vedie k poklesu príjmu energie. U mužov (ale nie u žien) dávka 300 mg kofeínu znížila príjem energie o 22 %. U oboch pohlaví bol však preukázaný pozitívny vplyv kofeínu na pocit sýtosti [116].

Schopnosť **nikotínu** regulovať chuť do jedla a telesnú hmotnosť je jedným z primárnych faktorov, ktorí bráni fajčiarom v trvalej abstinencií. Takisto sa uvádza ako častý dôvod počiatočného fajčenia u adolescentov, najmä u dospievajúcich dievčat. Podľa nedávneho výskumu zameraného na používanie elektronických cigariet až 13,5 % dospelých používateľov hlásilo ako príčinu udržiavanie telesnej hmotnosti. Je preukázané, že fajčiari sú prevažne štíhlejší ako nefajčiari alebo bývalí fajčiari, a niekoľko štúdií ukázalo, že BMI fajčiarov je vo všeobecnosti nižšie. Faktom však je, že ťažkí fajčiari majú tendenciu k vyšším hodnotám BMI ako fajčiari s nižšou konzumáciou nikotínu. Je známe, že fajčenie alebo požitie nikotínu zvyšuje bazálny metabolizmus. Dlhodobé efekty nikotínu na BMR boli niektorými štúdiami potvrdené, iné tento efekt vyvrátili. Po ukončení fajčenia sa však hodnota kľudového metabolizmu vo všeobecnosti znižuje, napriek tomu však 50 % jedincov po odvykacom procese nepriberie viac ako 3 kg. Iné práce ako priemerný prírastok na váhe určili približne 4 – 5 kg [120–124].

Nikotín je sympatomimetická látka, ktorá podporuje uvoľňovanie katecholamínov a iných neurotransmiterov pôsobiacich na centrálnej a periférnej úrovni. Fajčenie je vďaka tomu spojené so zvýšenou oxidáciou mastných kyselín a uvoľňovaním lipidov do krvného obehu. Účinok nikotínu na lipolýzu je čiastočne sprostredkovaný pomocou aktivácie adrenergného systému uvoľnenými katecholamínmi a čiastočne priamou aktiváciou nikotínového cholinergného receptoru umiestneného v tukovom tkanive. Výsledné zvýšenie metabolizmu tukov zvyšuje spotrebu kyslíka, čo vedie k zvýšenému prietoku krvi koronárnymi cievami a absorpcií kyslíka v myokarde [121].

Čo sa týka ovplyvnenia samotného BMR a apetítu, mechanizmy stále nie sú úplne objasnené.

Neuropeptidy v hypothalame sú zapojené do regulácie príjmu potravy a sú modulované cirkulujúcimi hormónmi ako leptín a ghrelín, ktorých úlohu sme si už objasnili v predošlom texte. Nikotínové receptory boli nájdené v regiónoch hypothalamu, ktoré regulujú chuť do jedla a ich distribúcia sa prekrýva s distribúciou leptínových receptorov. Predpokladá sa, že nikotín by mohol zosilňovať anorektické účinky leptínu. Ďalej väzba nikotínu na nikotínový acetylcholínový receptor v týchto miestach indukuje uvoľňovanie niekoľkých neurotransmiterov, ako sú už spomínané katecholamíny, serotonín, acetylcholín a GABA. Tie sú následne zapojené do zložitých procesov v hypothalame, ktorých výsledkom je zníženie apetítu a zvýšenie metabolizmu. Výsledné zvýšenie bazálneho metabolizmu sa odhaduje na približne 10 % po dobu 45 minúth od konzumácie [123, 124].

Hoci väčšina účinkov spojená s úbytkom hmotnosti je pripísaná nikotínu, významnú zložku tvoria aj behaviorálne zmeny, kde fajčenie slúži ako alternatíva ku konzumácií jedla. Fajčenie je spojené so zníženým apetítom, zatiaľ čo po ukončení fajčenia pozorujeme väčšie množstvo prijímanej stravy s vysokým obsahom cukru a tuku, ktoré je zodpovedné za nemalú časť prírastku na hmotnosti [123, 124].

3.2. Špecifické pre ženské pohlavie

Keďže praktická časť tejto práce je zameraná len na ženské pohlavie, priblížime si najmä faktory, ktoré by na meranie mohli mať významný vplyv.

3.2.1. Ovariálny cyklus

Najvýznamnejší faktor, na ktorý sa pri meraniach BMR u ženskej vzorky v odbornej literatúre často zabúda, je vplyv hormonálnych zmien počas ovariálneho cyklu.

Prvé štúdie zaregistrovali pravidelné zmeny v hodnotách BMR u žien už na začiatku 20. storočia a vrcholili najmä v 80. a 90. rokoch. Výskumy však boli vo väčšine prípadov prevedené na veľmi malej vzorke a technológie používané na meranie energetického výdaju neboli jednotné.

V jednej z najpodrobnejších z nich bol meraný bazálny metabolizmus každodenne v období 5 týždňov u 12 žien nefajčiarok, ktoré mali pravidelný menštruačný cyklus a neužívali hormonálnu antikoncepciu. Hodnoty BMR boli u 8 z nich jednoznačne znížené počas skorej folikulárnej fáze (začiatok menštruácie) a 9 účastníčok malo významne zvýšené hodnoty v neskorej luteálnej fáze (pred začiatkom menštruácie). Výrazné zmeny v metabolizme sa však nepodarilo preukázať u každej účastníčky. Nie je úplne objasnené aké faktory k tomu môžu prispievať, variácie môžu byť pravdepodobne spôsobené odlišným zložením tela alebo hormonálnymi hladinami [125].

Webb a kol. (n = 10) zistil u 8 subjektov zvýšenie TDEE počas postovulačného obdobia o 8 – 16 %. Zvyšné 2 účastníčky výskumu však preukázali len 2% rozdiel. Jedna z účastníčok užívala hormonálnu antikoncepciu, ale pre potreby protokolu užívanie vynechala. Pri meraní počas užívania HAK neprejavovala počas celého cyklu zmeny v energetickom výdaji, avšak po vysadení HAK bola zaznamenaná postovulačná elevácia TDEE o 14 %. Porovnanie zmien telesnej teploty, RMR a tepelných strít počas dňa vo folikulárnej a luteálnej fáze u jednej z účastníčok je zobrazené na *Obrázku 4* [126].

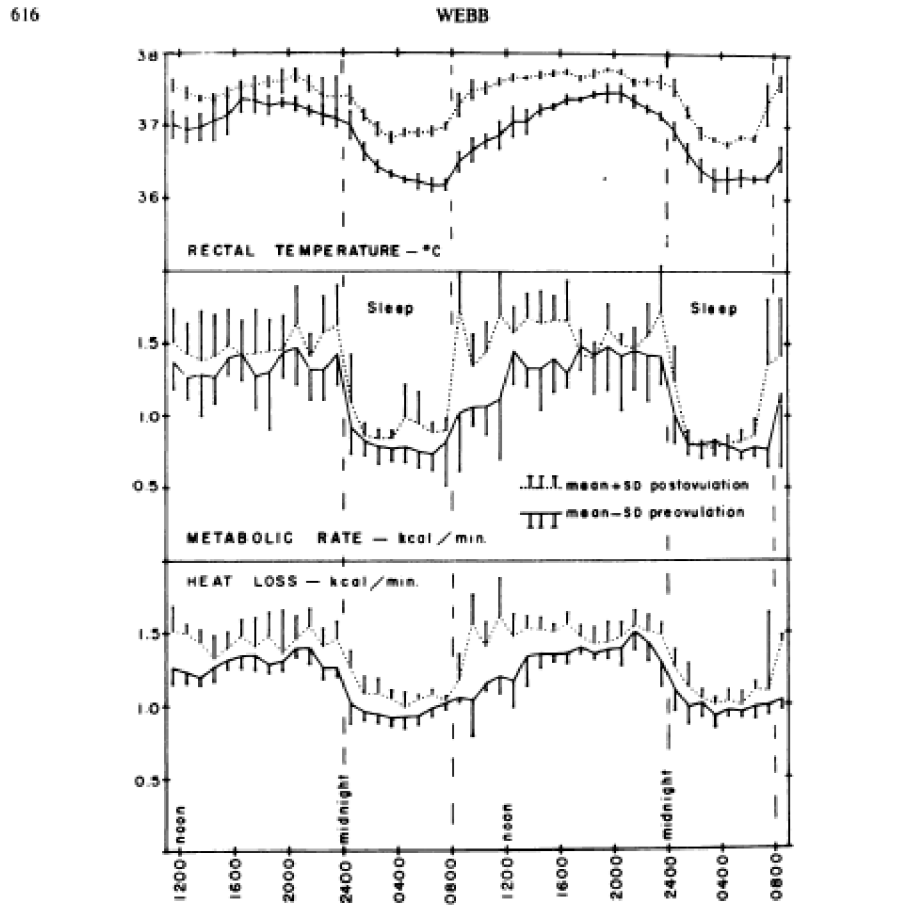


FIG 1. Hourly averages of rectal temperature, metabolic rate, and rate of heat loss for subject B for 46-h periods during 2 wk before ovulation (solid line) and 2 wk after ovulation (dotted line). Each hourly mean with its standard deviation is based on 12 10-min values.

Obrázok 4: Priemerné hodinové hodnoty rektálnej telesnej teploty, rýchlosti metabolizmu a strát telesného tepla počas predovulačného obdobia – folikulárnej fáze (neprerušovaná čiara) a postovulačného obdobia – leutálnej fáze (prerušovaná čiara) [126].

Preskúmaniu intraindividuálnych rozdielov vplyvu menštruačného cyklu sa venovala novšia práca uskutočnená na 19 ženách. Existovali veľké rozdiely v intraindividuálnej variabilite RMR skúmaných žien. U desiatich subjektov bola variácia v hodnotách RMR malá, a to 2 – 4 %, čo koreluje s hodnotami zmien zistenými u mužského pohlavia. U zvyšných deviatich žien však

boli zaznamenané vysoké variácie (5 – 10 %). Rozdiely u 4 vybraných subjektov v tomto experimente sú ukázané na *Obrázku 5* [127].

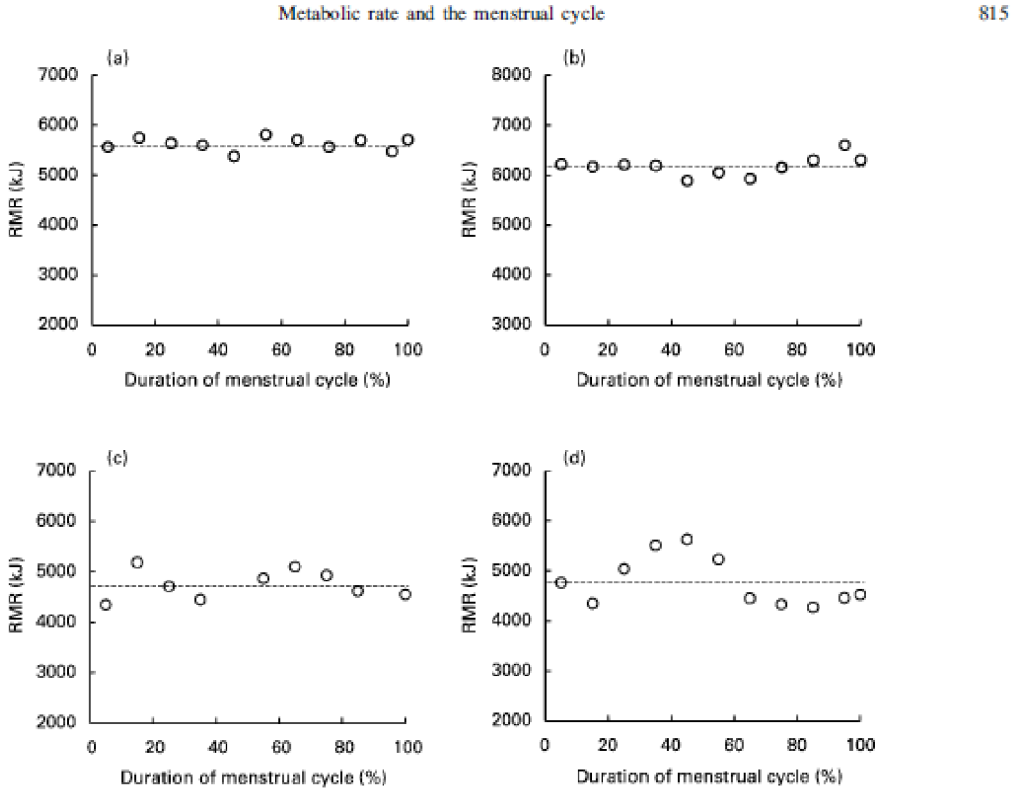


Fig. 3. Resting metabolic rate (RMR) of representative subjects with a low or high CV (%). (a) Subject 3; (b) subject 10; (c) subject 18; (d) subject 17. - - -, Mean RMR. Each menstrual cycle is expressed as a percentage of 100. The first day of the menstrual cycle is marked as 0% and 100% represents the day before the beginning of the next menstrual period; ovulation roughly corresponds to 50% of the menstrual cycle. For details of subjects and procedures, see Tables 2–3 and p. 812.

Obrázok 5: Ukážka intraindividuálnej variability v hodnotách RMR počas menštruačného cyklu u 4 subjektov [127].

V rôznych štádiách ovariálneho cyklu boli v niektorých štúdiách takisto zaznamenané preferencie určitých makronutrientov, a to konkrétne sacharidov. Ovulácia bola spojená s poklesom energetického príjmu ako u primátov, tak aj u ľudských subjektov. Predpokladá sa, že estrogén (ktorý vrcholí počas ovulácie) má anorexigénny účinok. Opačný efekt má zjavne progesterón, ktorý je zodpovedný za zvýšenú konzumáciu potravy počas neskorej luteálnej fáze. Vrchol vo zvýšení BMR a energetickom príjme sa u väčšiny žien časovo zhodoval s najvyššími hodnotami v sekrécii progesterónu. Progesterón má termogénny účinok a je zodpovedný za zvýšenie bazálnej telesnej teploty, čím nepriamo pôsobí aj na hodnoty BMR a príjem potravy. Priemerne sa teplota u žien v luteálnej fáze dvíha o 0,6 ˚C. Podľa prevedených výskumov je progesterón zodpovedný za 9% zvýšenie TDEE u normálne menštruujúcich žien. Zvýšenie sa týka aj hodnôt metabolizmu počas spánku (+ 7,7 %). Nesynchronizované výkyvy

energetickej potreby a výdajov spôsobené týmto dejom môžu teoreticky u predisponovaných žien zvýšiť náchylnosť k dlhodobému priberaniu na hmotnosti [125, 126, 128, 129].
Pri nedostatočnom výživovom stave alebo nadmernom fyzickom zaťažení môže dôjsť k redukcií ovariálnych hormónov a výskytu amenorey a oligomenorey. Psychický stres a určité stravovacie návyky (napr. vegetariánstvo) taktiež môžu údajne viesť k podobným výsledkom. Okrem environmentálnych faktorov na hladiny pohlavných hormónov pôsobia aj genetické vplyvy. Pri meraní hladín progesterónu v slinách u rôznych ženských populácií (Massachusetts, Zaire, Nepál, Bolívia) boli pozorované značné rozdiely s najvyššími hladinami u žien žijúcich v USA [125].

3.2.2. Tehotenstvo

Nárast telesnej hmotnosti počas tehotenstva zahrnuje hmotnosť plodu, placenty a plodovej vody, ďalej zväčšenie krvného objemu a extracelulárnej tekutiny matky spolu s ďalšími tkanivami (maternica, prsia). Je taktiež nutné zabezpečiť zvýšenú metabolickú aktivitu v tele matky a okrem energie potrebnej pre udržanie primeranej telesnej hmotnosti, zloženia tela a fyzickej aktivity pre donosenie plodu je potrebné vytvoriť dostatočné energetické zásoby pre samotný pôrod a nasledujúce laktačné obdobie. Rozsah prírastkov na gestačnej hmotnosti matiek by sa mal podľa WHO pohybovať v rozmedzí 10 až 14 kg. Pri priemernom prírastku 12,5 kg a pôrodnej hmotnosti novorodenca 3,4 kg je v organizme matky potrebné nakumulovať dodatočných 925 g proteínov a 3 825 g tuku [130].

Podľa teoretického modelu Hyttena, kde boli energetické požiadavky gestačného obdobia odhadnuté na základe vyššie spomínaných zložiek, dosahuje kumulatívny výdaj počas celého tehotenstva až 323 MJ. Podľa tohto modelu je najväčší nárast celkových energetických požiadaviek medzi 10. až 30. týždňom gestačného obdobia, primárne z dôvodu kumulácie materského tukového tkaniva. Všeobecná platnosť týchto teoretických údajov na kalorickú náročnosť tehotenstva v rôznych populáciách však nebola preukázaná [131].

Table 1 Theoretical energy cost of pregnancy

	Weeks of pregnancy				
	0–10	*10–20*	*20–30*	*30–40*	*Cumulative total*
	(Equivalent KJ/d)				*(MJ)*
Protein	15	43	111	143	22
Fat	232	982	866	130	152
Oxygen consumption	187	413	618	947	149
Total net energy	434	1438	1595	1221	323

Obrázok 6: Teoretický model energetických potrieb organizmu matky počas 0. – 40. týždňa gestáčného obdobia [131].

Podľa praktických výskumov merajúcich zmeny energetického metabolizmu sú dané hodnoty podstatne nižšie. Priemerný nárast BMR je v prvom trimestri približne 5 %, v druhom 10 % a v treťom trimestri 25 %. Energia potrebná pre úspešné vynosenie plodu počas celého gestačného obdobia tvorí podľa meraní prevedených v rôznych populáciách približne 124 - 218 MJ, čo navyšuje BMR matky počas celého obdobia priemerne o 8 – 35 %. U rodičiek s obmedzeným príjmom potravy však boli zistené aj podstatne menšie navýšenia až negatívne energetické bilancie (- 45 MJ). Prehľad nameraných hodnôt v rôznych krajinách je uvedený v *Obrázku 7* [130–132].

Table 4 Alterations in maternal basal metabolic rate (MJ) during pregnancy

Sweden	218 ± 156
Netherlands	144 ± 125
Scotland	126
United States	124 ± 83
Gambia (S)	4
Gambia (U)	−45

Mean ± s.d. S = Supplemented.
U = Unsupplemented.

Obrázok 7: Zmeny v hodnotách BMR (v MJ) počas tehotenstva v rôznych krajinách [131].

Dané údaje dokazujú, že medzi budúcimi rodičkami môžeme nájsť značné variability. Zmeny v metabolizme tehotnej ženy ovplyvňuje niekoľko faktorov, a to najmä prírastok hmotnosti a tukového tkaniva, obsah FFM, zmeny v sérových koncentráciách hormónov ovplyvňujúcich metabolizmus a zmeny v kardiovaskulárnom systéme. Bolo potvrdené, že odhady energetických požiadaviek a odporúčaní týkajúcich sa príjmu energie tehotných žien by mali byť špecifické pre jednotlivé populácie, a to z dôvodu rozdielov v priemernej hmotnosti, životnom štýle a základnom výživovom stave. Ženy žijúce v ekonomicky

rozvinutých krajinách môžu mať v tehotenstve iné energetické potreby ako ženy z rozvojových krajín [130, 132].

Na prvý pohľad v týchto štúdiách pomery prijatej energie rodičkami vo vzťahu k zaznamenaným energetickým požiadavkam vytvárajú negatívnu energetickú bilanciu. Nezrovnalosti v TDEE sú zvyčajne vysvetľované zvýšeným metabolickým účinkom (pri BMR, termickom efekte stravy a fyzickej aktivite) a samotnou zníženou fyzickou aktivitou u tehotných. Nezanedbateľný faktor je takisto neúplný záznam stravy a tým podhodnotenie príjmu energie. Skúmaním zmien týkajúcich sa dietou indukovanou termogenézou sa zaoberalo niekoľko štúdií. Illingworth a kol. zistili až 28 % pokles DIT počas 2. trimestru, iné štúdie však žiadne rozdiely nezaznamenali [131, 133].

Aj keď by logicky pri zvýšení hmotnosti mala byť fyzická aktivita energeticky náročnejšia, u tehotných žien boli opísané mechanizmy zvýšenia efektívnosti práce, ktoré by mohli vysvetliť nezrovnalosti medzi príjmom a výdajom energie v gestačnom období. Prentice a kol. vo svojej práci uviedli, že tehotenstvo znížilo energetické náklady na fyzickú aktivitu o 10 % - 26 % (chôdza, jazda na bicykli) v 12. až 36. týždni tehotenstva. Existujú podobné práce, ktoré však žiadne zmeny nepotvrdili. Samotná znížená aktivita matky počas tehotenstva je zrejmý a dôležitý faktor, ktorý pri šetrení energie môže hrať významnú rolu. Energetická bilancia s použitím respiračnej komory v priebehu 8 dní (n = 12) preukázala, že existuje 10 - 15% zníženie spontánnej fyzickej aktivity počas posledných štádií tehotenstva v porovnaní s predchádzajúcimi meraniami vytvorenými v pregestačnom období. Je potrebné zdôrazniť limity tejto práce z dôvodu výrazného obmedzenia mobility subjektov v metabolických komorách. Použitie metódy dvojito značenej vody vylučuje obmedzenia metabolickej komory a tento fakt vo svojej práci využil Forsum a kol. pri hodnotení TDEE u 28 švédskych žien. Zaznamenal až 30% zníženie fyzickej aktivity v 16. – 18. týždni a hodnoty sa vrátili do normálu až v 30. týždni tehotenstva. Výsledky však môžu byť ovplyvnené nevoľnosťou a únavou, ktorú hlásila väčšina účastníčiek v skorších gestačných štádiach [131, 134].

3.2.3. Laktácia

Zvýšené nároky na energiu však nekončia pôrodom. Produkcia materského mlieka v období kojenia dieťaťa je energeticky náročný dej, ktorý ovplyvňuje hodnoty BMR matky.

Výhradné kojenie sa podľa WHO odporúča do 6. mesiaca dieťaťa. Aby boli zabezpečené metabolické procesy a príslušné percentuálne zastúpenie tukovej hmoty v tele matky, odporúča sa prijímať dodatočnú energiu potrebnú na produkciu príslušného objemu mlieka za predpokladu, že matka obnoví svoju obvyklú úroveň fyzickej aktivity krátko po pôrode [130].

Priemerné množstvo vyprodukovaného materského mlieka denne sa výrazne nelíši medzi skupinami obyvateľstva s odlišným kultúrnym a sociálno-ekonomickým zázemím. Určité rozdiely v zložení mlieka v súvislosti s výživou matiek sú zrejmé a môžu čiastočne ovplyvňovať hodnotu BMR. Energetická denzita v materskom mlieku závisí predovšetkým od koncentrácie mliečneho tuku. Zastúpenie lipidov však nie je konštantné a vykazuje výkyvy počas dňa, dĺžky kŕmenia a iných faktorov. Merania energetického obsahu materského mlieka z celodenných vzoriek počas 1. - 24. mesiaca laktácie určili priemernú energetickú hodnotu 0,67 kcal/g [130].

Okrem energie obsiahnutej v materskom mlieku je potrebné navýšiť príjem matky o energiu potrebnú na samotnú produkciu. Účinnosť s akou sa energia prijatá potravou a obsiahnutá v zásobnom tukovovom tkanive matky konvertuje na energiu v materskom mlieku sa počíta pomocou teoretického modelu, ktorého hlavná zložka je odhad biochemickej účinnosti syntézy makronutrientov materského mlieka (laktóza, bielkoviny, tuky). Po zarátaní energetických nákladov na trávenie, absorpciu, konverziu a transport sa biochemická účinnosť odhaduje na 80 až 85 % [130].

Z dlhodobého hľadiska je však hlavným faktorom, ktorý ovplyvňuje energetické potreby dojčiacich žien dĺžka kojenia. Dĺžka kojenia, a tým aj celkové množstvo vyprodukovaného mlieka, sa medzi populáciami výrazne líši. U žien, ktoré počas prvého polroku života kŕmia svoje deti výlučne materským mliekom priemerne vyprodukujú 807 g mlieka/deň. Po započítaní vyššie uvedených faktorov energetickej denzity a účinnosti syntézy si táto produkcia teoreticky vyžaduje 675 kcal/d. Zvrat u väčšiny matiek nastáva najmä po 6. mesiaci od narodenia dieťaťa. Rozdiely v produkcií materského mlieka sú v tomto období prehlbované najmä v dôsledku rôzneho zloženia, množstva a frekvencie príkrmov zaraďovaných do jedálničku dieťaťa. Množstvo doplnkového kojenia sa od 6. mesiaca odhaduje priemerne na 550 g/deň, čo znamená navýšenie metabolizmu o 460 kcal/d [130].

Praktické doporučenia navýšenia energetického príjmu sú o niečo nižšie. Odporúčaný príjem energie počas prvých 6. mesiacov laktácie je navýšený o 500 kcal za predpokladu, že 170 kcal/d bude mobilizovaných z energetických zásob akumulovaných v tukovom tkanive počas gestačného obdobia. Po ukončení výhradného kojenia by mala byť energia navýšená o 400 kcal/d. Tu môžeme vidieť, že laktácia je energeticky podstatne náročnejší dej ako samotné tehotenstvo [135].

Forsum a kol. meral okrem tehotných žien zmeny v TEE a BMR aj u žien v laktačnom období. Po pôrode sa TEE a energia vynaložená na fyzickú aktivitu výrazne nezmenila oproti pregestačnému obdobiu. Znížený príjem energie, ktorý nepokrýval hodnoty vydanej energie boli vyvážené využívaním tukových zásob [134].

Iné práce opisujú pokles TEE pri laktácií počas prvých 12. týždňov po pôrode v priemere o 819 kJ/d. Priemerné energetické náklady na kojenie boli 2675 kJ/d. Tieto náklady boli hradené z 56 % zvýšením príjmom stravy, približne 15 % energie pre syntézu bolo akumulovaných z tukových zásob matky a zvyšok pokrylo zníženie fyzickej aktivity [131].

Podobné hodnoty vo svojej práci uviedol Butte, podľa ktorého u dobre vyživovaných žien môžu byť nároky počas laktácie čiastočne hradené mobilizáciou energie tuku v množstve 0,72 MJ/deň a výsledkom je čisté navýšenie energie pomocou potravy o 1,9 MJ/d [136].

3.2.4. Menopauza

Zmeny BMR spôsobené znížením obsahu beztukovej hmoty u starnúceho organizmu sme si už opísali v podkapitolách týkajúcich sa FFM, FM a veku. Je evidentné, že u žien má najväčší vplyv na zmeny hormonálneho spektra, ktorý zníženie BMR podporuje, práve obdobie menopauzy.

Funkcia vaječníkov sa postupne znižuje približne od 35 rokov. Medzi 45. - 50. rokom z dôvodu klesajúcej hladiny pohlavných hormónov začínajú fyziologické poruchy a vynechávanie menštruačného cyklu. Toto obdobie nazývame klimaktérium a je typicky sprevádzané endokrinnými príznakmi ako návaly tepla, suchosť vaginálnej oblasti, poruchy pamäte a nervového systému vrátane nespavosti, nervozity, zvýšenej podráždenosti, kolísania nálad a depresie. Obdobie po poslednom menštruačnom cykle sa definuje ako menopauza a nastáva prevažne po 50. roku života. Pri predĺžení strednej dĺžky života ženy na 81 rokov sa predpokladá, že ženy prežijú až 1/3 svojho života v postmenopauzálnom stave [137].

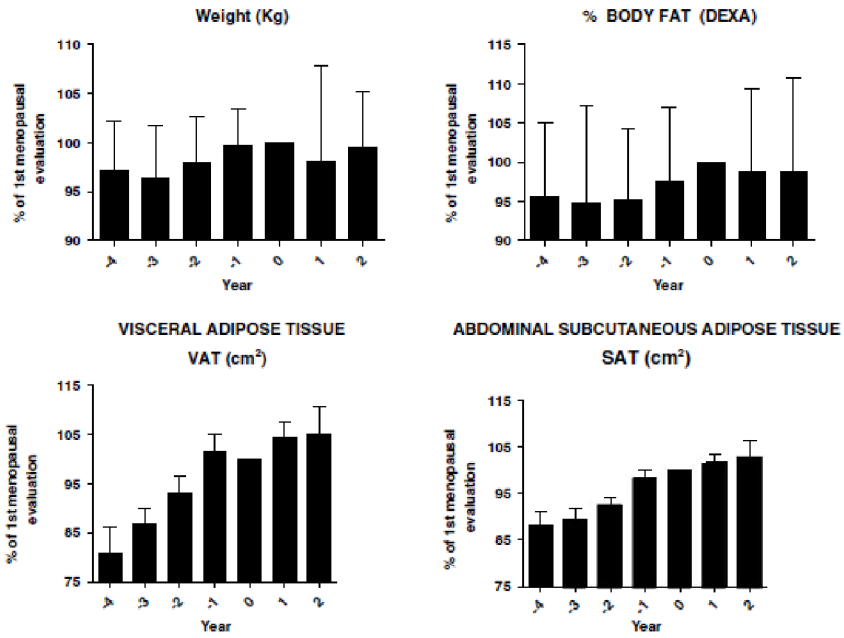
Vekové rozmedzie nástupu menopauzy podlieha určitým faktorom a zdá sa, že etnikum je jeden z nich. Afroamerické a hispánske ženy v USA sú v postmenopauzálnom období približne o 2 roky skôr ako ženy kaukázskeho pôvodu. Ženy ázijského pôvodu majú ešte skorší priemerný nástup, a to napr. malajské ženy už vo veku 45 rokov, thajské ženy vo veku 49,5 rokov a filipínske ženy medzi 47. – 48. rokom života. U indických žien boli zistené podobné priemerné hodnoty (46,2 rokov). Vysoká nadmorská výška hrá taktiež svoju rolu - vek nástupu menopauzy znižuje. V rozvinutých krajinách u kaukázskej populácie je priemerný nástup medzi 51. a 53. rokom. Primárny determinant veku menopauzy je podľa daných údajov genetický. Na základe rodinných štúdií vysvetľuje dedičnosť veku nástupu menopauzy až 87 % rozptylu [137, 138].

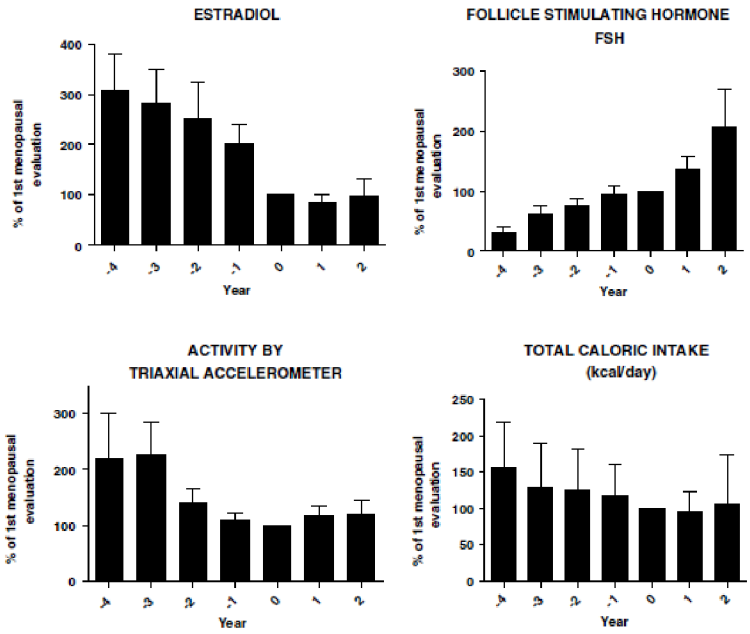
Ďalšie faktory môžu súvisieť so životným štýlom. U fajčiarok bola zaznamenaná menopauza o 1 až 2 roky skôr. Prevedené práce, ktoré skúmali teóriu, že vyššia telesná hmotnosť súvisí s neskorším nástupom menopauzy nezaznamenali konzistentné výsledky, ktoré by túto teóriu

potvrdili. Podvýživa a vegetariánstva strava však podľa bola spojená s predčasným nástupom menopauzy [137, 139].

Prevalencia obezity a nadváhy je vyššia u žien po menopauze ako u premenopauzálnych žien, absolútny prírastok na váhe sa však zdá byť primárne spojený so starnutím, nie samotnou menopauzou. U žien vo veku 40 - 55 rokoch tvorí priemerný prírastok 2,1 kg za 3 roky. Faktor, ktorý je však závislý od menopauzy, je rozdielna akumulácia tuku s preferenciou ukladania do viscerálnej oblasti [140, 141].

Observačný výskum skúmajúci danú problematiku analyzoval údaje u 156 žien afroamerického a kaukázskeho pôvodu a počas zaradenia do výskumu mali všetky pravidelný menštruačný cyklus. Merania trvali po dobu 4 rokov, a následne boli subjekty rozdelené podľa zmien do 3 skupín (premenopauzálne, perimenopauzálne, postmenopauzálne obdobie). Telesný tuk a hmotnosť sa významne zvýšila iba u žien, ktoré sa stali postmenopauzálnymi počas trvania výskumu. U všetkých žien bolo zaznamenané navýšenie tukového tkaniva v subkutánnej abdominálnej oblasti, avšak iba ženy po menopauze mali významné navýšenie viscerálneho tuku. Postmenopauzálna skupina tiež vykazovala významné zníženie hladiny estradiolu v sére. Fyzická aktivita sa výrazne znížila 2 roky pred menopauzou a energetický príjem sa taktiež s nástupom menopauzy výrazne znížil. Hodnoty TDEE a SMR klesali s vekom, pokles SMR bol ale výraznejší u žien v postmenopauzálnom období (7,9 %) oproti ženám v premenopauzálnom období (5,3 %). Oxidácia lipidov klesla u postmenopauzálnych žien o 32 %. Prehľad zmien vo forme grafov pre lepší prehľad nájdete v *Obrázku 8* [142].





Obrázok 8 : Zmeny v telesnej hmotnosti, percentuálnom zastúpení tukovej hmoty, v obsahu viscerálneho a obdobinálneho tukového tkaniva, hormonálnom profile estradiolu a FSH, fyzickej aktivity a energetickom príjme počas predmenopauzálneho obdobia (-4 až -1 rok pred menopauzou) a postmenopauzálneho obdobia (0 až 2 roky po menopauze) [142] (Upravené).

Podľa grafov z predošlej práce môžeme vidieť výrazne zmeny v koncentrácia FSH a estradiolu. Štúdia, ktorý sledovala po dobu 6 rokov 543 žien stredného veku, zaznamenala koreláciu medzi zvýšenými hladinami FSH v postmenopauzálnom období a prírastkom hmotnosti. Autori dospeli k záveru, že hormonálne zmeny v tomto období majú vplyv na zvyšovanie tukovej hmoty. Toto tvrdenie podporujú štúdie zaoberajúce sa postmenopauzálnou hormonálnou substitučnou terapiou, ktoré tiež naznačujú, že fyziologický deficit estrogénu súvisí s prírastkom hmotnosti, zatiaľ čo exogénna náhrada estrogénu je spojená so zníženým alebo menším prírastkom. Údaje taktiež naznačujú, že estrogény hrajú dôležitú úlohu pri regulácii distribúcie telesného tuku v tele ženy. Ženy po menopauze, ktoré užívajú exogénne estrogény majú významne nižší pomer pásu a bokov (ang. *„waist-hip ratio“)* a menej viscerálneho tukového tkaniva [143, 144].

4. Hodnotenie bazálneho a kľudového metabolizmu organizmu

Stanovenie bazálneho metabolizmu či zložiek prispievajúcich k celkovému energetickému výdaju je veľmi užitočný prostriedok pre výskum faktorov, ktoré môžu ovplyvňovať udržanie alebo zmeny v telesnej hmotnosti jedincov či celých populácií. K hodnoteniu energetických

požiadaviek boli vytvorené viaceré meracie metódy, ktoré si charakterizujeme v nasledujúcom texte.

4.1. Priama kalorimetria

Ako prví k meraniu vyprodukovaného živočíšneho tepla použili metódu priamej kalorimetrie v 18. storočí Lavoisier a Laplace, vďaka čomu sa priama kalorimetria považuje za najstaršiu metódu merania energetickej potreby organizmu. Na konci 19. storočia bol postavený prvý ľudský kalorimeter čo umožnilo veľký rozmach vedeckých štúdií v tomto odvetví [145, 146].

Princíp priamej kalorimetrie využíva zákon zachovania energie, ktorý uvádza, že celková energia izolovaného systému je nemenná. Energia tohto systému teda nemôže vzniknúť ani zaniknúť, ale môže byť premenená na inú formu energie. Meranie metabolizmu jednotlivca u tejto metódy teda prebieha v izolovanej miestnosti. Vďaka tomu dokáže priama kalorimetria zachytiť celkovú tepelnú energiu vyprodukovanú organizmom, a tým zistiť celkový energetický výdaj v kľudovom štádiu, počas bežných denných aktivít či inak predefinovaných podmienkach. Radiačné a konvekčné tepelné straty u človeka zodpovedajú za približne 80 % z celkových tepelných strát. Za väčšinu zvyšných strát zodpovedá evaporácia [146, 147].

Aj keď sa priama kalorimetria považuje za veľmi presnú metódu, jej využitie v klinických podmienkach je minimálne. Výroba a údržba celého systému priamej kalorimetrie je mimoriadne finančne nákladná a jej obsluha si vyžaduje minimálne jedného zamestnanca s vysokými odbornými znalosťami na plný úväzok. Použitie priamej kalorimetrie je preto doménou špecializovaných laboratórií. Ďalším obmedzením je relatívne pomalá odozva na veľmi rýchle fyziologické zmeny metabolizmu (typický čas odozvy je 10 – 30 minút) [145].

4.2. Nepriama kalorimetria

Metóda nepriamej kalorimetrie svoj princíp založila na meraní spotreby a produkcie plynov pri metabolických procesoch v tele organizmu – tzv. oxidácií živín. Tieto substráty (primárne cukry, mastné kyseliny a aminokyseliny) sú založené na báze uhlíka a pri oxidácií sa za spotreby určitého objemu kyslíka (VO_2) premieňajú na určitý objem oxidu uhličitého (VCO_2), vody (H_2O) a tepelnú energiu. Nepriama kalorimetria teda nepriamo určuje vygenerované množstvo tepla na základe množstva a typu využitého substrátu.

Získané údaje sa pre výpočet kľudového energetického výdaju ďalej dosadzujú do rovníc. Jednou z najčastejšie používaných je modifikovaná Weirova rovnica. Táto verzia rovnice neobsahuje množstvo dusíku v moči (uN_2), ktorá sa bežne stanovovala pri starších typoch

merania. Vypustenie tohto parametru spôsobuje pomerne malú odchylku vo výpočtoch a zhromažďovanie vzoriek moču tvorilo zbytočnú komplikáciu postupu merania [148, 149].

Rovnica pre výpočet kľudového energetického výdaju podľa Weira
RMR (kcal/d) = [(VO_2 x 3.941) +(VCO_2 x 1.11) + (uN_2 x 2.17)] x 1440
Rovnica pre výpočet kľudového energetického výdaju u podľa Weira - modifikovaná verzia
RMR (kcal/d) = [(VO_2 x 3.941) +(VCO_2 x 1.11)] x 1440

Tabuľka 3: Rovnica pre výpočet kľudového energetického výdaju podľa Weira a jej upravená verzia [148].

Princíp, na ktorých používané prístroje fungujú môžeme rozdeliť do dvoch hlavných skupín: kalorimetre s uzavretým okruhom a kalorimetre s otvoreným okruhom. Pri metóde uzavretého okruhu subjekt vdychuje predom definovanú zmes kyslíku v izolovanom priestore a pre výpočet VO_2 sa použije rozdiel v hodnotách pred a po meraní. Väčšina dnes používaných kalorimetrov pracuje na základe otvoreného okruhu, kde je využívaný vzduch z okolitého prostredia. Prístroj meria pre výpočet VO_2 rozdiel medzi koncentráciami plynov počas inspiria a expiria a minútový objem dýchania. Pri meraní môžu byť použité rôzne typy pomôcok, ktoré zabezpečujú izoláciu vdychovaných a vydychovaných plynov od prostredia, vrátane ventilovaného krytu („kanopy“), masiek či náustkov s nosnými svorkami [148, 149].

Ďalším získaným parametrom pomocou nepriamej kalorimetrie je respiračný kvocient. Respiračný kvocient (ang. *respiratory quotient*; RQ) je definovaný ako pomer medzi VCO_2 a VO_2 a jeho hodnota je špecifická pre typ oxidovaného substrátu. Na základe prevedených štúdií bol určený fyziologický rozsah pre celkové RQ medzi 0,67 až 1,3. Hodnoty zistené mimo toto rozmedzie najčastejšie značia chybu merania alebo kalibrácie kalorimetru. Hodnota RQ môže byť však použitá aj ako klinický parameter. Vďaka špecifickému RQ u každej základnej živiny môže byť jeho kumulatívna hodnota použitá ako predpoklad percentuálneho zastúpenia substrátov v metabolizme jedinca. Úplná oxidácia glukózy v ľudskom organizme poskytuje RQ hodnotu 1,0. Výhradný metabolizmus tuku má hodnotu RQ = 0,71 a u proteínov je toto číslo o niečo vyššie (RQ = 0,82). Výsledná hodnota RQ má ďalej potenciál identifikovať prítomnosť nadmerného alebo nedostatočného energetického príjmu. Hodnoty nad 1,0 značia prítomnosť lipogenézy, inak povedné ukladania zásobnej energie z nadmerného energetického príjmu. Naopak hodnoty nižšie ako 0,7 preukazujú protichodné metabolické procesy ako lipolýza a ketogenéza alebo metabolizmus ethanolu (RQ = 0,67). Nameranú hodnotu RQ však môže ovplyvňovať viacero faktorov nesúvisiacich s výživovým stavom ako je hyper/hypoventilácia

alebo porucha acidobázickej rovnováhy, čo je potrebné zohľadniť pri interpretácií výsledkov [149, 150].

Nepriama kalorimetria sa vo všeobecnosti považuje za veľmi presnú metódu (0,5 – 2,0% chyba merania) a oproti priamej kalorimetrií má výrazne vyššiu rýchlosť odozvy na zmeny metabolizmu (pod 30 s). Ďalšou výhodou je výrazne nižšia finančná a technologická náročnosť, vďaka čomu je vo väčšine vedeckých štúdií zaoberajúcich sa problematikou metabolizmu prvou voľbou [145, 147].

Pre presné výsledky je však potrebné dodržať niekoľko zásad. Pri zisťovaní bazálneho metabolizmu by mal byť jedinec meraný hneď po zobudení, čo však nie je praktické. Preto sa meranie nahrádza kľudovým metabolizmom, ktorý si vyžaduje približne 20 - 30 minút odpočinku na lôžku. Podľa analýzy viacerých dostupných práci neboli nájdené žiadne významné rozdiely v meraní RMR vykonaných po 30 minútach odpočinku potom ako subjekty spali v zariadení vs. pri meraní po príchode do zariadenia z domu (teda vyššej pohybovej aktivite po prebudení). Štúdie hodnotiace dĺžku odpočinku naznačujú, že 15 minút kľudu na lôžku nemusí byť vždy dostačujúca doba, 20 minútový odpočinok sa už ale javí ako postačujúci [151].

Ďalšie faktory, ktoré môžu ovplyvniť kvalitu merania pomocou nepriamej kalorimetrie sme si rozobrali v priebehu celej práce. Patrí sem fyzická aktivita a EPOC, príjem stravy a s ním spojený TEF, kofeín, nikotín a iné stimulanty spolu s vonkajšími podmienkami merania ako napr. teplota miestnosti. Zhrnutie základných kritérií pre obmedzenie daných vplyvov sme si už uviedli v *Tabuľke 1*.

4.3. Metóda dvojito značenej vody

Pri tejto metóde sa vodík a kyslík v molekule vody „označí“ pomocou stabilných nerádioaktívnych izotopov (D_2O^{18}). Po perorálnom alebo intravenóznom podaní roztoku s obsahom označených častíc sa po rovnomernej distribúcií prijatej vody v organizme odoberú vzorky moču, krvi a slín a následne stanovia aktuálne hodnoty izotopov v telesných tekutinách. Po určitej časovej perióde, počas ktorej chceme zisťovať energetickú spotrebu, sa znovu odoberú vzorky telesných tekutín a stanoví sa rozdiel v koncentráciách D_2 a O^{18}. Rýchlosť eliminácie izotopov sa spolu s ďalšími parametrami (napr. eliminačný polčas izotopov) ďalej využíva k výpočtu produkcie CO_2 a teda aj energetického výdaju [152–154].

Metóda dvojito značenej vody sa využíva najmä pri zisťovaní dlhodobého energetického výdaju a najväčšou výhodou je jej minimálny vplyv na bežný denný režim a fyzickú aktivitu meranej osoby. Energetický výdaj sa v tomto prípade možné merať 7 - 21 dní s pomerne malou

chybou merania (4 - 8 %). Nevýhodou je vysoká finančná náročnosť, čo obmedzuje jej použitie v klinickej praxi [147, 153].

4.4. Meranie tepovej frekvencie

U človeka existuje za určitých podmienok významný vzťah medzi tepovou frekvenciou (ang. *heart rate, HR*) a spotrebou kyslíka (teda aj energetickým výdajom), vďaka čomu sa pomocou monitoringu tepovej frekvencie môže stanoviť odhad energetického výdaju.

Monitory srdcovej frekvencie sú prenosné, minimálne zaťažujúce prístroje a meranie sa môže vykonávať bez prerušenia v rozmedzí niekoľkých dní. Plošné využitie tejto metódy však obmedzuje veľký výskyt interindividuálných variácií medzi jednotlivcami. Nezanedbateľný je aj vplyv fyzickej záťaže na koreláciu medzi spotrebou VO_2 a HR, kde pri niektorých typoch aktivity môžeme nájsť vychýlenie od lineárnej krivky. Výkyvy nelineárneho typu sú zaznamenané hlavne za kľudového stavu v rôznych polohách (napr. ležanie, sedenie, státie) a pri vysokej pohybovej záťaži, pri ktorých rýchlosť tepu a spotreba kyslíku u väčšiny subjektov nekorelujú [155–158].

Inak povedané, rozdiely vo fyzickej zdatnosti a genetickom pozadí medzi jednotlivcami spôsobujú odlišné vzťahy medzi HR a EE. Individuálna kalibrácia však môže výrazne zlepšiť presnosť merania.

Flex-HR metóda (známe aj ako HRFlex) je jedným z príkladov monitorovania srdcovej frekvencie pomocou individuálnej kalibrácie. Táto metóda zahŕňa stanovenie individuálnych vzťahov medzi HR a EE a ich odozvy na zmenu podmienok. U každého subjektu sa teda najskôr odmerajú hodnoty počas kľudového stavu a následne počas fyzickej záťaže podľa štandardizovaného protokolu (napr. krokový test, bežecký pás, bicyklový ergometer). Tento prístup vyrieši problém s nelineárnym vzťahom medzi HR a EE a pomáha v následnom rozpoznaní stavu odpočinku a aktivity s nízkou intenzitou. Bod diferenciácie sa nazýva „flex-HR“ a zvyčajne sa definuje ako priemer najvyššej pokojovej hodnoty HR a najnižšej hodnoty HR počas cvičenia. Pri srdečnej frekvencií pod týmto bodom sa predpokladá, že energetický výdaj bude rovnaký ako výdaj v kľudových podmienkach. Pri hodnotách HR nad „flex“ bodom sa energetická spotreba počíta zložitejšími postupmi [155, 158].

Aj keď presnosť vylepšeného typu merania HF bola pri porovnaní s metódou dvojito značenej vody a kalorimetrie zhodnotená ako veľmi dobrá (korelácia 0,94), v súčasnosti sa neradí medzi často používané merania. V porovnaní s inými metódami je monitorovanie srdcovej frekvencie relatívne lacné. Problém tvorí časová náročnosť merania a analýzy, kde

samotný kalibračný test, bez započítania času potrebného k spracovaniu údajov, trvá viac ako 45 minút [158–160].

4.5. Prediktívne rovnice

V praxi v dnešnej dobe stále nie je možné rutinné meranie energetického výdaju pomocou vyššie uvedených metód. Aj po zanedbaní značných finančných nákladov by pre presné hodnoty bazálneho metabolizmu bola potrebná značná príprava pacienta pred meraním, ktorá nie je vždy za bežných podmienok možná. Z tohto dôvodu boli vytvorené prediktívne rovnice pre odhad energetickej potreby.

Prediktívne rovnice sa zvyčajne vyvíjajú a potvrdzujú na základe údajov získaných z meraní prevedených na väčšej skupine jedincov. Merania bazálneho metabolizmu, na ktorých sa rovnice zakladajú, sa však zvyčajne prevádzajú za kľudových a nie bazálnych podmienok, a preto sa pri prediktívnych rovniciach pojmy RMR a BMR často zamieňajú. Po zovšeobecnení získaných údajov z meraní sa pre individualizáciu výsledkov do výpočtov ďalej dosadzujú parametre ako pohlavie, vek, telesná hmotnosť a výška jedinca. Zhrnutie základných údajov a znenie niektorých z nasledujúcich rovníc nájdete v *Tabuľke 4* a *Tabuľke 5.*

Ako prvú z nich môžeme uviesť **Harris-Benedictovu rovnicu**, ktorá bola vytvorená na začiatku 20.storočia. Napriek svojej jednoduchosti a popularite, vďaka ktorým dodnes tvorí jednu z najčastejšie využívaných formúl, viaceré práce spochybnili jej presnosť v rámci rôznych vekových kategórií. Podľa niekoľkých štúdií Harris-Benediktove rovnice nadhodnocujú hodnoty BMR o 5 – 15 % , kde však boli zaznamenané veľké interindividuálne variácie v presnosti výsledkov. Flack a kol. naopak Harris-Benedikt a WHO rovnice v porovnaní s výsledkami nepriamej kalorimetrie zhodnotili ako veľmi presné. Vo validačných štúdiách sa presný odhad RMR pomocou tejto rovnice pohyboval v rozmedzí 45 % - 80 % jednotlivcov [21, 161–164].

Aj keď je táto rovnica veľmi často používaná v klinickej praxi, viacero prác spochybnilo jej vhodnosť využitia u obéznych pacientov z dôvodu možného falošného navyšovania hodnôt BMR. Vzorka, na ktorej je táto rovnica postavená však obsahovala dostatočné zastúpenie obéznych subjektov (33 jedincov z 239 s BMI>28) a preukazuje sa ako vhodná rovnica pre odhad BMR aj u tejto skupiny. Niektorí odborníci sa však rozhodli eliminovať vplyv vysokého zastúpenia málo aktívnej FM v tele pomocou výpočtov založených na tzv. ideálnej telesnej hmotnosti jedinca. Tento druh odhadu BMR sa však nepreukázal ako úspešný. Pri porovnaní úspešnosti rovnice v predikcií RMR u obéznych žien s BMI>40 dokázala verzia H-B rovnice s použitím reálnej hmotnosti odhadnúť správne hodnoty až u 74 %, zato verzia s využitím

ideálnej hmotnosti u tejto skupiny neodhadla úspešne ani jednu účastníčku a až 100 % z nich podhodnotila.U skupiny s BMI 30-40 obidve verzie správne odhadli cca 60 % subjektov, rozdiely boli ale badateľné v zastúpení žien, ktorých RMR bolo podhodnotené alebo nadhodnotené. Klasická verzia výpočtu mala tendenciu RMR nadhodnocovať (u 40 %), upravená verzia zase podhodnocovať (u 35 %) [165, 166].

Ako môžete vidieť v predošlých odstavcoch týkajúcich sa Harris-Benedictovej rovnice, v texte boli použité obidva termíny – rovnica pre výpočet kľudového aj bazálneho metabolizmu. Dôvodom je jej sporné používanie vo vedeckých publikáciách, kde je táto rovnica používaná pre výpočty obidvoch hodnôt. Aj keď tvorcovia prezentujú túto rovnicu ako nástroj pre odhad bazálneho metabolizmu, niektorí autori toto tvrdenie spochybňujú a na základe metodiky, ktorú Harris a Benedict vo svojom výskume použili, radia túto rovnicu ako základ pre výpočet kľudového metabolizmu [162, 166].

WHO v spolupráci s FAO a UNU vytvorilo na základe údajov z viacerých výskumov prediktívne rovnice pre obe pohlavia a 3 vekové skupiny: (18 - 30, 30 - 60 a nad 60 rokov) v dvoch formách, kde jedna využíva len telesnú hmotnosť, druhá aj telesnú výšku. Základ tvorila najmä práca **Schofielda a kol.**, ktorí vypracovali rovnice aj pre mladšie vekové skupiny (0–3, 3–10, 10–18, 18–30, 30–60, nad 60). Napriek prístupu k veľkej vzorke subjektov (n ≈ 11 000) je presnosť týchto rovníc diskutabilná a značne závisí na populácií. Veľkú časť skupiny, ktorá bol základom pre formuláciu týchto rovníc, totiž tvorili najmä jedinci talianskeho pôvodu a zastúpenie v starších vekových kategóriách bolo nízke [21, 164, 167].

O úpravu tohto jednostranného zamerania rovníc na taliansku populáciu sa pokúsili **Oxfordské rovnice,** ktoré vylúčili všetky dáta od talianskych subjektov a zahrnuli do výpočtov údaje od veľkého počtu jedincov z tropických oblastí. Všeobecne majú preto tieto rovnice tendenciu produkovať nižšie hodnoty RMR ako WHO rovnice, najmä u mužov v skupine 18 - 30 rokov a 30 - 60 rokov a u všetkých žien nad 18 rokov [21].

Ako za jednu z najpresnejších rovníc sa v dnešnej dobe považuje **Mifflin - St Jeorova rovnica** vytvorená na základe analýzy metabolizmu u pomerne hmotnostne rôznorodej vzorky, aj keď etnická rozmanitosť bola obmedzená a zastúpenie najstaršej vekovej skupiny bolo limitované. Hodnotenie spoľahlivosti Mifflin-St Jeorovej rovnice bolo u 82 % prípadov neobéznych jedincov v norme (±10 % nameranej hodnoty RMR), pričom odchylky boli rovnomerne rozdelené medzi podhodnotením a nadhodnotením. Táto rovnica sa javí podľa takisto javí ako vhodná alternatíva na odhad RMR u obéznych jedincov. Napríklad u žien s BMI 30-40 a >40 dokázala táto rovnica správne odhadnúť hodnoty RMR u 70 % z nich. Podobné zistenia uviedli viaceré výskumy [164, 165, 168, 169].

Podľa viacerých výskumov, ktoré sme si spomenuli aj v predošlých odstavcoch, sa však hodnoty získané pomocou prediktívnych rovníc a pomocou meraní môžu značne líšiť. Nepresnosť vyššie uvedených rovníc sa dá vysvetliť skutočnosťou, že telesná hmotnosť, pohlavie a vek zodpovedá iba za 50 – 70 % odchylky v RMR. Z toho vyplýva, že presnosť údajov z veľkej časti závisí na tom, či pacient spadá v rámci svojich charakteristík do vzorky subjektov, podľa ktorých bola rovnica vytvorená [163, 167].

Jedna z fyzických charakteristík, ktorá môže zásadne ovplyvniť presnosť predikcie RMR je hmotnosť beztukovej hmoty. Obsah FFM môže výrazne navýšiť energetickú spotrebu, a preto pri výpočtoch nezáleží ani tak na samotnej telesnej hmotnosti jedinca, ako skôr na pomere tukovej a beztukovej hmoty v tele. Silná asociácia medzi FFM a RMR podnietila vývin prediktívnych rovníc, ktoré zahŕňajú FFM ako predikčnú premennú [163].

Wang a kol. ktorí zistili, že vzťah medzi RMR a FFM je lineárny iba v určitom rozmedzí hmotnosti FFM (40 - 80 kg), kde však zapadá väčšina dospelej populácie. Podľa tohto modelu pri hypotetickej absencií beztukovej hmoty (FFM = 0 kg) v tele zostáva naďalej „základná“ hodnota RMR (≈ 400 kcal/deň), vďaka čomu by sa dal vysvetliť relatívne vysoký kľudový energetický výdaj u ľudí s nízkym obsahom FFM v porovnaní s jedincami s vysokým zastúpením FFM (viz *Obrázok 9*). Do svojich výpočtov zaradilo hmotnosť beztukovej hmoty viacero rovníc, ako napr. **Owen, Luke - Schoeller, Jensen, Ravussin, Elia, McNeil, Heymsfield, Cunningham, Heshka, Kashiwazaki** a ďalší [170].

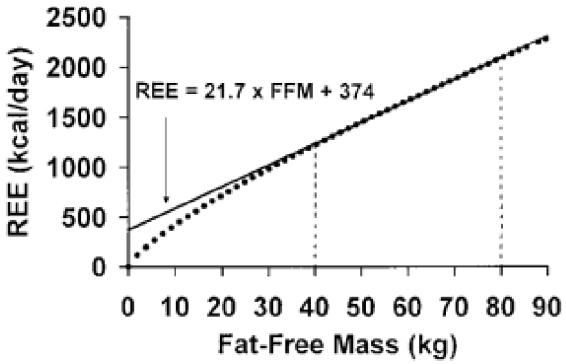


Fig. 1. Whole body modeling approach. Whole body resting energy expenditure (REE, in kcal/day) on the ordinate is indicated vs. fat-free mass (FFM, in kg) on the abscissa. REE and FFM were calculated from *Eqs 4* and *5*, respectively. The REE-FFM relationship (●) is curvilinear. When FFM varies within the interval from 40 to 80 kg, the REE-FFM relation (—) can be fit by a linear equation, REE = 21.7 × FFM + 374, as developed by linear regression analysis.

Obrázok 9: Wangov model závislosti hodnoty RMR a hmotnosti FFM [170].

Ďalšiu typ rovníc zahŕňa okrem FFM do výpočtu ako prediktor aj tukovú hmotu. Medzi rovnice zahŕňajúce obidva parametre patrí napríklad rovnica podľa **Nelsona a kol.** Výhoda spresnenia údajov pomocou zapojenia obidvoch hodnôt však nie je podľa výskumov veľmi badateľná. Podľa práce, ktorá skúmala silu odhadu u žien v rozmedzí 20-33 rokov s normálnou hmotnosťou dokázala táto rovnica správne odhadnúť RMR len u 35 % a u väčšiny vzorky hodnoty RMR nadhodnocovala. Ďalšia štúdia skúmala skupinu rekreačných športovkýň, kde naopak Nelsonova rovnica namerané hodnoty RMR podhodnocovala v priemere o približne 350 kcal/deň [171, 172].

Využitie tejto rovnice by však mohlo byť užitočné u staršej generácie. Podľa výskumu s pomerne veľkou vzorkou (n=207), ktorý účastníčky rozdelil do 3 skupín podľa veku sa Nelsonova rovnica javí ako dobrý prostriedok pre odhad RMR u skupín nad 40 a 60 rokov s priemerným percentuálnym rozdielom len -2,8 % a 2,8 %, čo znamená správny odhad až u 72 a 75 % z nich. V tejto práci sa síce u najmladšej skupiny našli aj presnejšie typy rovníc, napriek tomu však Nelsonova rovnica dokázala správne odhadnúť RMR hodnoty u 68,5 % z nich [173].

Presnosť jednotlivých prediktívnych rovníc bude od priemernej populácie na základe FFM a FM odlišná aj u hraničných skupín ako sú športovci alebo morbídne obézni jedinci. **De Lorenzova rovnica** je vyvinutá na základe RMR 51 mužských atlétov s minimálne 3-hodinovou fyzickou aktivitou denne. Je preto vhodnejšia pre vrcholových športovcov a u rekreačných športovcov môže hodnoty RMR značne nadhodnocovať. **Ten Haaf a kol.** na základe meraní na ženskej aj mužskej vzorke športovcov vytvoril dve alternatívy rovníc s využitím FFM alebo verzie s telesnou hmotnosťou, výškou a vekom. Za ďalšiu vhodnú alternatívu sa u atlétov považuje **Cunninghamova rovnica,** ktorá je založená na dátach z výskumu pri vytváraní Harris-Benedictovej rovnice a preukazuje sa u tejto skupiny ako veľmi presná [174, 175].

U obéznych jedincov sa miera presnosti bežných prediktívnych rovníc výrazne znižuje, kde väčšina výsledkov nadhodnocuje reálne hodnoty RMR. Vhodnosť **Harris-Benedictovej** rovnice a **Mifflinovej** rovnice sme už u tejto skupiny zhodnotili.

Dobré výsledky u európskej populácie dosiahli aj **WHO rovnice** a rovnica založená na vzorke obéznych talianskych žien podľa **Lazzera** má taktiež silnú výpovednú hodnotu. U skupiny belgických obéznych sa ako vhodné preukázali rovnice podľa **Huanga a Siervoa**. Siervoova rovnica bola vhodná aj u jedincov s BMI nad 50, kým rovnice FAO/WHO/UNU by sa podľa tohto výskumu nemali používať u ľudí s BMI > 45 kg/m^2. Medzi ďalšie rovnice, ktoré boli založené na dátach subjektov z nadváhou alebo obezitou patrí napr. **Heshka a kol., Feurer a kol., Forman a kol., Hirano a kol., Foster a kol**., a ďalší [164, 169, 176–178].

Sabounchi a kol. okrem už spomenutých údajov pre zlepšenie predikcie hodnôt RMR vytvorili v meta-analýze 47 štúdií rovnice špecifické pre 20 populačných skupín. [179].

Potrebu vytvorenia podobných rovníc na základe etnického zázemia potvrdila napríklad aj rozmanitosť výsledkov v rámci analýzy hodnôt získaných podľa už spomínaných FAO/WHO/UNU rovníc. Tieto rovnice však vo svojich výpočtoch nezohľadňujú hmotnosť FFM ani FM, čo pravdepodobne tvorí najväčšiu časť rozdielnej energetickej potreby medzi danými populáciami (viz *Obrázok 10*) [21].

Table 5 The percentage by which the FAO/WHO/UNU equations overestimate (+) or underestimate (−) BMR in different ethnic groups by sex, all ages 3–60 years

	Male		Female	
Ethnicity	Mean %	Sample size	Mean %	Sample size
Philippino	+9.5	172	+1.1	31
Indian	+12.8	50	+12.9	7
Japanese	+5.8	202	+4.6	152
South American	+9.4	941	+4.8	227
Chinese	+7.6	274	+3.8	190
Malayan	+9.3	62	No data	
Javanese	+5.0	86	No data	
Mayan	+1.5	76	No data	
Ceylonese	+22.4	125	+12.5	100
African	+6.5	20	No data	
Hawaiian	+7.2	19	+4.5	62
Samoan	+3.3	21	No data	
All	+9.0	2053	+5.4	769

Abbreviations: FAO/WHO/UNU – Food and Agriculture Organization/World Health Organization/United Nations University; BMR – basal metabolic rate.
Source: Henry and Rees[37].

Obrázok 10: Percentuálne nadhodnotenie (+) a podhodnotenie (-) hodnôt BMR rôznych etnických skupín pomocou prediktívnej rovnice FAO/WHO/UNU [21].

Autor	Rok	n	M/Ž (%)	TH (kg)	BMI (kg/m2)	Vek (roky)	Počet rovníc	Parametre zahrnuté v rovnici
Harris - Benedict	1918	239	57/43	[25–124]	M = 21,4 Ž = 24,4	[21–70]	**2** - podľa pohlavia	·telesná výška ·telesná hmotnosť ·vek
FAO/WHO/ UNU	1981	4726	75/25	neznáme	neznáme	[18–60]	**3 (6)** – podľa veku (verzia s TV/ bez TV)	·telesná hmotnosť (telesná výška) (vek)
Oxford	2005	6528	59/41	59*	22*	29*	**12** - podľa pohlavia a veku	·telesná hmotnosť (vek)
Mifflin-St Jeor	1990	498	51/49	79±17 [46–143]	27±5 [17–42]	46±14 [19–78]	**2 -** verzia pre TH/FFM	·telesná výška ·telesná hmotnosť ·vek ·pohlavie /beztuková hmota
Owen	1986/ 1987	104	58/42	M = [60- 171] Ž = [43-143]	M = [20-59] Ž = [18-50]	M = [18-82] Ž = [18-65]	**4** – podľa pohlavia a verzie pre TH/FFM	·telesná hmotnosť /beztuková hmota
Nelson	1992	212	41/59	78* [43-171]	neznáme	neznáme	**1**	·beztuková hmota ·tuková hmota
Lazzer	2007	182	0/100	114*	45*	44* [19-60]	**2** - verzia pre TH/FFM	·telesná výška ·telesná hmotnosť /beztuková hmota
ten Haaf	2014	90	59/41	70±10 [53–100]	22±2 [18–27]	23±5 [18–35]	**2** - verzia pre TH/FFM	·telesná výška ·vek ·pohlavie ·telesná hmotnosť /beztuková hmota

Tabuľka 4: Prehľad charakteristík vybraných prediktívnych rovníc BMR/RMR [21, 163, 167, 175, 178, 180–183].

Vysvetlivky : [rozmedzie]; * dopočítaný priemer dopočítaný z dát uvedených v článku; M/Ž – zastúpenie mužov a žien vo vzorke; TH – telesná hmotnosť; TV – telesná výška; FFM – beztuková hmota; FM- tuková hmota

Autor	Vzorec rovnice (kcal/deň)	
Harris – Benedict (1919)	**M**	BMR= 66.473 + 13.7516 × (TH) + 5.0033 × (TVcm) – 6.7550 × (V)
	Ž	BMR= 655.0955 + 9.634 × (TH) + 1.8496 × (TVcm) – 4.6756 × (V)
FAO/WHO/UNU (TH+TV)	**M (18-30 r.)**	RMR= 15.4 × (TH) – 27 × (TV) + 717
	M (30-60 r.)	RMR= 11.3 ×(TH) – 16 × (TV) + 901
	M (> 60 r.)	RMR= 8.8 × (TH) + 1128× (TV) – 1071
	Ž (18-30 r.)	RMR= 13.3 × (TH) + 334 × (TV) + 35
	Ž (30-60 r.)	RMR= 8.7 × (TH) – 25 × (TV) + 865
	Ž (> 60 r.)	RMR= 9.2 × (TH) + 637 × (TV) – 302
Mifflin-St Jeor	**TH verzia**	RMR= 9.99 × (TH) + 6.25 × (TVcm) – 4.92 × (V) + 166 × koeficient pohlavia (muži 1, ženy 0) – 161
	FFM verzia	RMR= 19.7 × (FFM) + 413
Owen	**M - TH verzia**	RMR= 10.2 × (TH) +879
	M - FFM verzia	RMR= 22.3 × (FFM) +290
	Ž - TH verzia	RMR= 7.18 × (TH) +795
	Ž - FFM verzia	RMR= 19.7 × (FFM) +334
Nelson	**obidve pohlavia**	RMR= 25.8 × (FFM) + 4.04 × (FM)
Lazzer	**Ž - TH verzia**	RMR= 0.042 × (TH) + 3.619 × (TV) - 2.678
	Ž - FFM verzia	RMR= 108.1 × (FFM) + 1231
ten Haaf	**obidve pohlavia**	RMR=11.936 × (TH) + 587.728 × (TV) – 8.129 × (V) + 191.027 × koeficient pohlavia (muži 1, ženy 0) + 29.279
		RMR= 22.771 × (FFM) + 484.264

Tabuľka 5: Prehľad vzorcov vybraných prediktívnych rovníc BMR/RMR [21, 163, 167, 175, 178, 180–183].

Vysvetlivky: TH – telesná hmotnosť v kilogramoch; TV – telesná výška v metroch, TVcm – telesná výška v centimetroch; V – vek v rokoch; FFM – beztuková hmota v kilogramoch, FM – tuková hmota v kilogramoch

PRAKTICKÁ ČASŤ

5. Ciele praktickej časti

Hlavným cieľom praktickej časti tejto práce je zhodnotiť výpovednú hodnotu piatich prediktívnych rovníc kľudového metabolizmu založených na rôznych telesných parametroch (telesná hmotnosť, telesná výška, hmotnosť beztukovej a tukovej hmoty) u skupiny respondentiek ženského pohlavia v rozmedzí 18-35 rokov. Vedľajším cieľom je zanalyzovať vplyv týchto antrometrických parametrov na výšku nameraných kľudových hodnôt metabolizmu u skúmanej vzorky.

6. Hlavné hypotézy a vedecké otázky

Hypotéza č.1: *Medzi nameranými hodnotami RMR pomocou metódy nepriamej kalorimetrie a odhadom hodnoty RMR pomocou Harris-Benedictovej rovnice neexistuje štatisticky významný rozdiel.*

Hypotéza č.2: *Medzi nameranými hodnotami RMR pomocou metódy nepriamej kalorimetrie a odhadom hodnoty RMR pomocou Mifflinovej rovnice (verzia s použitím telesnej hmotnosti) neexistuje štatisticky významný rozdiel.*

Hypotéza č.3: *Medzi nameranými hodnotami RMR pomocou metódy nepriamej kalorimetrie a odhadom hodnoty RMR pomocou Mifflinovej rovnice (verzia s použitím beztukovej hmoty) neexistuje štatisticky významný rozdiel.*

Hypotéza č.4: *Medzi nameranými hodnotami RMR pomocou metódy nepriamej kalorimetrie a odhadom hodnoty RMR pomocou Nelsonovej rovnice neexistuje štatisticky významný rozdiel.*

Hypotéza č.5: *Medzi nameranými hodnotami RMR pomocou metódy nepriamej kalorimetrie a odhadom hodnoty RMR pomocou ten Haafovej rovnice neexistuje štatisticky významný rozdiel.*

Vedecké otázky:

1. *Existuje súvislosť medzi antropometrickými parametrami, ktoré definujú zloženie tela a výškou kľudového metabolizmu u skúmanej vzorky?*

2. *Aká je sila odhadu jednotlivých prediktívnych rovníc RMR u skúmanej vzorky?*

3. *U akého množstva zo skúmanej vzorky dokázali vybrané prediktívne rovnice stanoviť správne hodnoty RMR?*

7. Metodika a zber dát

Zber dát a merania prebehli na Ústave ochrany a podpory zdraví LF MUNI v Brne od 15.10.2019 až do 28.2.2020. Verejnosť bola o možnosti účasti vo výskume informovaná pomocou letákov v elektronickej aj tlačenej forme. Pred dohodnutím termínu boli účastníčky oboznámené s princípom práce, základnými informáciami o procese merania a kritériami, ktoré je pre výskum potrebné dodržať. Z merania boli vylúčené respondentky s diagnostikovanými poruchami štítnej žľazy, tehotné a kojace ženy.

Stretnutie prebiehalo vždy ráno, čo najskôr po prebudení respondentky (v čase 6.00 - 9.00) na LF MU v Brne, Kamenice 5, vo vyšetrovni III ÚOPZ. Po príchode boli účastníčky znovu informované o priebehu merania s následným podpísaním informovaného súhlasu, ktorý je uvedený v prílohách tejto práce. Informovaný súhlas bol s povolením autorky vytvorený na základe práce *„Bazální metabolismus a výživová spotřeba ve vztahu k nadváze a obezitě“* pani Mgr. Ing. Jany Kunčické.

Dáta využívané v praktickej časti tejto práce boli získavané pomocou prístrojov Cortex Metalyzer 3B (CORTEX Biophysik Gmbh, Germany), InBody 230 (Biospace, Seoul, Kórea) a merača telesnej výšky SECA 213 (Medizinische Waagen und Messysteme Hamburg, Germany). Doba merania trvala približne 60 minút.

Vyšetrovaná osoba musela spĺňať nasledujúce kritériá:

1) **Ženské pohlavie**, vek v rozmedzí **18-35 rokov.**

2) **Telesný a duševný pokoj** - čo znamená relaxáciu na lôžku, najmenej 24 hodín bez väčšej fyzickej aktivity, bez predchádzajúceho pohybu (iba najnutnejšieho k doprave na ÚOPZ), zvukovo izolované prostredie.

3) **Stav nalačno** - min. 12 hodín od posledného jedla, ktoré nesmie obsahovať bielkoviny, min. 2,5 hod od príjmu tekutín (min. 12 hodín od príjmu kofeínu a alkoholu).

4) **Termoregulačná prostredie** - zaistená teplota okolitého prostredia 20 - 22 ° C.

5) **Eliminácia rušivých predmetov** - vypnutý mobilný telefón, účastnička si v prípade potreby pred samotným meraním navštívila toaletu.

6) **Folikulárna fáza menštruačného cyklu** - meranie prebehlo v rozmedzí 1-14 dní od začiatku poslednej menštruácie.

Meranie telesnej výšky - merač SECA 213

Účastníčka sa v prvom kroku merania postavila bez topánok a ponožiek vzpriamene na podložku merača s pohľadom smerujúcim do diaľky pred seba. Následne bolo z displeja prístroja odčítaná hodnota nameranej telesnej výšky s presnosťou na 0,1 cm.

Meranie telesného zloženie - InBody 230

V druhom kroku merania sa účastníčka vyzliekla do spodného prádla a postavila sa na podložku prístroja InBody. Rukami držala rukoväte prístroja s elektródami a bola inštruovaná počas merania pravidelne a pokojne dýchať. Meranie bude prebiehať približne 30 sekúnd.

Meranie kľudového metabolizmu - Cortex Metalyzer 3B

Pred každým jednotlivým meraním bol prístroj kalibrovaný a účastníčka sa nachádzala aspoň 20 minút v leže bez stimulujúcich podnetov. Účastníčke bola podľa veľkosti tváre nasadená maska a po utesnení a prispôsobeniu bol do nej založený snímač vdychovaných a vydychovaných plynov. Meranie prebiehalo 20 minút a hodnota RMR bola následne určená podľa najustálenejšieho 5-minútového úseku.

Všetky získané dáta a osobné údaje sú uložené v databáze pod číslom kódu (bez mena), v súlade so Zákonom č. 101/2000 Zb. O ochrane osobných údajov. Všetky namerané hodnoty spoločne s údajmi o veku, pohlaví, váhe, výške a BMI sú úplne anonymné. Získané dáta sú takisto uložené pod pridelenými kódmi v softvéri prístrojov Cortex Metalyzer (softvér Metasoft Studio), InBody 230 (software Lookin'Body) a v PC programe Microsoft Office Excel v počítači chránenom prístupovým heslom, ktorý sa nachádza vo vyšetrovni III. Všetky materiály sú skladované na Ústavu ochrany a podpory zdravia vo vyšetrovni III. Respondentke boli poskytnuté výsledky merania spolu s vysvetlením získaných hodnôt a na nich založenými individuálnymi odporúčaniami.

K základnej popisnej štatistike údajov a vytvoreniu grafov bol použitý program „Microsoft Office Excel 2016“. Získané dáta boli definované v nasledujúcej podkapitole pomocou priemeru, mediánu, smerodajnej odchylky a tiež maximálnymi a minimálnymi hodnotami. Štatistické vyhodnotenie a grafické zobrazenie hypotéz bolo prevedené pomocou programu „STATISTICA 12 CZ“ a programu MedCalc.

Pre testovanie normality dát bol použitý Shapiro-Wilk test. K zhodnoteniu štatistickej významnosti rozdielov medzi sledovanými súbormi dát bol využitý párový t-test. V prípade, že nebolo zistené normálne rozloženie dát, bol použitý neparametrický Wilcoxonov test. Podľa vzoru väčšiny vedeckých prác zaoberajúcich touto problematikou bol ďalej vypočítaný Pearsonov korelačný koeficient pre zistenie asociácie medzi nameranými a predpokladanými hodnotami RMR pre každú z prediktívnych rovníc. K posúdeniu presnosti RMR rovníc bola prevedená Bland-Altmanova analýza.

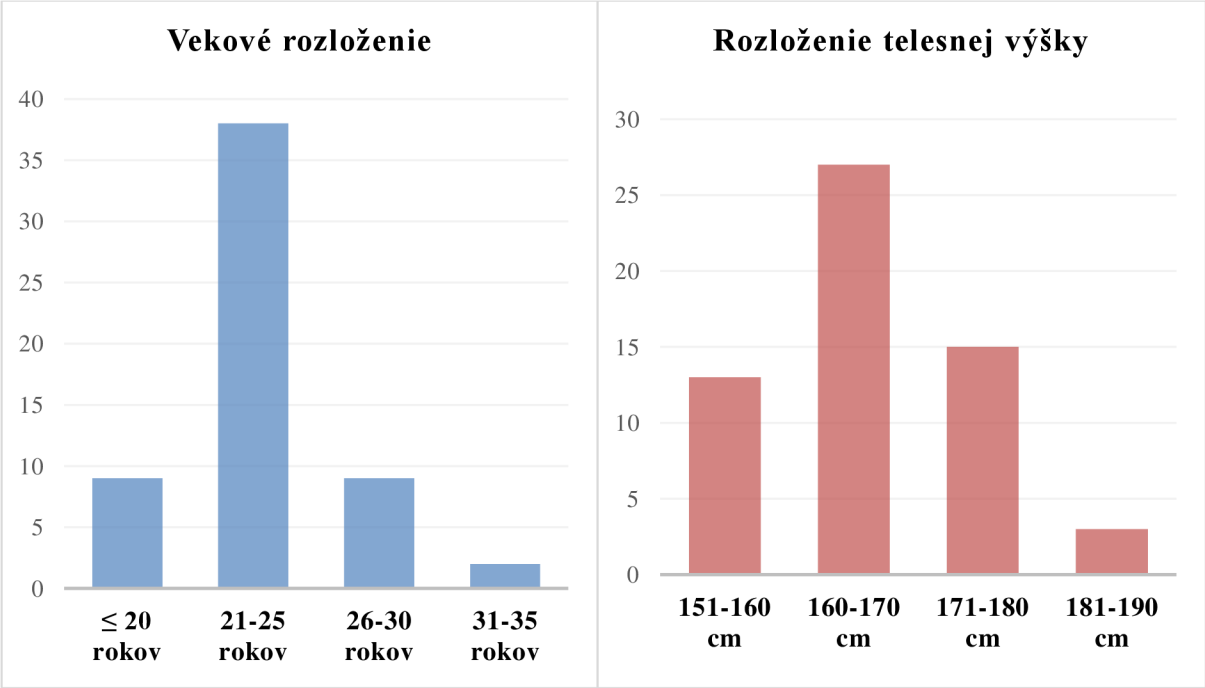
Hladina štatistickej významnosti (p) bola nastavená na hodnotu $\alpha = 0,05$. Dáta s hladinou $p < 0,05$ boli považované za štatisticky významné, dáta s hladinou $p < 0,01$ za štatisticky vysoko významné a dáta s hladinou $p < 0,001$ veľmi vysoko štatisticky významné.

8. Popis súboru

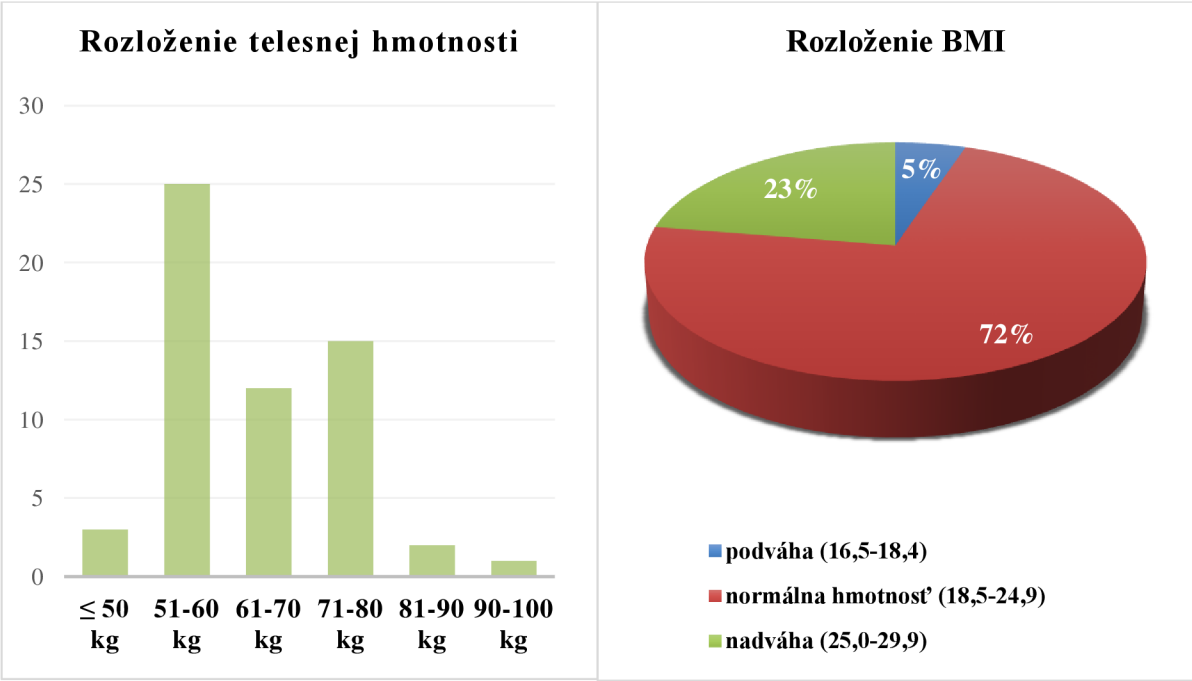
Výskumu sa zúčastnilo 63 osôb ženského pohlavia, avšak z dôvodu nedostatočnej kvality (kvalita merania ≤ 40) merania RMR pomocou prístroja Cortex Metalyzer 3B boli vylúčené 3 osoby. Ďalšie 2 osoby boli vylúčené z analýzy výsledkov z dôvodu výrazne odľahlých hodnôt v nameraných hodnotách RMR (RMR > 2500 kcal/deň), ktoré značne skresľovali údaje celej vzorky. V štatistickej analýze sa teda využili dáta od 58 účastníčok.

	Jednotka	Priemer	Medián	SD	Minimum	Maximum
Vek		23,6	23,0	±3,2	19,0	35,0
Telesná výška	**[cm]**	166,9	166,3	±7,0	154,1	182,2
Telesná hmotnosť	**[kg]**	63,9	61,1	±9,9	47,4	91,7
BMI	**[kg/m^2]**	22,9	22,3	±3,1	17,7	29,8
FFM	**[kg]**	45,5	44,2	±5,8	37,1	60,2
Per. Zastúpenie FFM	**[%]**	71,6	72,4	±6,1	55,9	83,2
FFMI	**[kg/m^2]**	16,3	16,1	±1,4	13,2	19,7
Svalová hmota	**[kg]**	25,0	24,3	±3,5	19,9	34,0
FM	**[kg]**	18,4	18,1	±6,1	8,6	33,0
Per. zastúpenie FM	**[%]**	28,3	27,3	±6,0	16,8	44,1
BFMI	**[kg/m^2]**	6,6	6,3	±2,2	3,3	12,2

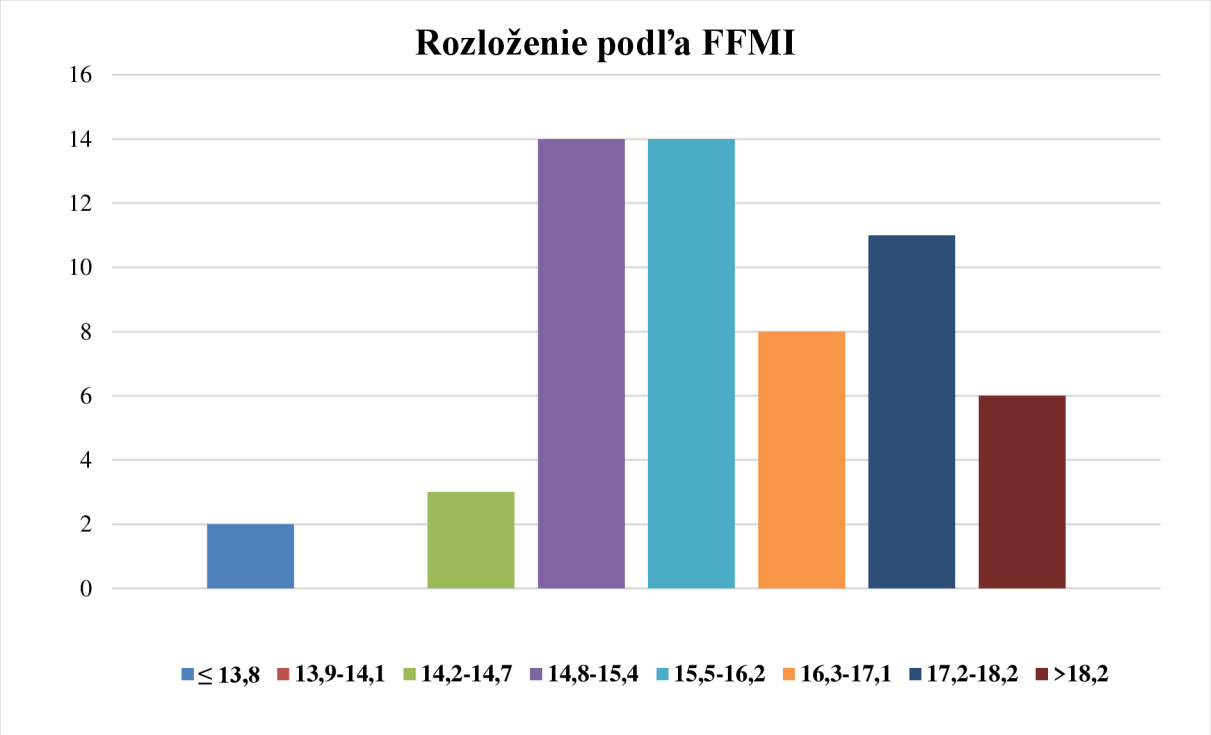
Tabuľka 6: Popis súboru podľa veku, telesnej výšky, telesnej hmotnosti a BMI.



Graf 1:Grafické zobrazenia rozloženi veku (vľavo) a telesnej výšky (vpravo).

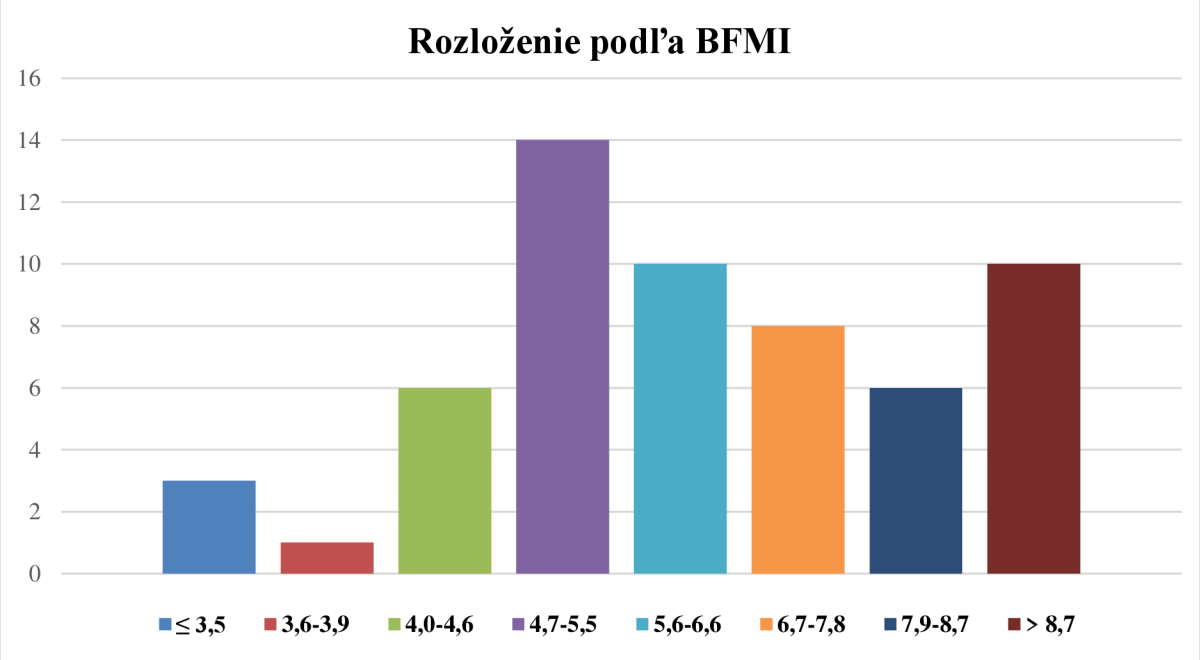


Graf 2: Grafické zobrazenia rozloženi telesnej hmotnosti (vľavo) a BMI (vpravo).



Graf 3: Grafické zobrazenie rozloženia indexu beztukovej hmoty. Hraničné hodnoty určené podľa hodnôt FFMI (≤ P5; P5 - P10; P11 - P25; P26 - P50; P51 - P75; P76 - P90; P91 - P95; > P95) u ženského pohlavia 18-34 rokov [49].

Tabuľka 7: Popis súboru podľa obsahu tukovej hmoty v tele



Graf 4: Grafické zobrazenie rozloženia indexu tukovej hmoty. Hraničné hodnoty určené podľa hodnôt BFMI (≤ P5; P5 - P10; P11 - P25; P26 - P50; P51 - P75; P76 - P90; P91 - P95; > P95) u ženského pohlavia 18-34 rokov [49].

	RMR= nepriama kalorimetria	Energetická spotreba na kilogram telesnej hmotnosti	Energetická spotreba na kilogram beztukovej hmoty
jednotka	**[kcal/deň]**	**[kcal/kg TH]**	**[kcal/kg FFM]**
priemer	1793,6	28,5	39,7
medián	1791,0	28,0	39,8
SD	±211,4	±4,0	±4,2
minimum	1368,0	19,2	29,5
maximum	2245,0	38,6	51,0

Tabuľka 8: Popis súboru podľa nameranej hodnoty RMR pomocou metódy nepriamej kalorimetrie.

	RMR= NK	RMR= Harris-Benedict rovnica	RMR= Mifflinova rovnica (TH verzia)	RMR= Mifflinova rovnica (FFM verzia)	RMR= Nelsonova rovnica	RMR= ten Haafova rovnica
jednotka	**[kcal/deň]**	**[kcal/deň]**	**[kcal/deň]**	**[kcal/deň]**	**[kcal/deň]**	**[kcal/deň]**
priemer	**1793,6**	1464,3	1404,0	1308,6	1247,2	1519,5
medián	**1791,0**	1443,5	1391,2	1282,8	1218,1	1489,6
SD	**±211,4**	±100,6	±125,3	±114,2	±160,9	±132,0
minimum	**1368,0**	1278,0	1182,2	1143,9	1001,0	1329,1
maximum	**2245,0**	1749,0	1738,2	1608,8	1650,0	1866,5

Tabuľka 9: Popis súboru podľa odhadu hodnoty RMR pomocou prediktívnych rovníc a ich porovnanie s RMR hodnotami získanými pomocou metódy nepriamej kalorimetrie.

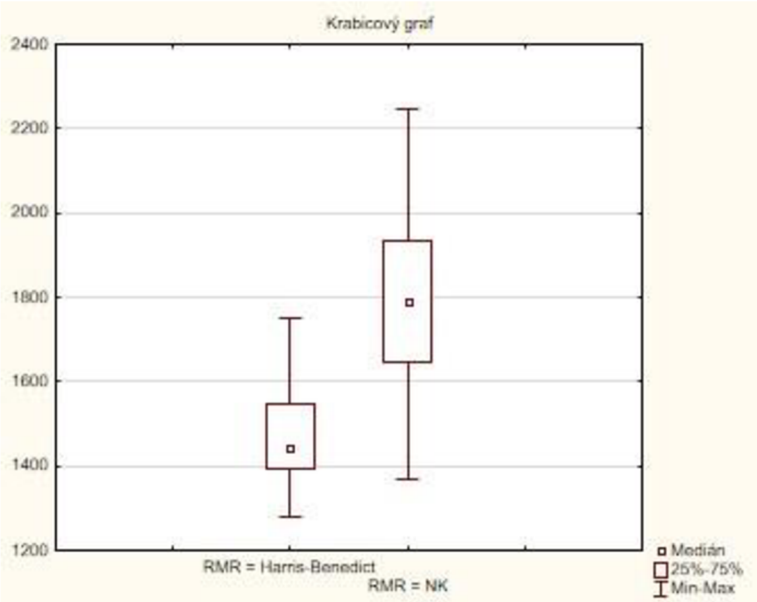
9. Výsledky

9.1. Štatistické vyhodnotenie hypotéz

Hypotéza č.1

H0$_1$: Medzi nameranými hodnotami RMR pomocou metódy nepriamej kalorimetrie a odhadom hodnoty RMR pomocou Harris-Benedictovej rovnice neexistuje štatisticky významný rozdiel.

HA$_1$: Medzi nameranými hodnotami RMR pomocou metódy nepriamej kalorimetrie a odhadom hodnoty RMR pomocou Harris-Benedictovej rovnice existuje štatisticky významný rozdiel.



Graf 5: Porovnanie mediánov hodnôt RMR (kcal/deň) získaných pomocou merania metódou nepriamej kalorimetrie (RMR=NK) a vypočítanej hodnoty pomocou Harris-Benedictovej rovnice (RMR=Harris-Benedict).

Pri testovaní normality dát bol použitý Shapiro-Wilk test, ktorý potvrdil normálne rozloženie dát u nameraných hodnôt RMR (p = 0,753) a takisto u vypočítaných hodnôt pomocou Harris-Benedictovej rovnice (p = 0,874). Vzhľadom na potvrdenie normality dát bol teda použitý párový t-test.

	Priemer	SD	Rozdiel	SD rozdielu	Štatistická významnosť
RMR-NK	1793,552	±211,37			
RMR-Harris-Benedict	1464,293	±100,64	**329,2586**	**±178,8541**	$p < 0,001$

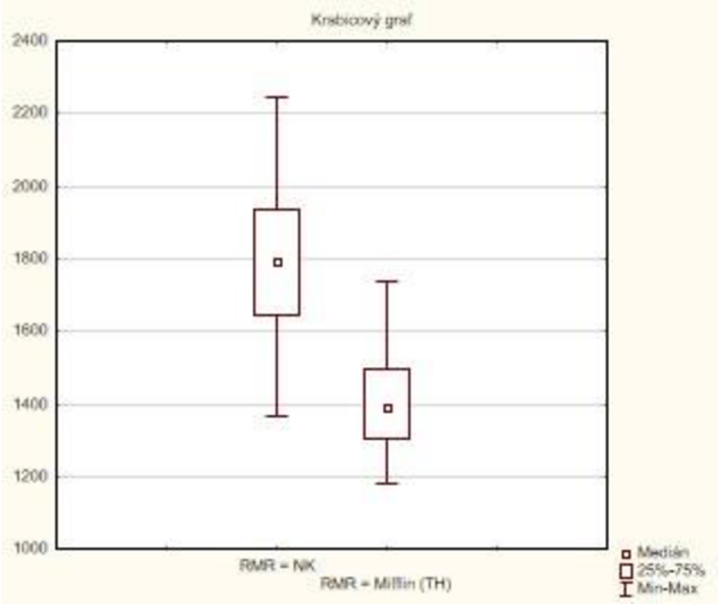
Tabuľka 10: Výsledky testovania 1. hypotézy.

Získaná hodnota $p < 0,001$ je nižšia ako stanovená hladina štatistickej významnosti $\alpha = 0,05$. Nulovú hypotézu zamietame a platí teda, že medzi nameranými hodnotami RMR pomocou nepriamej kalorimetrie a odhadom RMR pomocou Harris-Benedictovej rovnice existuje veľmi vysoko štatisticky významný rozdiel.

Hypotéza č.2:

$H0_2$: Medzi nameranými hodnotami RMR pomocou metódy nepriamej kalorimetrie a odhadom hodnoty RMR pomocou Mifflinovej rovnice (verzia s použitím telesnej hmotnosti) neexistuje štatisticky významný rozdiel.

HA_2: Medzi nameranými hodnotami RMR pomocou metódy nepriamej kalorimetrie a odhadom hodnoty RMR pomocou Mifflinovej rovnice (verzia s použitím telesnej hmotnosti) existuje štatisticky významný rozdiel.



Graf 6: Porovnanie mediánov hodnôt RMR (kcal/deň) získaných pomocou merania metódou nepriamej kalorimetrie (RMR=NK) a vypočítanej hodnoty pomocou Mifflinovej rovnice (RMR=Mifflin (TH)).

Pri testovaní normality dát bol použitý Shapiro-Wilk test, ktorý potvrdil normálne rozloženie dát u nameraných hodnôt RMR ($p = 0,753$) a takisto u vypočítaných hodnôt pomocou Mifflinovej rovnice (verzia TH) rovnice ($p = 0,122$). Vzhľadom na potvrdenie normality dát bol teda použitý párový t-test.

	Priemer	**SD**	**Rozdiel**	**SD rozdielu**	**Štatistická významnosť**
RMR-NK	1793,552	±211,37			
RMR-Mifflin (TH verzia)	1404,046	±125,28	**389,5054**	**±178,2055**	$p < 0,001$

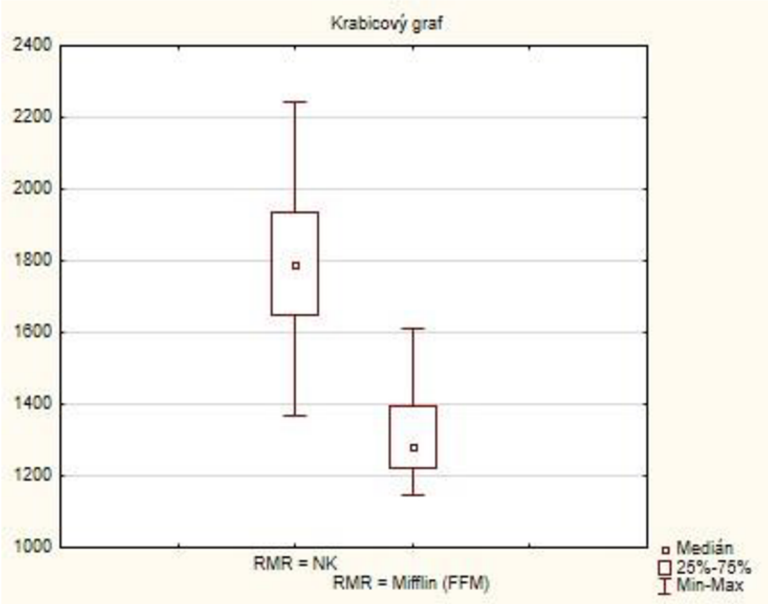
Tabuľka 11: Výsledky testovania 2. hypotézy.

Získaná hodnota $p < 0,001$ je nižšia ako stanovená hladina štatistickej významnosti $\alpha = 0,05$. Nulovú hypotézu zamietame a platí teda, že medzi nameranými hodnotami RMR pomocou nepriamej kalorimetrie a odhadom RMR pomocou Mifflinovej rovnice (verzia TH) existuje veľmi vysoko štatisticky významný rozdiel.

Hypotéza č.3:

$H0_3$: Medzi nameranými hodnotami RMR pomocou metódy nepriamej kalorimetrie a odhadom hodnoty RMR pomocou Mifflinovej rovnice (verzia s použitím beztukovej hmoty) neexistuje štatisticky významný rozdiel.

HA_3: Medzi nameranými hodnotami RMR pomocou metódy nepriamej kalorimetrie a odhadom hodnoty RMR pomocou Mifflinovej rovnice (verzia s použitím beztukovej hmoty) existuje štatisticky významný rozdiel.



Graf 7: Porovnanie mediánov hodnôt RMR (kcal/deň) získaných pomocou merania metódou nepriamej kalorimetrie (RMR=NK) a vypočítanej hodnoty pomocou Mifflinovej rovnice (RMR=Mifflin (FFM)).

Pri testovaní normality dát bol použitý Shapiro-Wilk test, ktorý potvrdil normálne rozloženie dát u nameraných hodnôt RMR (p = 0,753), avšak u vypočítaných hodnôt pomocou Mifflinovej rovnice (verzia FFM) bolo preukázané neparametrické rozloženie dát (p = 0,018). Z tohto dôvodu bol ďalej použitý Wilcoxonov párový test. Avšak vzhľadom na dostatočnú veľkosť súboru s rozložením, ktoré je blízke normálnemu a s minimom extrémnych hodnôt som si dovolila použiť aj parametrický t-test.

	Priemer	SD	Rozdiel	SD rozdielu	Štatistická významnosť
RMR-NK	1793,552	±211,37			
Mifflin (FFM verzia)	1308,637	±114,20	**484,9158**	**±165,9158**	$p < 0,001$

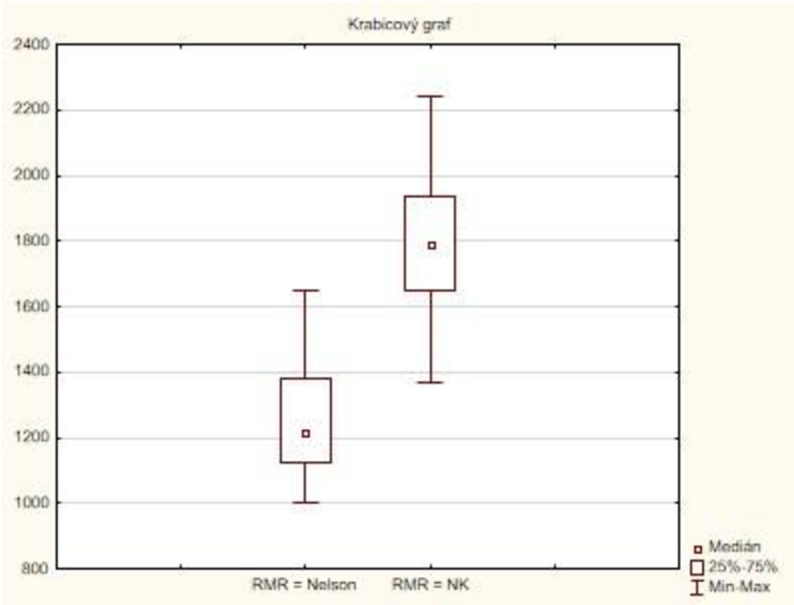
Tabuľka 12: Výsledky testovania 3. hypotézy.

Získaná hodnota $p < 0,001$ pomocou obidvoch testov je nižšia ako stanovená hladina štatistickej významnosti $\alpha = 0,05$. Nulovú hypotézu zamietame a platí teda, že medzi nameranými hodnotami RMR pomocou nepriamej kalorimetrie a odhadom RMR pomocou Mifflinovej rovnice (verzia FFM) existuje veľmi vysoko štatisticky významný rozdiel.

Hypotéza č.4:

$H0_4$: Medzi nameranými hodnotami RMR pomocou metódy nepriamej kalorimetrie a odhadom hodnoty RMR pomocou Nelsonovej rovnice neexistuje štatisticky významný rozdiel.

HA_4: Medzi nameranými hodnotami RMR pomocou metódy nepriamej kalorimetrie a odhadom hodnoty RMR pomocou Nelsonovej rovnice existuje štatisticky významný rozdiel.



Graf 8: Porovnanie mediánov hodnôt RMR (kcal/deň) získaných pomocou merania metódou nepriamej kalorimetrie (RMR= NK) a vypočítanej hodnoty pomocou Nelsonovej rovnice (RMR=Nelson).

Pri testovaní normality dát bol použitý Shapiro-Wilk test, ktorý potvrdil normálne rozloženie dát u nameraných hodnôt RMR (p = 0,753), avšak u vypočítaných hodnôt pomocou Nelsonovej rovnice bolo preukázané neparametrické rozloženie dát (p = 0,016). Z tohto dôvodu bol ďalej použitý Wilcoxonov párový test. Avšak vzhľadom na dostatočnú veľkosť súboru s rozložením, ktoré je blízke normálnemu a s minimom extrémnych hodnôt som si dovolila použiť aj parametrický t-test.

	Priemer	**SD**	**Rozdiel**	**SD rozdielu**	**Štatistická významnosť**
RMR-NK	1793,552	±211,37			
RMR-Nelson	1247,225	±160,87	**546,3265**	**±169,3239**	$p < 0,001$

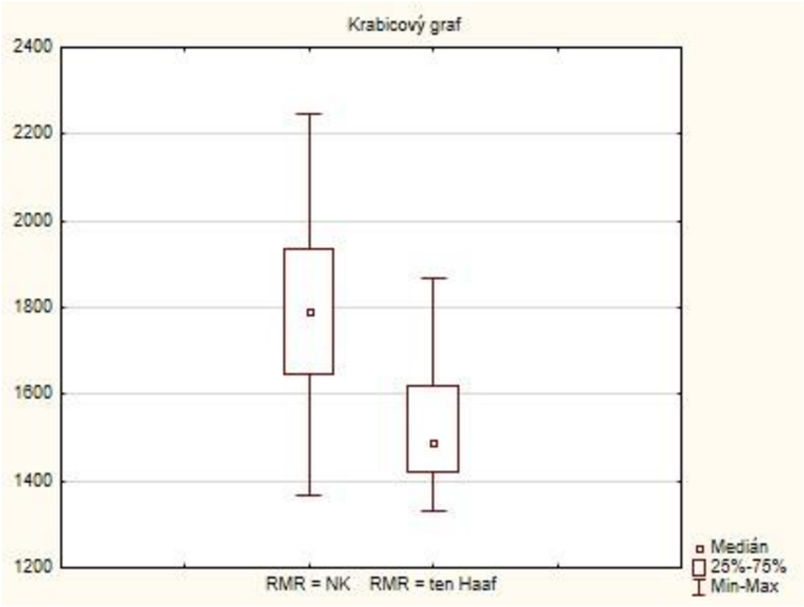
Tabuľka 13: Výsledky testovania 4. hypotézy.

Získaná hodnota $p < 0,001$ pomocou obidvoch testov je nižšia ako stanovená hladina štatistickej významnosti $\alpha = 0,05$. Nulovú hypotézu zamietame a platí teda, že medzi nameranými hodnotami RMR pomocou nepriamej kalorimetrie a odhadom RMR pomocou Nelsonovej rovnice existuje veľmi vysoko štatisticky významný rozdiel.

Hypotéza č.5:

$H0_5$: Medzi nameranými hodnotami RMR pomocou metódy nepriamej kalorimetrie a odhadom hodnoty RMR pomocou ten Haafovej rovnice neexistuje štatisticky významný rozdiel.

HA_5: Medzi nameranými hodnotami RMR pomocou metódy nepriamej kalorimetrie a odhadom hodnoty RMR pomocou ten Haafovej rovnice existuje štatisticky významný rozdiel.



Graf 9: Porovnanie mediánov hodnôt RMR (kcal/deň) získaných pomocou merania metódou nepriamej kalorimetrie (RMR=NK) a vypočítanej hodnoty pomocou ten Haafovej rovnice (RMR=ten Haaf).

Pri testovaní normality dát bol použitý Shapiro-Wilk test, ktorý potvrdil normálne rozloženie dát u nameraných hodnôt RMR (p = 0,753), avšak u vypočítaných hodnôt pomocou Nelsonovej rovnice bolo preukázané neparametrické rozloženie dát (p = 0,018). Z tohto dôvodu bol ďalej použitý Wilcoxonov párový test. Avšak vzhľadom na dostatočnú veľkosť súboru s rozložením, ktoré je blízke normálnemu a s minimom extrémnych hodnôt som si dovolila použiť aj parametrický t-test.

	Priemer	**SD**	**Rozdiel**	**SD rozdielu**	**Štatistická významnosť**
RMR-NK	1793,552	±211,37			
RMR-ten Haaf	1519,520	±132,00	**274,0317**	**±164,9370**	p < 0,001

Tabuľka 14: Výsledky testovania 5. hypotézy.

Získaná hodnota p < 0,001 pomocou obidvoch testov je nižšia ako stanovená hladina štatistickej významnosti α = 0,05. Nulovú hypotézu zamietame a platí teda, že medzi nameranými hodnotami RMR pomocou nepriamej kalorimetrie a odhadom RMR pomocou ten Haafovej rovnice existuje veľmi vysoko štatisticky významný rozdiel.

9.2. Štatistické vyhodnotenie výskumných otázok

1. ***Existuje súvislosť medzi antropometrickými parametrami, ktoré definujú zloženie tela a výškou kľudového metabolizmu u skúmanej vzorky?***

Pre testovanie vzájomných súvislostí medzi dvoma alebo viacerými premennými existuje veľké množstvo metód. Najjednoduchšou z nich je analýza korelácie medzi premennými pomocou Pearsonovho korelačného koeficientu.

V nasledujúcom texte sú preto uvedené korelačné koeficienty, ktoré analyzujú spojitosť medzi telesnými parametrami, ktoré charakterizujú zloženie tela účastníčok výskumu a ich výškou kľudového metabolizmu (viz *Tabuľka 15*).

	Pearsonov korelačný koeficient medzi nameranými hodnotami RMR=NK a telesnými parametrami skúmanej vzorky	
	Pearsonov korelačný koeficient (r)	**Štatistická významnosť**
TH	**0,5045**	p <0,0001
BMI	0,3236	p=0,0132
FFM (kg)	**0,6254**	p <0,0001
FFM (%)	0,0260	p=0,8462
FFMI	**0,5247**	p <0,0001
FM (kg)	0,2267	p=0,0870
FM (%)	-0,0231	p=0,8632
BFMI	0,1216	p=0,3633

Tabuľka 15: Korelačná analýza nameraných hodnôt RMR=NK a telesných parametrov skúmanej vzorky.

Podľa výsledkov korelačnej analýzy preukazuje veľkú lineárnu závislosť (r=0,5-0,7) s výškou kľudového metabolizmu telesná hmotnosť, hmotnosť beztukovej hmoty v tele a index beztukovej hmoty (hmotnosť beztukovej hmoty vztiahnutej na výšku subjektu). Preukázali sme teda existenciu pozitívnej lineárnej závislosti medzi týmito parametrami a výškou RMR na hladine významnosti 0,1 %.

Aj keď sa parametre spojené s FFM javia ako parametre najsilnejšie korelujúce s výškou kľudového metabolizmu, percentuálne zastúpenie beztukovej hmoty v tele naopak preukázalo veľmi slabú koreláciu s RMR, čo po logickej úvahe odpovedá faktu, že aj pri vysokom percentuálnom zastúpení FFM nemusí mať skúmaná osoba hmotnostne veľké množstvo vysoko

metabolicky aktívneho tkaniva (nízke osoby, osoby s nízkou telesnou hmotnosťou s veľmi nízkym zastúpením FM, atď.)

Napriek dôležitosti, ktorá sa v klinickej praxi prikladá BMI, sa podľa analýzy u skúmanej vzorky preukázala hodnota BMI slabú koreláciu s hodnotou RMR (r=0,3236), Podľa analýzy však medzi nimi existuje lineárna závislosť na hladine významnosti 5 %.

Percentuálne zastúpenie tukovej hmoty preukazuje záporné hodnoty korelačného koeficientu, čo naznačuje nepriamu úmernosť medzi týmto parametrom a hodnotou RMR. Tento výsledok je však štatisticky nesignifikantný (p=0,8632).

2. *Aká je sila odhadu jednotlivých prediktívnych rovníc RMR u skúmanej vzorky?*

K hodnoteniu vzťahu medzi nameranými hodnotami RMR a výpočtami každej prediktívnej rovnice sa taktiež dajú použiť korelačné koeficenty.

	Pearsonov korelačný koeficient medzi nameranými hodnotami RMR=NK a odhadom pomocou prediktívnych rovníc	
	Pearsonov korelačný koeficient (r)	**Štatistická významnosť**
Harris-Benedict	0,5364	p <0,0001
Mifflin (TH)	0,5405	p <0,0001
Mifflin (FFM)	0,6258	p <0,0001
Nelson	0,6161	p <0,0001
ten Haaf	0,6256	p <0,0001

Tabuľka 16: Korelačná analýza nameraných hodnôt RMR=NK a odhadov RMR pomocou prediktívnych rovníc.

Korelačná analýza preukazuje lineárnu závislosť s RMR=NK pre všetky skúmané prediktívne rovnice na hladine významnosti 0,1 %.

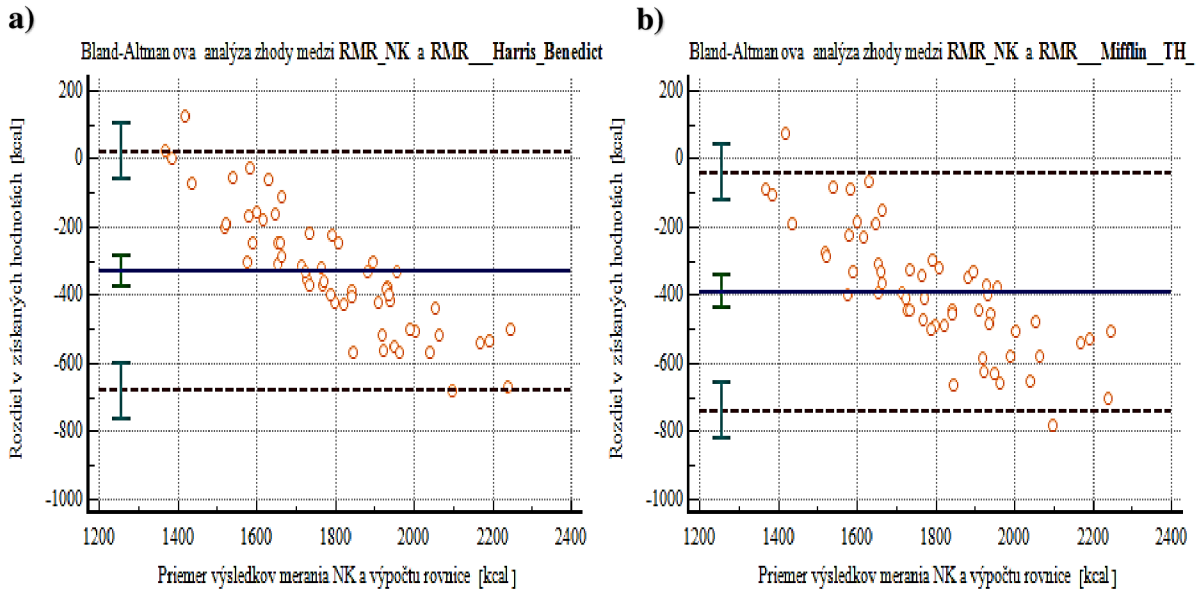
V medicínskej praxi sa však na posúdenie zhody medzi dvoma a viacerými metódami, ktoré merajú tú istú charakteristiku odporúča **Bland – Altmanova analýza.** V tomto prípade je daný proces vhodnejší ako použitie údajov získaných pomocou korelačných koeficientov. Vysoká korelácia totiž nutne neznamená, že sa dve skúmané metódy zhodujú, ale skôr poukazuje na silný vzťah medzi týmito dvomi premennými.

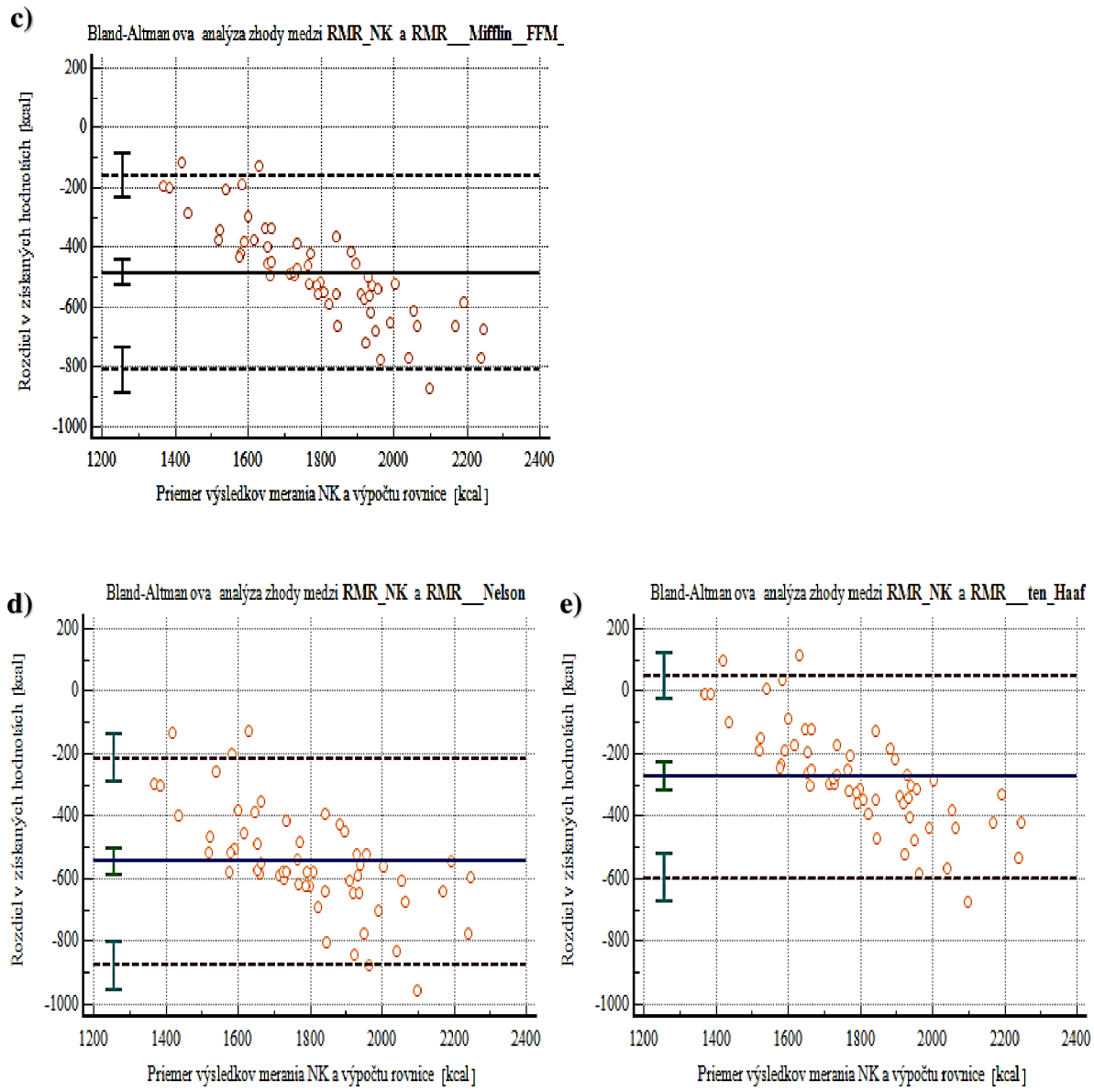
Ako príklad môžeme uviesť hypotetickú predikčnu rovnicu RMR, ktorá by viedôa k výsledkom presne dve krát vyššimi ako RMR hodnôt získaných pomocou metódy nepriamenj kalorimetrie. V tomto prípade by teda korelačná analýza by ukázala jednu priamku s r = 1, aj keď by tieto dve metódy merania nesúhlasili.

Bland-Altmanova analýza využíva k hodnoteniu sily odhadu jednotlivých rovníc tzv. limity zhody, ktoré sú ďalej použité k určeniu rozsahu chyby pre každú prediktívnu rovnicu v porovnaní s RMR=NK (*Tabuľka 18* a *Graf 10).*

	Limity zhody RMR medzi meraním a odhadom pomocou rovnice			
	Najnižší limit	**95% interval spoľahlivosti**	**Najvyšší limit**	**95% interval spoľahlivosti**
Harris-Benedict	-679,81	-760,65 do -599,00	21,30	-59,54 do 102,13
Mifflin (TH)	-738,78	-819,31 do -658,26	-40,32	-120,85 do 40,21
Mifflin (FFM)	-810,03	-884,98 do -735,07	-159,87	-234,83 do -84,91
Nelson	-878,08	-954,58 do -801,57	-214,43	-290,95 do -137,92
ten Haaf	-597,25	-671,78 do -522,73	49,15	-25,38 do 123,68

Tabuľka 17: Limity zhody RMR medzi meraním a odhadom pomocou rovnice.





Graf 10: Bland-Altmanova analýza zhody medzi nameranou hodnotou RMR pomocou metódy nepriamej kalorimetrie a odhadom RMR pomocou prediktívnej rovnice: ***a*** *)Harris-Benedict;* ***b)*** *Mifflin (TH);* ***c)*** *Mifflin (FFM);* ***d)*** *Nelson;* ***e)*** *ten Haaf.*

Uvedené Bland-Altmanove diagramy zobrazujú jednotlivé hodnoty RMR vypočítané pomocou skúmaných prediktívnych rovníc v porovnaní s nameraným energetickým výdajom získaným nepriamou kalorimetriou. Os *x* ukazuje priemer RMR týchto dvoch metód (kcal/deň) a os *y* ukazuje rozdiel v RMR medzi týmito dvoma metódami (kcal/deň).

Ak mali u subjektu obidve metódy dobrú zhodu, body by sa mali sústreďovať na osi y v bode 0, bez ohľadu na priemer RMR.

Na diagramoch môžeme vidieť u každej z metód výraznú zápornú odchylku od tohto bodu, čo znamená, že všetky prediktívne rovnice podhodnotili RMR namerané pomocou metódy nepriamej kalorimetrie.

	Rozdiely v RMR medzi meraním a odhadom pomocou rovnice					
jednotky	**[kcal]**			**[%]**		
	Priemer	**SD**	**95% interval spoľahlivosti**	**Priemer**	**SD**	**95% interval spoľahlivosti**
Harris-Benedict	-329,26	±178,85	-76,29 do -282,24	**-17,55**	**±8,69**	-19,83 do -15,27
Mifflin (TH)	-389,55	±178,18	-436,40 do -342,70	**-21,05**	**±8,47**	-23,27 do -18,82
Mifflin (FFM)	-484,95	±165,86	-528,56 do -441,34	**-26,48**	**±7,07**	-28,33 do -24,62
Nelson	-546,26	±169,30	-590,77 do -501,74	**-30,11**	**±7,80**	-32,16 do -28,06
ten Haaf	-274,05	±164,90	-317,41 do -230,69	**-14,62**	**±8,21**	-16,78 do -12,47

Tabuľka 18: Rozdiely v RMR medzi meraním a odhadom pomocou rovnice.

Podľa priemerných rozdielov všetky prediktívne rovnice u subjektov hodnoty kľudového metabolizmu podhodnocovali. Priemerný rozdiel bol najvyšší u Nelsonovej rovnice, kde tvoril približne 30 % (546 kcal). Najmenší priemerný rozdiel vykazovali výpočty pomocou ten Haafovej rovnice, a to približne 15 % (317 kcal).

	Absolútna percentuálna chyba RMR medzi meraním a odhadom pomocou rovnice		
	Priemer	**95% interval spoľahlivosti**	**95. percentil**
Harris-Benedict	**19,35%**	16,74 to 21,25	29,61%
Mifflin (TH)	**22,89%**	19,19 to 23,94	33,13%
Mifflin (FFM)	**27,40%**	26,06 to 29,08	37,53%
Nelson	**31,61%**	28,59 to 33,33	43,66%
ten Haaf	**15,66%**	14,12 to 17,64	27,44%

Tabuľka 19:Absolútna percentuálna chyba RMR medzi meraním a odhadom pomocou prediktívnych rovníc.

3. ***U akého množstva zo skúmanej vzorky dokázali vybrané prediktívne rovnice stanoviť správne hodnoty RMR?***

Odhadovaná presnosť každej rovnice bola definovaná ako percento subjektov, u ktorých výpočet hodnoty RMR získanej pomocou rovnice bolo v rozmedzí ± 10% z hodnoty RMR získanej pomocou metódy nepriamej kalorimetrie. Ako podhodnotenie sa považovalo menej ako 90 % z nameranej hodnoty a ako nadhodnotenie RMR viac ako 110 % z tejto hodnoty. Každá hodnota RMR vo vzorke bola následne zaradená do jednej z kategórií a percentuálne rozloženie je uvedené v *Tabuľke 20*.

	Presnosť prediktívnych rovníc v porovnaní s meraním RMR pomocou nepriamej kalorimetrie u skúmanej vzorky		
	Podhodnotenie RMR	**Správny odhad RMR**	**Nadhodnotenie RMR**
	(< 90 %)	**(90 % - 110 %)**	**(> 110 %)**
Harris-Benedict	84,48 %	**15,52 %**	0,00 %
Mifflin (TH)	86,21 %	**13,79 %**	0,00 %
Mifflin (FFM)	96,55 %	**3,45 %**	0,00 %
Nelson	96,55 %	**3,45 %**	0,00 %
ten Haaf	79,31 %	**20,69 %**	0,00 %

Tabuľka 20: Presnosť prediktívnych rovníc v porovnaní s meraním RMR pomocou nepriamej kalorimetrie u skúmanej vzorky.

Ako najpresnejšia z rovníc sa vďaka 20,65% úspešnosti javí ten Haafova rovnica a následne Harris-Benedictova rovnica. Medzi najmenej presné rovnice patrí Mifflinova rovnica založená na hmotnosti FFM a Nelsonova rovnica.

Všetky rovnice však u väčšiny subjektov významne podhodnocovali hodnotu RMR a ani u jedného subjektu žiadna rovnica RMR nenadhodnocovala.

10. Diskusia

Hlavný cieľ praktickej časti tejto práce bol zhodnotiť výšku kľudového metabolizmu nameraného pomocou metódy nepriamej kalorimetrie (RMR-NK) u 63 zdravých žien v rozmedzí 18-35 rokov a porovnať tieto hodnoty s výsledkami RMR odhadnutými pomocou 5 prediktívnych rovníc, ktoré sa využívajú v praxi (RMR-PR).

Keďže existuje nespočetné množstvo prediktívnych rovníc RMR, pri výbere som sa zamerala na viacero faktorov: popularitu (vďaka čomu som vybrala najčastejšie používanú Harris-Bennedictovu rovnicu a Mifflinovu rovnicu využívajúcu telesnú hmotnosť) a ďalej parametre, ktoré rovnica pri výpočte využíva.

Zaujímal ma takisto rozdiel vo výpovednej hodnote ekvivalentov rovníc, ktoré vo výpočtoch zamieňajú telesnú hmotnosť za obsah beztukovej hmoty. Z tohto dôvodu som vybrala ako tretiu Mifflinovu rovnicu využívajúcu obsah beztukovej hmoty. Keďže by podľa vedeckých prác mala najlepšie odzrkadľovať výšku metabolizmu hmotnosť FFM, štvrtá a piata rovnica tiež obsahuje tento parameter [41, 44].

Ďalej ma zaujímalo, či okrem hmotnosti FFM dokáže zlepšiť presnosť predikcie aj použitie hmotnosti FM – z tohto dôvodu som zaradila do výskumu Nelsonovu rovnicu, ktorá používa obidve hodnoty. Ten Haafova rovnica bola vybraná spomedzi množstva rovníc, ktoré zohľadňujú vo výpočte FFM z dôvodu odlišného vekového zastúpenia a miery fyzickej aktivity účastníčiek, na ktorých je rovnica založená (vysvetlené nižšie) [175, 182].

Je potrebné objasniť fakt, že Harris a Benedict vo svojej publikácií uvádzajú, že nimi vytvorená rovnica slúži k odhadu bazálneho metabolizmu. V tejto práci je však táto rovnica použitá ako podklad pre výpočet kľudového metabolizmu. Dôvodom sú zhodné podmienky a metodika merania metabolizmu pomocou metódy nepriamej kalorimetrie. Tieto podmienky sú takisto totožné aj u zvyšných 4 použitých rovníc, ktoré ich autori definujú ako rovnice pre výpočet RMR [166, 175, 182, 185].

Aj keď na tento fakt viaceré vedecké publikácie upozorňujú, H-B rovnica sa často používa pre výpočet obidvoch verzií metabolizmu, čo môže tvoriť výrazné rozdiely v jej presnosti a v budúcnosti je určite potrebné zmeniť [161–166, 184].

Rozdiel v podmienkach a kritériách pri meraní BMR a RMR hodnôt sme si definovali podľa dostupnej literatúry na začiatku tejto práce. V praxi však väčšina štúdií, na ktorých sú prediktívne rovnice založené, tento rozdiel nerešpektuje.

V teoretickej rovine by sa hodnoty bazálneho metabolizmu mali merať hneď po zobudení, čo však pri väčších výskumoch nie je jednoduché a vyžadovalo by si prenocovanie jedinca v laboratóriu [21].

Ako alternatíva sa teda prijal postup pre meranie BMR, kde sa výška metabolizmu taktiež meria po nočnom hladovaní v ranných hodinách, subjekt však vynaloží minimálnu fyzickú aktivitu na presun do výskumného strediska. Tento postup bol dodržaný pri meraní v tejto práci a takisto v prácach, na ktorých sú založené použité prediktívne rovnice. Autori však uvádzajú výsledky ako meranie hodnôt RMR [166, 175, 182, 185].

Preto som sa napriek dodržaniu podmienok pre meranie BMR uvedenom v teoretickej časti tejto práce rozhodla mnou namerané hodnoty považovať taktiež za hodnoty kľudového metabolizmu, keďže pre zhodu výsledkov je prioritná rovnaká metodika výskumu u všetkých použitých metód.

Hlavným zistením práce je, že u tejto vzorky všetky rovnice hodnotu RMR odhadujú nepresne, a to výrazným podhodnotením. Žiadna z rovníc nesplnila definovaný limit odchylky (±10 % z RMR-NK). Najlepšie dopadla ten Haafova rovnica, ktorá vytvárala v priemere podhodnotenie o 14,62±8,21 % a hneď za ňou sa umiestnila Harris-Benedictova rovnica s -17,55±8,69 %. Z Mifflinových rovníc sa paradoxne lepšie podarilo odhadnúť hodnoty RMR jednoduchšej verzií s využitím telesnej hmotnosti (-21,05±8,47 %) ako FFM verzií (-26,48±7,07 %). Najhoršie dopadla najkomplikovanejšia rovnica, ktorá využívala hodnoty hmotnosti FM aj FFM. Nelsonova rovnica podhodnocovala v priemere kľudový metabolizmus o 30,11±7,80 %, čo znamená až 546,26±169,3 kcal/deň.

Rovnice dokázali v najlepšom prípade správne odhadnúť hodnotu RMR len u 20,69 % účastníčiek (ten Haaf) a u najmenej úspešných rovníc to bolo dokonca len u 3,45 % vzorky.

Ako veľmi zvláštny jav môžeme vyzdvihnúť, že ani u jednej z účastníčok žiadna z rovníc hodnoty RMR nenadhodnocovala.

Tieto zistenia neodrážajú výsledky zistené v iných publikáciách. Napríklad v jednej z prác, ktorá skúmala prediktívnu hodnotu rovníc u žien, správne odhadli hodnotu RMR u neobéznej skupiny (naša skupina taktiež neobsahuje subjekty s BMI>30) až u 69 % (H-B rovnica) a 82 % (Mifflin-TH verzia) účastníčok. U zle odhadnutých účastníčok mali obidve rovnice tendenciu RMR skôr nadhodnocovať ako podhodnocovať, čo je v rozpore s našimi výsledkami. Priemerný vek účastníčok bol však podstatne vyšší ako v našej vzorke [165].

Ďalšia publikácia, ktorá testovala niektoré z rovníc u podobne definovanej skupiny ako v tejto práci (ženské pohlavie, mladý vek) zistila, že H-B, Mifflin (TH verzia) a Nelsonova rovnica nadhodnocovala hodnoty RMR v priemere o 140–738 kcal/deň. V tejto štúdií najhoršie dopadla H-B rovnica (správny odhad RMR u 53 %) a najlepšie Nelsonova rovnica (správny odhad u 65 %). Tieto zistenia sú tiež v rozpore s našou prácou [172].

Porovnania ten Haafovej a Mifflinovej (FFM verzie) rovníc s podobnou vzorkou subjektov sa mi v odbornej literatúre nepodarilo nájsť.

Odchylky medzi RMR-NK a RMR-PR môžu byť spôsobené obmedzeniami prediktívnej hodnoty rovníc, ale taktiež odlišnými charakteristikami subjektov u skúmanej skupiny v tejto práci a skupiny subjektov, na ktorých boli rovnice založené. Rozdiely môžu byť takisto spôsobené chybou merania.

Skúmaná vzorka v tejto práci nevykazovala významne odlišné charakteristiky od bežnej populácie, na ktorej boli prediktívne rovnice založené. Skupinu tvorili predstaviteľky pozostávajúce zo zdravých, dobre fungujúcich mladých osôb bez ochorení, ktorý by významne mohli navyšovať hodnoty RMR. Vo vzorke sa nachádzali 3 ženy, ktoré mali deti v kojeneckom alebo batoľacom období, avšak ani jedna z nich už dlhšie obdobie nekojila, čo taktiež zamedzuje vytvorenie falošne vysokých hodnôt RMR spojených s laktačným obdobím.

Okrem jednej z rovníc (ten Haaf), ktoré sme v tomto výskume použili, boli pre vytvorenie rovníc použité dáta z bežnej populácie bez špecifikácie ohľadne fyzickej aktivity. Ten Haafova rovnica bola založená na vzorke atlétov, kde u ženskej časti výskumu tvorila športová aktivita v priemere približne 8 hod/týždeň [166, 175, 182, 185].

Priemerný obsah FFM v tele, ktorý je jeden z najviac ovplyvňujúcich faktorov hodnoty RMR, môže tvoriť značné rozdiely v sile odhadu rovníc. Pre tvorbu Nelsonovej rovnice boli podkladom merania RMR od žien s priemernou hmotnosťou FFM 46,1±0,6 kg, čo je podobná hodnota ako u nami skúmanej vzorke (45,5±5,8 kg). U H-B a Mifflinových rovníc, ktoré ako jediné nezohľadňujú hmotnosť FFM vo svojom výpočte, bohužiaľ nemáme informácie o obsahu FFM. Ten Haaf uvádza len priemerné percentuálne zastúpenie FFM (78,4±4,7 %), čo je vyššie ako naše hodnoty (71,6±6,1 %). Percentuálne zastúpenie však automaticky neznamená vyššiu hmotnosť FFM v tele subjektov. U atlétov, na ktorých je táto rovnica postavená, sa dá predpokladať nižšie zastúpenie FM v tele, čo automaticky zvyšuje percentuálnu hodnotu FFM. Samozrejme sa dá u športovcov takisto predpokladať aj väčšia hmotnosť svalovej hmoty, a tým pádom aj FFM [166, 175, 182, 185].

Priemerná hmotnosť tukovej hmoty v tele tvorila u našej skupiny 18,4±6,1 kg, čo znamená 28,3±6,0 % FM. Ako bolo uvedené vyššie, u vzorky pre tvorbu Harris-Benedictovej rovnice nemáme údaje o zložení tela. Mifflinove rovnice využívali dáta od účastníčiek s vyšším zastúpením tuku v tele (31,7±8,6 %) a Nelsonova skupina mala v priemere takisto podstatne vyššie hodnoty (34,7 ± 0,9 %; 26,6 ± 1,2 kg). Ten Haafova vzorka má podľa očakávaní (športovkyne) nižšie percentuálne zastúpenie FM, a to 21,6±4,7 % [166, 175, 182, 185].

Rozdiel medzi týmito skupinami, ktorý teoreticky po zanedbaní vplyvu FFM môže v určitej miere ovplyvňovať výpovednú hodnotu rovníc, je priemerný vek. V nami skúmanej vzorke bol 78 priemerný vek účastníčok 23,6 rokov, čo je podstatne nižšie ako u Harris-Benedictovej rovnice (31), Mifflinových rovníc (44,6). Najmenší rozdiel je u vzorky použitej pre tvorbu ten Haafovej rovnice, kde je priemerný vek účastníčok 23,5. U Nelsonovej rovnice je táto hodnota neznáma [166, 175, 182, 185].

K obmedzeniu chýb spojených s meraním boli vytvorené patričné opatrenia po vzore vedeckých publikácií zaoberajúcich sa touto problematikou. Antropometrické hodnoty, ktoré sa využívali pri výpočtoch RMR ako základné charakteristiky skúmanej osoby (telesná hmotnosť a výška, hmotnosť FFM a FM) a meranie RMR pomocou metódy nepriamej kalorimetrie prebiehalo v dobre kontrolovaných podmienkach, ktoré kopírovali metodiku použitú pri meraniach, na ktorých sú založené skúmané prediktívne rovnice [166, 175, 182, 185].

Na prístroji, ktorý bol využívaný pri meraní RMR (Cortex Metalyzer 3B), bola pred začiatkom výskumu prevedená údržba a kalibrácia odborným personálom. Pred každým meraním boli podľa odporúčaní prevedené potrebné kroky pre elimináciu chýb v meraní. Pri meraniach bol taktiež z dôvodu zníženia výskytu náhodných chýb kladený dôraz na kvalitu získaných údajov z merania RMR-NK. Účastníčky s nedostatočne ustálenými hodnotami analýzy dýchacích plynov, ktoré sa využívajú pre výpočet RMR, boli zo skúmanej vzorky vylúčené (3 osoby).

Získané výsledky RMR-NK s dostatočnou kvalitou merania, ktoré sa významne odlišovali od ostatných získaných hodnôt RMR a mohli by skresľovať výsledky celej vzorky (RMR-NK > 2500kcal/deň - 2 osoby) boli z analýzy taktiež vylúčené.

Napriek všetkým opatreniam spojenými s prípravou a podmienkami merania boli priemerné namerané hodnoty RMR-NK u nami skúmanej skupiny významne vyššie ako u všetkých skupín, na ktorých boli založené vybrané prediktívne rovnice. Priemerná hodnota RMR-NK tvorila v našej vzorke 1793,6±211 kcal/deň, kde napr. pri tvorbe H-B rovnice mali účastníčky výskumu hodnoty RMR len 1349±156 kcal/deň. Ostatné rovnice mali taktiež nižšie hodnoty RMR-NK u ich vzorky: Mifflin (1349±214), Nelson (1332±45), ten Haaf (1594±162) [166, 175, 182, 185].

Z tohto zistenia vyplýva, že vysoké odchylky skúmaných rovníc, ktoré nie sú v súlade s vedeckými prácami zaoberajúcimi sa touto problematikou, sú pravdepodobne spôsobené chybným meraním kľudových hodnôt metabolizmu. Ako je uvedené v predošlom texte, pri príprave a samotnom meraní boli dodržané všetky odporúčané postupy.

V priebehu výskumu nastal problém vo funkčnosti jednej zo súčiastok prístroja merajúceho hodnoty RMR, čo sa odzrkadlilo na kvalite merania a výsledky neboli použiteľné. Vďaka tomu bola táto chyba odhalená a opravená. Hodnoty RMR boli u týchto účastníčok zmerané znova. Zdroj potenciálneho nadhodnocovania výsledkov bude tým pádom pravdepodobne spôsobený neodhalenou poruchou prístroja.

Medzi limity tejto práce môžeme zaradiť pomerne malý počet skúmaných subjektov. Veľké časové obmedzenia boli spôsobené možnosťou merania len v ranných hodinách. Ďalšia limitácia súvisela s fázou menštruačného cyklu účastníčky, ktorý znížil počet vhodných dní na polovicu a značne skomplikoval flexibilitu termínov merania. Samotný proces merania bol takisto časovo náročný a z tohto dôvodu by väčší počet účastníčok nebol veľmi reálny.

Takisto by bolo zaujímavé skúmanú vzorku vytvoriť z obidvoch pohlaví a skúmať tak silu odhadu prediktívnych rovníc aj u mužského pohlavia. Vzhľadom na predpokladaný nízky počet subjektov som sa však rozhodla výskum zamerať len na jedno z pohlaví.

Ďalšou limitáciou je obmedzený rozsah vekového a hmotnostného rozmedzia skúmanej vzorky. Veková skupina bola cielene definovaná pred začiatkom výskumu z dôvodu obmedzenia skreslenia hodnôt RMR-NK a zloženia tela spôsobeného týmto parametrom. V pôvodnom zložení vzorky sa síce nachádzali 3 osoby s BMI>30, tie však boli ešte pred štatistickým vyhodnotením z analýzy vylúčené z dôvodu nedostatočnej kvality získaných údajov. Skúmané osoby sa teda nachádzali prevažne v rozmedzí normálnej hmotnosti (72 %) alebo nadváhy (23 %), vďaka čomu testované prediktívne rovnice neodhadovali výšku RMR u dostatočne rôznorodej vzorky.

11. Záver

Ciele tejto práce považujem za splnené. V teoretickej časti boli popísané základné informácie o zložkách celkového energetického výdaju. Ďalej boli bližšie charakterizované faktory ovplyvňujúce bazálny a kľudový metabolizmus organizmu a mechanizmy, ktoré môžu rozdiely v ich hodnotách spôsobiť. Z dôvodu zamerania práce na ženské pohlavie bola sústredená pozornosť najmä na špecifiká tohto pohlavia. Keďže výskumná časť práce využívala dve z metód stanovovania výšky metabolizmu, v poslednej časti teoretickej časti boli popísané dostupné metódy merania a odhadu bazálneho a kľudového metabolizmu s dôrazom na prediktívne rovnice.

Hlavný cieľ praktickej časti bolo zhodnotiť výpovednú hodnotu vybraných prediktívnych rovníc kľudového metabolizmu založených na odlišných telesných parametroch (telesná hmotnosť, telesná výška, hmotnosť beztukovej a tukovej hmoty) u skupiny respondentiek ženského pohlavia v rozmedzí 18-35 rokov. Ani jedna zo skúmaných rovníc sa nepreukázala ako vhodná metóda stanovenia hodnoty RMR u tejto skupiny a medzi týmito metódami existuje veľmi vysoko štatisticky významný rozdiel.

Podľa štatistickej analýzy všetky použité predikčné rovnice významne podhodnocovali hodnoty kľudového metabolizmu. Správny odhad RMR (v rozmedzí ± 10% z hodnoty RMR získanej pomocou metódy nepriamej kalorimetrie) bol pomocou rovníc stanovený v najlepšom prípade len u 20,69 % účastníčok (ten Haaf), 15,52 % (Harris-Benedict), 13,79 % (Mifflin-TH verzia). Najmenej presné boli Nelsonova a Mifflinova (FFM) rovnica so správnym odhadom len u 3,45 % vzorky. Ani u jednej účastníčky rovnice RMR nenadhodnocovali. Priemerný rozdiel v odhade tvoril podľa typu rovnice 274,05 - 546,26 kcal/deň. Napriek tomu, že sa hmotnosť FFM všeobecne považuje za najvýznamnejší prediktor výšky metabolizmu, v odhade hodnôt RMR boli úspešnejšie rovnice, ktoré vo svojom výpočte tento parameter nepoužívali (Harris-Benedict, Mifflin (TH verzia)). Výnimku tvorila ten Haafova rovnica, ktorá sa javí u tejto vzorky ako najpresnejšia alternatíva, s absolútnou percentuálnou chybou odhadu 15,66 %. Za najhoršiu metódu stanovenia RMR podľa môžeme určiť Nelsonovu rovnice, s absolútnou percentuálnou chybou odhadu až 31,61 %.

Doplňujúci cieľ mal za úlohu zanalyzovať vplyv antrometrických parametrov na výšku nameraných kľudových hodnôt metabolizmu. V tomto prípade boli zaznamenané štatisticky významné korelácie medzi výškou RMR a hmotnosťou FFM (r=0,63), FFMI (r=0,52), telesnou hmotnosťou (r=0,5) a BMI (r=0,32).

Napriek tomu, že hlavné hypotézy neboli potvrdené, hodnota práce zostáva v súhrne poznatkov z uvedených odborných zdrojov v teoretickej časti práce. Dôvody a limity práce, ktoré mohli zohrať úlohu v zamietnutí stanovených hypotéz, sú zhrnuté v diskusií.

Z poznatkov uvedených v tejto práci je zjavné, že hodnoty bazálneho a kľudového metabolizmu sú medzi jedincami značne odlišné. Stanoviť faktory, ktoré môžu ovplyvňovať jeho výšku je náročné a limitovať ich vplyv pri vytváraní prediktívnych rovníc RMR takmer nemožné. Keďže je meranie výšky metabolizmu pomocou spoľahlivejších metód pre bežnú populáciu stále ťažko dostupné a finančne náročné, presnosť používaných prediktívnych rovníc hrá pri výpočte energetickej potreby jedinca stále nezastupiteľnú úlohu. Z tohto dôvodu si táto problematika vyžaduje naďalej vysokú pozornosť a vytvorenie rozsiahlejších práci skúmajúcich rozdielne populácie.

12. Súhrn

Úvod: Pre udržanie stabilnej hmotnosti je potrebná rovnováha medzi energetickým príjmom a výdajom. Pre stanovenie energetickej potreby jedinca je potrebné zistiť výšku bazálneho a kľudového metabolizmu, ktorý tvorí 50 – 70 % energetického výdaju. Cieľom tejto práce bolo zhodnotiť výpovednú hodnotu vybraných prediktívnych rovníc RMR, založených na odlišných telesných parametroch (telesná hmotnosť, telesná výška, hmotnosť beztukovej a tukovej hmoty) u skupiny respondentiek ženského pohlavia v rozmedzí 18-35 rokov.

Metodika: Výskumu sa zúčastnilo 63 subjektov, do štatistickej analýzy bolo zahrnutých 58 z nich. Hodnoty RMR u vzorky boli stanovené pomocou metódy nepriamej kalorimetrie a následne porovnávané s výsledkami odhadu RMR pomocou piatich prediktívnych rovníc: Harris-Bennedict, Mifflin (verzia využívajúca telesnú hmotnosť), Mifflin (verzia využívajúca hmotnosť FFM), Nelson a ten Haaf. Antropometrické parametre boli stanovené pomocou metódy BIA. K zhodnoteniu štatistickej významnosti rozdielov medzi metódami bol použitý Wilcoxonov a párový t-test. Zhodnotenie odchyliek a posúdenie presnosti použitých prediktívnych rovníc prebehlo pomocou Bland-Altmanovej analýzy.

Výsledky: Všetky použité predikčné rovnice významne podhodnocovali hodnoty kľudového metabolizmu až u 79,31 - 96,55 % účastníčok. Priemerný rozdiel v odhade tvoril podľa typu rovnice 274,05 - 546,26 kcal/deň. Napriek tomu, že sa hmotnosť FFM všeobecne považuje za parameter, ktorý ovplyvňuje výšku metabolizmu najvýznamnejšie, v odhade hodnôt RMR boli úspešnejšie rovnice, ktoré vo svojom výpočte tento parameter nepoužívali (Harris-Benedict, Mifflin (TH verzia)). Výnimku tvorí ten Haafova rovnica, ktorá sa javí u tejto vzorky ako najpresnejšia alternatíva, s absolútnou percentuálnou chybou odhadu 15,66 %. Ako najhoršia metóda sa preukázal odhad RMR pomocou Nelsonovej rovnice s absolútnou percentuálnou chybou odhadu až 31,61 %. Analýza vplyvu antrometrických parametrov na výšku RMR zaznamenala štatisticky významné korelácie u hmotnosti FFM (r=0,63), FFMI (r=0,52), telesnej hmotnosti (r=0,5) a BMI (r=0,32).

Záver: Stanoviť jednotlivé faktory, ktoré u jedinca vplývajú na hodnotu RMR je extrémne komplikované. Z tohto dôvodu je pri tvorbe prediktívnych rovníc RMR do výpočtov takmer nemožné zahrnúť efekt interindividuálnych rozdielov a vytvoriť jednotnú formuláciu, ktorá by bola vhodná pre všetky populácie. Meranie výšky metabolizmu pomocou laboratórnych metód je však stále ťažko dostupná, vďaka čomu je presnosť používaných rovníc pri stanovení energetickej potreby jedinca stále nezastupiteľná pomôcka. V budúcnosti by preto bolo vhodná bližšia odborná špecifikácia použitia odlišných RMR rovníc u rôznych skupín obyvateľstva založená na rozsiahlejších vedeckých výskumoch.

Zoznam použitej literatúry

[1] HLÚBIK, Pavel. Obezita - závažný problém současnosti. *Interní medicína pro praxi* [online]. 2005, **4**(7), 314–317 [vid. 2020-02-02]. ISSN 12127299, 18035256. Dostupné z: http://solen.cz/doi/10.nnnn/int.2002.083.html

[2] KOPELMAN, P. G. Obesity as a medical problem. *Nature* [online]. 2000, **404**(6778), 635–643. ISSN 0028-0836. Dostupné z: doi:10.1038/35007508

[3] FLEGAL, Katherine M., Margaret D. CARROLL, Cynthia L. OGDEN a Lester R. CURTIN. Prevalence and trends in obesity among US adults, 1999-2008. *JAMA* [online]. 2010, **303**(3), 235–241. ISSN 1538-3598. Dostupné z: doi:10.1001/jama.2009.2014

[4] WORLD HEALTH ORGANIZATION. Obesity - Data and statistics. *WHO Regional Office for Europe* [online]. 2. únor 2020 [vid. 2020-02-02]. Dostupné z: http://www.euro.who.int/en/health-topics/noncommunicable-diseases/obesity/data-and-statistics

[5] EUROPEAN COMMISSION. Overweight and obesity - BMI statistics - Statistics Explained. *Eurostat* [online]. [vid. 2020-02-02]. Dostupné z: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Overweight_and_obesity_-_BMI_statistics#Obesity_in_the_EU:_gender_differences

[6] ČESKÝ STATISTICKÝ ÚŘAD. *Průměrný Čech trpí mírnou nadváhou | ČSÚ* [online]. [vid. 2020-02-02]. Dostupné z: https://www.czso.cz/csu/czso/prumerny-cech-trpi-mirnou-nadvahou

[7] OGDEN, Cynthia L., Katherine M. FLEGAL, Margaret D. CARROLL a Clifford L. JOHNSON. Prevalence and trends in overweight among US children and adolescents, 1999-2000. *JAMA* [online]. 2002, **288**(14), 1728–1732. ISSN 0098-7484. Dostupné z: doi:10.1001/jama.288.14.1728

[8] SERDULA, M. K., A. H. MOKDAD, D. F. WILLIAMSON, D. A. GALUSKA, J. M. MENDLEIN a G. W. HEATH. Prevalence of attempting weight loss and strategies for controlling weight. *JAMA* [online]. 1999, **282**(14), 1353–1358. ISSN 0098-7484. Dostupné z: doi:10.1001/jama.282.14.1353

[9] GROPPER, Sareen S. a Jack L. SMITH. *Advanced Nutrition and Human Metabolism*. 5 edition. Australia ; United States: Cengage Learning, 2008. 5. ISBN 978-0-495-11657-8.

[10] BRAY, George A. a Catherine M. CHAMPAGNE. Beyond energy balance: there is more to obesity than kilocalories. *Journal of the American Dietetic Association* [online]. 2005, **105**(5 Suppl 1), S17-23. ISSN 0002-8223. Dostupné z: doi:10.1016/j.jada.2005.02.018

[11] HEYDENREICH, Juliane, Bengt KAYSER, Yves SCHUTZ a Katarina MELZER. Total Energy Expenditure, Energy Intake, and Body Composition in Endurance Athletes Across the Training Season: A Systematic Review. *Sports Medicine - Open* [online]. 2017, **3** [vid. 2020-02-02]. ISSN 2199-1170. Dostupné z: doi:10.1186/s40798-017-0076-1

[12] WHITNEY, Eleanor a Sharon ROLFES. *Understanding Nutrition*. 27128th edition. B.m.: Wadsworth ,2010. 12th Edition, 2010. 12. ISBN 978-0-538-73465-3.

[13] PETTERSEN, Amanda K., Dustin J. MARSHALL a Craig R. WHITE. Understanding variation in metabolic rate. *The Journal of Experimental Biology* [online]. 2018, **221**(1), jeb166876 [vid. 2020-01-26]. ISSN 0022-0949, 1477-9145. Dostupné z: doi:10.1242/jeb.166876

[14] SHETTY, Prakash. Energy requirements of adults. *Public Health Nutrition* [online]. 2005, **8**(7A), 994–1009. ISSN 1368-9800. Dostupné z: doi:10.1079/phn2005792

[15] GALLAGHER, D., D. BELMONTE, P. DEURENBERG, Z. WANG, N. KRASNOW, F. X. PI-SUNYER a S. B. HEYMSFIELD. Organ-tissue mass measurement allows modeling of REE and metabolically active tissue mass. *The American Journal of Physiology* [online]. 1998, **275**(2), E249-258. ISSN 0002-9513. Dostupné z: doi:10.1152/ajpendo.1998.275.2.E249

[16] BOSY-WESTPHAL, Anja, Christine EICHHORN, Doris KUTZNER, Kirsten ILLNER, Martin HELLER a Manfred J. MÜLLER. The Age-Related Decline in Resting Energy Expenditure in Humans Is Due to the Loss of Fat-Free Mass and to Alterations in Its Metabolically Active Components. *The Journal of Nutrition* [online]. 2003, **133**(7), 2356–2362 [vid. 2020-01-28]. ISSN 0022-3166, 1541-6100. Dostupné z: doi:10.1093/jn/133.7.2356

[17] SPEAKMAN, John R., Elżbieta KRÓL a Maria S. JOHNSON. The Functional Significance of Individual Variation in Basal Metabolic Rate. *Physiological and Biochemical Zoology* [online]. 2004, **77**(6), 900–915 [vid. 2020-01-23]. ISSN 1522-2152, 1537-5293. Dostupné z: doi:10.1086/427059

[18] WOUTERS-ADRIAENS, Mirjam P. E. a Klaas R. WESTERTERP. Basal metabolic rate as a proxy for overnight energy expenditure: the effect of age. *British Journal of Nutrition* [online]. 2006, **95**(6), 1166–1170 [vid. 2020-01-27]. ISSN 0007-1145, 1475-2662. Dostupné z: doi:10.1079/BJN20061784

[19] GOLDBERG, G. R., A. M. PRENTICE, H. L. DAVIES a P. R. MURGATROYD. Overnight and basal metabolic rates in men and women. *European Journal of Clinical Nutrition*. 1988, **42**(2), 137–144. ISSN 0954-3007.

[20] BENEDICT, F. G. *Vital energetics. A study in comparative basal metabolism.* B.m.: Literary Licensing, LLC, 1938. 1. ISBN 978-1-258-66319-3.

[21] HENRY, C. J. K. Basal metabolic rate studies in humans: measurement and development of new equations. *Public Health Nutrition* [online]. 2005, **8**(7A), 1133–1152. ISSN 1368-9800. Dostupné z: doi:10.1079/phn2005801

[22] COMPHER, Charlene, David FRANKENFIELD, Nancy KEIM a Lori ROTH-YOUSEY. Best Practice Methods to Apply to Measurement of Resting Metabolic Rate in Adults: A Systematic Review. *Journal of the American Dietetic Association* [online]. 2006, **106**(6), 881–903 [vid. 2020-02-03]. ISSN 0002-8223, 1878-3570. Dostupné z: doi:10.1016/j.jada.2006.02.009

[23] WILLIAMS, Melvin. *Nutrition for Health, Fitness & Sport*. 9th Edition. B.m.: McGraw-Hill Higher Education, 2009. 9. ISBN 978-0-07-337555-7.

[24] REED, G. W. a J. O. HILL. Measuring the thermic effect of food. *The American Journal of Clinical Nutrition* [online]. 1996, **63**(2), 164–169. ISSN 0002-9165. Dostupné z: doi:10.1093/ajcn/63.2.164

[25] LIEBER, C. S. Perspectives: do alcohol calories count? *The American Journal of Clinical Nutrition* [online]. 1991, **54**(6), 976–982 [vid. 2020-02-02]. ISSN 0002-9165. Dostupné z: doi:10.1093/ajcn/54.6.976

[26] SCHOELLER, Dale A. a Andrea C. BUCHHOLZ. Energetics of obesity and weight control: does diet composition matter? *Journal of the American Dietetic Association* [online]. 2005, **105**(5 Suppl 1), S24-28. ISSN 0002-8223. Dostupné z: doi:10.1016/j.jada.2005.02.025

[27] CROVETTI, R., M. PORRINI, A. SANTANGELO a G. TESTOLIN. The influence of thermic effect of food on satiety. *European Journal of Clinical Nutrition* [online]. 1998, **52**(7), 482–488. ISSN 0954-3007. Dostupné z: doi:10.1038/sj.ejcn.1600578

[28] KINABO, J. L. a J. V. DURNIN. Thermic effect of food in man: effect of meal composition, and energy content. *The British Journal of Nutrition* [online]. 1990, **64**(1), 37–44. ISSN 0007-1145. Dostupné z: doi:10.1079/bjn19900007

[29] TAI, M. M., P. CASTILLO a F. X. PI-SUNYER. Meal size and frequency: effect on the thermic effect of food. *The American Journal of Clinical Nutrition* [online]. 1991, **54**(5), 783–787. ISSN 0002-9165. Dostupné z: doi:10.1093/ajcn/54.5.783

[30] BELKO, Amy a Teresa BARBIERI. Effect of meal size and frequency on the thermic effect of food. *Nutrition Research* [online]. 1987, **7**, 237–242. Dostupné z: doi:10.1016/S0271-5317(87)80013-1

[31] NACHT, C. A., Y. SCHUTZ, O. VERNET, L. CHRISTIN a E. JÉQUIER. Continuous versus single bolus enteral nutrition: comparison of energy metabolism in humans. *The American Journal of Physiology* [online]. 1986, **251**(5 Pt 1), E524-529. ISSN 0002-9513. Dostupné z: doi:10.1152/ajpendo.1986.251.5.E524

[32] RABEN, A., N. J. CHRISTENSEN, J. MADSEN, J. J. HOLST a A. ASTRUP. Decreased postprandial thermogenesis and fat oxidation but increased fullness after a high-fiber meal compared with a low-fiber meal. *The American Journal of Clinical Nutrition* [online]. 1994, **59**(6), 1386–1394. ISSN 0002-9165. Dostupné z: doi:10.1093/ajcn/59.6.1386

[33] D'ALESSIO, D A, E C KAVLE, M A MOZZOLI, K J SMALLEY, M POLANSKY, Z V KENDRICK, L R OWEN, M C BUSHMAN, G BODEN a O E OWEN. Thermic effect of food in lean and obese men. *Journal of Clinical Investigation* [online]. 1988, **81**(6), 1781–1789 [vid. 2020-02-03]. ISSN 0021-9738. Dostupné z: doi:10.1172/JCI113520

[34] SCHUTZ, Y., T. BESSARD a E. JÉQUIER. Exercise and postprandial thermogenesis in obese women before and after weight loss. *The American Journal of Clinical Nutrition* [online]. 1987, **45**(6), 1424–1432. ISSN 0002-9165. Dostupné z: doi:10.1093/ajcn/45.6.1424

[35] TAPPY, L. Thermic effect of food and sympathetic nervous system activity in humans. *Reproduction Nutrition Development* [online]. 1996, **36**(4), 391–397 [vid. 2020-02-03]. ISSN 0926-5287. Dostupné z: doi:10.1051/rnd:19960405

[36] HORTON, E. S. Introduction: an overview of the assessment and regulation of energy balance in humans. *The American Journal of Clinical Nutrition* [online]. 1983, **38**(6), 972–977. ISSN 0002-9165. Dostupné z: doi:10.1093/ajcn/38.6.972a

[37] MORRIS, J. N., D. G. CLAYTON, M. G. EVERITT, A. M. SEMMENCE a E. H. BURGESS. Exercise in leisure time: coronary attack and death rates. *British Heart Journal* [online]. 1990, **63**(6), 325–334. ISSN 0007-0769. Dostupné z: doi:10.1136/hrt.63.6.325

[38] PAFFENBARGER, R. S., A. L. WING a R. T. HYDE. Physical activity as an index of heart attack risk in college alumni. *American Journal of Epidemiology* [online]. 1978, **108**(3), 161–175. ISSN 0002-9262. Dostupné z: doi:10.1093/oxfordjournals.aje.a112608

[39] TAPPY, L., C. BINNERT a Ph. SCHNEITER. Energy expenditure, physical activity and body-weight control. *Proceedings of the Nutrition Society* [online]. 2003, **62**(3), 663–666 [vid. 2020-02-03]. ISSN 0029-6651, 1475-2719. Dostupné z: doi:10.1079/PNS2003280

[40] BUEMANN, B., B. SCHIERNING, S. TOUBRO, B. M. BIBBY, T. SØRENSEN, L. DALGAARD, O. PEDERSEN a A. ASTRUP. The association between the val/ala-55 polymorphism of the uncoupling protein 2 gene and exercise efficiency. *International Journal of Obesity* [online]. 2001, **25**(4), 467–471 [vid. 2020-02-03]. ISSN 1476-5497. Dostupné z: doi:10.1038/sj.ijo.0801564

[41] JOHNSTONE, Alexandra M, Sandra D MURISON, Jackie S DUNCAN, Kellie A RANCE a John R SPEAKMAN. Factors influencing variation in basal metabolic rate include fat-free mass, fat mass, age, and circulating thyroxine but not sex, circulating leptin, or triiodothyronine. *The American Journal of Clinical Nutrition* [online]. 2005, **82**(5), 941–948 [vid. 2020-01-23]. ISSN 0002-9165, 1938-3207. Dostupné z: doi:10.1093/ajcn/82.5.941

[42] ASTRUP, Arne, Peter C. GØTZSCHE, Karen VAN DE WERKEN, Claudia RANNERIES, Søren TOUBRO, Anne RABEN a Benjamin BUEMANN. Meta-analysis of resting metabolic rate in formerly obese subjects. *The American Journal of Clinical Nutrition* [online]. 1999, **69**(6), 1117–1122 [vid. 2020-02-02]. ISSN 0002-9165. Dostupné z: doi:10.1093/ajcn/69.6.1117

[43] HEITMANN, Berit Lilienthal a Lars GARBY. Composition (lean and fat tissue) of weight changes in adult Danes. *The American Journal of Clinical Nutrition* [online]. 2002, **75**(5), 840–847 [vid. 2020-01-26]. ISSN 0002-9165, 1938-3207. Dostupné z: doi:10.1093/ajcn/75.5.840

[44] MCMURRAY, Robert G., Jesus SOARES, Carl J. CASPERSEN a Thomas MCCURDY. Examining Variations of Resting Metabolic Rate of Adults: A Public Health Perspective. *Medicine & Science in Sports & Exercise* [online]. 2014, **46**(7), 1352–1358 [vid. 2020-01-23]. ISSN 0195-9131. Dostupné z: doi:10.1249/MSS.0000000000000232

[45] KYLE, Ursula G, Yves SCHUTZ, Yves M DUPERTUIS a Claude PICHARD. Body composition interpretation. *Nutrition* [online]. 2003, **19**(7–8), 597–604 [vid. 2020-01-25]. ISSN 08999007. Dostupné z: doi:10.1016/S0899-9007(03)00061-3

[46] COIN, Alessandra, Giuseppe SERGI, Nadia MINICUCI, Sandro GIANNINI, Elisa BARBIERO, Enzo MANZATO, Mario PEDRAZZONI, Salvatore MINISOLA, Maurizio

ROSSINI, Antonio DEL PUENTE, Mauro ZAMBONI, Eminé Meral INELMEN a Giuliano ENZI. Fat-free mass and fat mass reference values by dual-energy X-ray absorptiometry (DEXA) in a 20–80 year-old Italian population. *Clinical Nutrition* [online]. 2008, **27**(1), 87–94 [vid. 2020-01-25]. ISSN 02615614. Dostupné z: doi:10.1016/j.clnu.2007.10.008

[47] HEYMSFIELD, Steven B., Timothy LOHMAN, Zimian WANG a Scott B. GOING. *Human Body Composition*. Second edition. Champaign, IL: Human Kinetics, Inc., 2005. ISBN 978-0-7360-4655-8.

[48] KIM, Chul-Hyun, Sochung CHUNG, Hyeoijin KIM, Jae-Hyeon PARK, Seung-Hun PARK, Jun Won JI, Sang-Wan HAN, Jung-Chul LEE, Jae Hyung KIM, Yong Bum PARK, Hee-Seung NAM a Chan KIM. Norm references of fat-free mass index and fat mass index and subtypes of obesity based on the combined FFMI–%BF indices in the Korean adults aged 18–89yr. *Obesity Research & Clinical Practice* [online]. 2011, **5**(3), e210–e219 [vid. 2020-01-23]. ISSN 1871403X. Dostupné z: doi:10.1016/j.orcp.2011.01.004

[49] SCHUTZ, Y, Uug KYLE a C PICHARD. Fat-free mass index and fat mass index percentiles in Caucasians aged 18–98 y. *International Journal of Obesity* [online]. 2002, **26**(7), 953–960 [vid. 2020-01-25]. ISSN 0307-0565, 1476-5497. Dostupné z: doi:10.1038/sj.ijo.0802037

[50] KYLE, Ursula G, Alfredo MORABIA, Yves SCHUTZ a Claude PICHARD. Sedentarism affects body fat mass index and fat-free mass index in adults aged 18 to 98 years. *Nutrition* [online]. 2004, **20**(3), 255–260 [vid. 2020-01-25]. ISSN 08999007. Dostupné z: doi:10.1016/j.nut.2003.11.019

[51] KYLE, Ursula G, Laurence GENTON, Daniel O SLOSMAN a Claude PICHARD. Fat-free and fat mass percentiles in 5225 healthy subjects aged 15 to 98 years. *Nutrition* [online]. 2001, **17**(7–8), 534–541 [vid. 2020-01-25]. ISSN 08999007. Dostupné z: doi:10.1016/S0899-9007(01)00555-X

[52] BUCHHOLZ, A. C., M. RAFII a P. B. PENCHARZ. Is resting metabolic rate different between men and women? *The British Journal of Nutrition* [online]. 2001, **86**(6), 641–646. ISSN 0007-1145. Dostupné z: doi:10.1079/bjn2001471

[53] FERRARO, R., S. LILLIOJA, A. M. FONTVIEILLE, R. RISING, C. BOGARDUS a E. RAVUSSIN. Lower sedentary metabolic rate in women compared with men. *The Journal of Clinical Investigation* [online]. 1992, **90**(3), 780–784. ISSN 0021-9738. Dostupné z: doi:10.1172/JCI115951

[54] OWEN, O. E. Resting metabolic requirements of men and women. *Mayo Clinic Proceedings* [online]. 1988, **63**(5), 503–510. ISSN 0025-6196. Dostupné z: doi:10.1016/s0025-6196(12)65649-3

[55] CUNNINGHAM, J. J. Body composition and resting metabolic rate: the myth of feminine metabolism. *The American Journal of Clinical Nutrition* [online]. 1982, **36**(4), 721–726. ISSN 0002-9165. Dostupné z: doi:10.1093/ajcn/36.4.721

[56] ARCIERO, P. J., M. I. GORAN a E. T. POEHLMAN. Resting metabolic rate is lower in women than in men. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md.: 1985)* [online]. 1993, **75**(6), 2514–2520. ISSN 8750-7587. Dostupné z: doi:10.1152/jappl.1993.75.6.2514

[57] KYLE, U. G., C. P. EARTHMAN, C. PICHARD a J. A. COSS-BU. Body composition during growth in children: limitations and perspectives of bioelectrical impedance analysis. *European Journal of Clinical Nutrition* [online]. 2015, **69**(12), 1298–1305 [vid. 2020-02-19]. ISSN 1476-5640. Dostupné z: doi:10.1038/ejcn.2015.86

[58] MIDORIKAWA, Taishi, Yuki HIKIHARA, Megumi OHTA, Takafumi ANDO, Suguru TORII, Shizuo SAKAMOTO a Shigeho TANAKA. The relationship between organ-tissue body composition and resting energy expenditure in prepubertal children. *European Journal of Clinical Nutrition* [online]. 2019, **73**(8), 1149–1154 [vid. 2020-02-21]. ISSN 1476-5640. Dostupné z: doi:10.1038/s41430-018-0344-2

[59] FOMON, S. J., F. HASCHKE, E. E. ZIEGLER a S. E. NELSON. Body composition of reference children from birth to age 10 years. *The American Journal of Clinical Nutrition* [online]. 1982, **35**(5 Suppl), 1169–1175. ISSN 0002-9165. Dostupné z: doi:10.1093/ajcn/35.5.1169

[60] JACKSON, Diane M., Lucienne PACE a John R. SPEAKMAN. The measurement of resting metabolic rate in preschool children. *Obesity (Silver Spring, Md.)* [online]. 2007, **15**(8), 1930–1932. ISSN 1930-7381. Dostupné z: doi:10.1038/oby.2007.230

[61] WANG, Zimian. High ratio of resting energy expenditure to body mass in childhood and adolescence: A mechanistic model. *American Journal of Human Biology* [online]. 2012, **24**(4), 460–467 [vid. 2020-02-21]. ISSN 1520-6300. Dostupné z: doi:10.1002/ajhb.22246

[62] POEHLMAN, E. T. Regulation of energy expenditure in aging humans. *Journal of the American Geriatrics Society* [online]. 1993, **41**(5), 552–559. ISSN 0002-8614. Dostupné z: doi:10.1111/j.1532-5415.1993.tb01895.x

[63] FORBES, G. B. Longitudinal changes in adult fat-free mass: influence of body weight. *The American Journal of Clinical Nutrition* [online]. 1999, **70**(6), 1025–1031. ISSN 0002-9165. Dostupné z: doi:10.1093/ajcn/70.6.1025

[64] POEHLMAN, E. T., E. M. BERKE, J. R. JOSEPH, A. W. GARDNER, S. M. KATZMAN-ROOKS a M. I. GORAN. Influence of aerobic capacity, body composition, and thyroid hormones on the age-related decline in resting metabolic rate. *Metabolism: Clinical and Experimental* [online]. 1992, **41**(8), 915–921. ISSN 0026-0495. Dostupné z: doi:10.1016/0026-0495(92)90177-c

[65] LOOS, Ruth J. F. a Tuomo RANKINEN. Gene-diet interactions on body weight changes. *Journal of the American Dietetic Association* [online]. 2005, **105**(5 Suppl 1), S29-34. ISSN 0002-8223. Dostupné z: doi:10.1016/j.jada.2005.02.015

[66] RANKINEN, Tuomo, Aamir ZUBERI, Yvon C. CHAGNON, S. John WEISNAGEL, George ARGYROPOULOS, Brandon WALTS, Louis PÉRUSSE a Claude BOUCHARD. The human obesity gene map: the 2005 update. *Obesity (Silver Spring, Md.)* [online]. 2006, **14**(4), 529–644. ISSN 1930-7381. Dostupné z: doi:10.1038/oby.2006.71

[67] BOUCHARD, C. a A. TREMBLAY. Genetic influences on the response of body fat and fat distribution to positive and negative energy balances in human identical twins. *The Journal of Nutrition* [online]. 1997, **127**(5 Suppl), 943S-947S. ISSN 0022-3166. Dostupné z: doi:10.1093/jn/127.5.943S

[68] BOUCHARD, C., A. TREMBLAY, J. P. DESPRÉS, A. NADEAU, P. J. LUPIEN, G. THÉRIAULT, J. DUSSAULT, S. MOORJANI, S. PINAULT a G. FOURNIER. The response to long-term overfeeding in identical twins. *The New England Journal of Medicine* [online]. 1990, **322**(21), 1477–1482. ISSN 0028-4793. Dostupné z: doi:10.1056/NEJM199005243222101

[69] BOUCHARD, C., A. TREMBLAY, J. P. DESPRÉS, G. THÉRIAULT, A. NADEAU, P. J. LUPIEN, S. MOORJANI, D. PRUDHOMME a G. FOURNIER. The response to exercise with constant energy intake in identical twins. *Obesity Research* [online]. 1994, **2**(5), 400–410. ISSN 1071-7323. Dostupné z: doi:10.1002/j.1550-8528.1994.tb00087.x

[70] HAINER, V., A. J. STUNKARD, M. KUNESOVÁ, J. PARÍZKOVÁ, V. STICH a D. B. ALLISON. Intrapair resemblance in very low calorie diet-induced weight loss in female obese identical twins. *International Journal of Obesity and Related Metabolic Disorders: Journal of the International Association for the Study of Obesity* [online]. 2000, **24**(8), 1051–1057. Dostupné z: doi:10.1038/sj.ijo.0801358

[71] SANTINI, Ferruccio, Margherita MAFFEI, Caterina PELOSINI, Guido SALVETTI, Giovanna SCARTABELLI a Aldo PINCHERA. Melanocortin-4 receptor mutations in obesity. *Advances in Clinical Chemistry*. 2009, **48**, 95–109. ISSN 0065-2423.

[72] BRUNEROVÁ, L. a M. ANDĚL. Regulace příjmu potravy – I. část. *Vnitřni Lékařství* [online]. 2013, **59**(9), 808–817 [vid. 2020-02-01]. Dostupné z: https://www.prolekare.cz/casopisy/vnitrni-lekarstvi/2013-9/regulace-prijmu-potravy-i-cast-41530

[73] HAINEROVÁ, Irena Aldhoon a Jan LEBL. Mechanisms of appetite regulation. *Journal of Pediatric Gastroenterology and Nutrition* [online]. 2010, **51 Suppl 3**, S123-124. ISSN 1536-4801. Dostupné z: doi:10.1097/MPG.0b013e3181f84208

[74] FUMERON, F., I. DURACK-BOWN, D. BETOULLE, A. M. CASSARD-DOULCIER, S. TUZET, F. BOUILLAUD, J. C. MELCHIOR, D. RICQUIER a M. APFELBAUM. Polymorphisms of uncoupling protein (UCP) and beta 3 adrenoreceptor genes in obese people submitted to a low calorie diet. *International Journal of Obesity and Related Metabolic Disorders: Journal of the International Association for the Study of Obesity*. 1996, **20**(12), 1051–1054.

[75] OPPERT, J. M., M. C. VOHL, M. CHAGNON, F. T. DIONNE, A. M. CASSARD-DOULCIER, D. RICQUIER, L. PÉRUSSE a C. BOUCHARD. DNA polymorphism in the uncoupling protein (UCP) gene and human body fat. *International Journal of Obesity and Related Metabolic Disorders: Journal of the International Association for the Study of Obesity*. 1994, **18**(8), 526–531.

[76] UKKOLA, O., A. TREMBLAY, G. SUN, Y. C. CHAGNON a C. BOUCHARD. Genetic variation at the uncoupling protein 1, 2 and 3 loci and the response to long-term overfeeding. *European Journal of Clinical Nutrition* [online]. 2001, **55**(11), 1008–1015 [vid. 2020-02-21]. ISSN 1476-5640. Dostupné z: doi:10.1038/sj.ejcn.1601261

[77] ASTRUP, A., B. BUEMANN, S. TOUBRO, C. RANNERIES a A. RABEN. Low resting metabolic rate in subjects predisposed to obesity: a role for thyroid status. *The American Journal of Clinical Nutrition* [online]. 1996, **63**(6), 879–883. ISSN 0002-9165. Dostupné z: doi:10.1093/ajcn/63.6.879

[78] HARPER, Mary-Ellen a Erin L. SEIFERT. Thyroid Hormone Effects on Mitochondrial Energetics. *Thyroid* [online]. 2008, **18**(2), 145–156 [vid. 2020-03-20]. ISSN 1050-7256, 1557-9077. Dostupné z: doi:10.1089/thy.2007.0250

[79] KIM, Brian. Thyroid Hormone as a Determinant of Energy Expenditure and the Basal Metabolic Rate. *Thyroid* [online]. 2008, **18**(2), 141–144 [vid. 2020-03-20]. ISSN 1050-7256. Dostupné z: doi:10.1089/thy.2007.0266

[80] RATHEISER, K M, D J BRILLON, R G CAMPBELL a D E MATTHEWS. Epinephrine produces a prolonged elevation in metabolic rate in humans. *The American Journal of Clinical Nutrition* [online]. 1998, **68**(5), 1046–1052 [vid. 2020-03-20]. ISSN 0002-9165, 1938-3207. Dostupné z: doi:10.1093/ajcn/68.5.1046

[81] STATEN, M. A., D. E. MATTHEWS, P. E. CRYER a D. M. BIER. Physiological increments in epinephrine stimulate metabolic rate in humans. *The American Journal of Physiology* [online]. 1987, **253**(3 Pt 1), E322-330. ISSN 0002-9513. Dostupné z: doi:10.1152/ajpendo.1987.253.3.E322

[82] PETRÁK, O., D. HALUZÍKOVÁ, P. KAVÁLKOVÁ, B. ŠTRAUCH, J. ROSA, R. HOLAJ, A. BRABCOVÁ VRÁNKOVÁ, D. MICHALSKÝ, M. HALUZÍK, T. ZELINKA a J. WIDIMSKÝ. Changes in Energy Metabolism in Pheochromocytoma. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism* [online]. 2013, **98**(4), 1651–1658 [vid. 2020-03-21]. ISSN 0021-972X. Dostupné z: doi:10.1210/jc.2012-3625

[83] WELLE, S., R. JOZEFOWICZ, G. FORBES a R. C. GRIGGS. Effect of testosterone on metabolic rate and body composition in normal men and men with muscular dystrophy. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism* [online]. 1992, **74**(2), 332–335 [vid. 2020-03-21]. ISSN 0021-972X. Dostupné z: doi:10.1210/jcem.74.2.1730811

[84] CUMMINGS, David E. a Joost OVERDUIN. Gastrointestinal regulation of food intake. *The Journal of Clinical Investigation* [online]. 2007, **117**(1), 13–23. ISSN 0021-9738. Dostupné z: doi:10.1172/JCI30227

[85] CUMMINGS, David E. Ghrelin and the short- and long-term regulation of appetite and body weight. *Physiology & Behavior* [online]. 2006, **89**(1), 71–84. ISSN 0031-9384. Dostupné z: doi:10.1016/j.physbeh.2006.05.022

[86] HIGGINS, Susie C., Maria GUEORGUIEV a Márta KORBONITS. Ghrelin, the peripheral hunger hormone. *Annals of Medicine* [online]. 2007, **39**(2), 116–136. ISSN 0785-3890. Dostupné z: doi:10.1080/07853890601149179

[87] CUMMINGS, David E., Karen E. FOSTER-SCHUBERT a Joost OVERDUIN. Ghrelin and energy balance: focus on current controversies. *Current Drug Targets* [online]. 2005, **6**(2), 153–169. ISSN 1389-4501. Dostupné z: doi:10.2174/1389450053174569

[88] SAHU, Abhiram. Minireview: A hypothalamic role in energy balance with special emphasis on leptin. *Endocrinology* [online]. 2004, **145**(6), 2613–2620. ISSN 0013-7227. Dostupné z: doi:10.1210/en.2004-0032

[89] SOARES, M. J., L. S. PIERS, K. O'DEA a P. S. SHETTY. No evidence for an ethnic influence on basal metabolism: an examination of data from India and Australia. *The British Journal of Nutrition* [online]. 1998, **79**(4), 333–341. ISSN 0007-1145. Dostupné z: doi:10.1079/bjn19980057

[90] FONTVIEILLE, A. M., J. DWYER a E. RAVUSSIN. Resting metabolic rate and body composition of Pima Indian and Caucasian children. *International Journal of Obesity and Related Metabolic Disorders: Journal of the International Association for the Study of Obesity* [online]. 1992, **16**(8), 535–542 [vid. 2020-02-21]. Dostupné z: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/1326483

[91] WEYER, C., S. SNITKER, R. RISING, C. BOGARDUS a E. RAVUSSIN. Determinants of energy expenditure and fuel utilization in man: effects of body composition, age, sex, ethnicity and glucose tolerance in 916 subjects. *International Journal of Obesity and Related Metabolic Disorders: Journal of the International Association for the Study of Obesity* [online]. 1999, **23**(7), 715–722. Dostupné z: doi:10.1038/sj.ijo.0800910

[92] RODE, Andris a Roy J. SHEPHARD. Basal metabolic rate of inuit. *American Journal of Human Biology: The Official Journal of the Human Biology Council* [online]. 1995, **7**(6), 723–729. ISSN 1520-6300. Dostupné z: doi:10.1002/ajhb.1310070607

[93] GALLOWAY, Victoria A., William R. LEONARD a Evgueny IVAKINE. Basal metabolic adaptation of the Evenki reindeer herders of Central Siberia. *American Journal of Human Biology: The Official Journal of the Human Biology Council* [online]. 2000, **12**(1), 75–87. ISSN 1520-6300. Dostupné z: doi:10.1002/(SICI)1520-6300(200001/02)12:1<75::AID-AJHB9>3.0.CO;2-G

[94] LEONARD, William, J. Josh SNODGRASS a Mark V. SORENSEN. Metabolic adaptation in indigenous Siberian populations. *Annual Review of Anthropology* [online]. 2005, **34**, 451–471 [vid. 2020-02-23]. ISSN 0084-6570. Dostupné z: doi:10.1146/annurev.anthro.34.081804.120558

[95] LAWRENCE, M., K. THONGPRASERT a J. V. DURNIN. Between-group differences in basal metabolic rates: an analysis of data collected in Scotland, the Gambia and Thailand. *European Journal of Clinical Nutrition*. 1988, **42**(10), 877–891. ISSN 0954-3007.

[96] HENRY, C. Jeya K., Joan D. WEBSTER-GANDY, Poh B. KOON a Mohd N. ISMAIL. Resting metabolic rate in a sample of girls in Malaysia and England. *American Journal of Human Biology: The Official Journal of the Human Biology Council* [online]. 2005, **17**(6), 818–820. ISSN 1042-0533. Dostupné z: doi:10.1002/ajhb.20450

[97] FROEHLE, Andrew W. Climate variables as predictors of basal metabolic rate: new equations. *American Journal of Human Biology: The Official Journal of the Human Biology Council* [online]. 2008, **20**(5), 510–529. ISSN 1520-6300. Dostupné z: doi:10.1002/ajhb.20769

[98] ANTHANONT, Pimjai, James A. LEVINE, Shelly K. MCCRADY-SPITZER a Michael D. JENSEN. Lack of Seasonal Differences in Basal Metabolic Rate in Humans – a Cross-Sectional Study. *Hormone and metabolic research = Hormon- und Stoffwechselforschung = Hormones et metabolisme* [online]. 2017, **49**(1), 30–35 [vid. 2019-09-01]. ISSN 0018-5043. Dostupné z: doi:10.1055/s-0042-107793

[99] ULIJASZEK, S. J. a S. S. STRICKLAND. Basal metabolic rate and physique of Gurkha and British soldiers stationed in Britain. *Annals of Human Biology* [online]. 1991, **18**(3), 245–251. ISSN 0301-4460. Dostupné z: doi:10.1080/03014469100001562

[100] HAYTER, J. E. a C. J. HENRY. Basal metabolic rate in human subjects migrating between tropical and temperate regions: a longitudinal study and review of previous work. *European Journal of Clinical Nutrition*. 1993, **47**(10), 724–734. ISSN 0954-3007.

[101] RUSH, E. C., L. D. PLANK a W. A. COWARD. Energy expenditure of young Polynesian and European women in New Zealand and relations to body composition. *The American Journal of Clinical Nutrition* [online]. 1999, **69**(1), 43–48. ISSN 0002-9165. Dostupné z: doi:10.1093/ajcn/69.1.43

[102] GANNON, B., L. DIPIETRO a E. T. POEHLMAN. Do African Americans have lower energy expenditure than Caucasians? *International Journal of Obesity and Related Metabolic Disorders: Journal of the International Association for the Study of Obesity* [online]. 2000, **24**(1), 4–13. Dostupné z: doi:10.1038/sj.ijo.0801115

[103] LUKE, Amy, Lara DUGAS a Holly KRAMER. Ethnicity, energy expenditure and obesity: are the observed black/white differences meaningful? *Current Opinion in Endocrinology, Diabetes, and Obesity* [online]. 2007, **14**(5), 370–373. ISSN 1752-2978. Dostupné z: doi:10.1097/MED.0b013e3282c48a7c

[104] JONES, Alfredo, Wei SHEN, Marie-Pierre ST-ONGE, Dympna GALLAGHER, Stanley HESHKA, ZiMian WANG a Steven B. HEYMSFIELD. Body-composition differences between African American and white women: relation to resting energy requirements. *The American Journal of Clinical Nutrition* [online]. 2004, **79**(5), 780–786. ISSN 0002-9165. Dostupné z: doi:10.1093/ajcn/79.5.780

[105] SHOOK, Robin P., Gregory A. HAND, Xuewen WANG, Amanda E. PALUCH, Robert MORAN, James R. HÉBERT, Damon L. SWIFT, Carl J. LAVIE a Steven N. BLAIR. Low fitness partially explains resting metabolic rate differences between African American and white women. *The American Journal of Medicine* [online]. 2014, **127**(5), 436–442. ISSN 1555-7162. Dostupné z: doi:10.1016/j.amjmed.2014.02.003

[106] HADDOCK, B. L. a L. D. WILKIN. Resistance training volume and post exercise energy expenditure. *International Journal of Sports Medicine* [online]. 2006, **27**(2), 143–148. ISSN 0172-4622. Dostupné z: doi:10.1055/s-2005-865601

[107] BURLESON, M. A., H. S. O'BRYANT, M. H. STONE, M. A. COLLINS a T. TRIPLETT-MCBRIDE. Effect of weight training exercise and treadmill exercise on post-exercise oxygen consumption. *Medicine and Science in Sports and Exercise* [online]. 1998, **30**(4), 518–522. ISSN 0195-9131. Dostupné z: doi:10.1097/00005768-199804000-00008

[108] MELANSON, Edward L., Teresa A. SHARP, Helen M. SEAGLE, William T. DONAHOO, Gary K. GRUNWALD, John C. PETERS, Jere T. HAMILTON a James O. HILL. Resistance and aerobic exercise have similar effects on 24-h nutrient oxidation. *Medicine and Science in Sports and Exercise* [online]. 2002, **34**(11), 1793–1800. ISSN 0195-9131. Dostupné z: doi:10.1097/00005768-200211000-00016

[109] THORNTON, M. a Jeffery POTTEIGER. Effects of resistance exercise bouts of different intensities but equal work on EPOC. *Medicine & Science in Sports & Exercise* [online]. 2002, **34**(4), 715–722 [vid. 2020-02-24]. ISSN 0195-9131. Dostupné z: insights.ovid.com

[110] SPEAKMAN, John a Colin SELMAN. Physical activity and resting metabolic rate. *The Proceedings of the Nutrition Society* [online]. 2003, **62**, 621–34. Dostupné z: doi:10.1079/PNS2003282

[111] MAEHLUM, Sverre, Michèle GRANDMONTAGNE, Eric A. NEWSHOLME a Ole M. SEJERSTED. Magnitude and duration of excess postexercise oxygen consumption in healthy young subjects. *Metabolism* [online]. 1986, **35**(5), 425–429 [vid. 2020-02-24]. ISSN 0026-0495. Dostupné z: doi:10.1016/0026-0495(86)90132-0

[112] WILMORE, J. H., P. R. STANFORTH, L. A. HUDSPETH, J. GAGNON, E. W. DAW, A. S. LEON, D. C. RAO, J. S. SKINNER a C. BOUCHARD. Alterations in resting metabolic rate as a consequence of 20 wk of endurance training: the HERITAGE Family Study. *The American Journal of Clinical Nutrition* [online]. 1998, **68**(1), 66–71. ISSN 0002-9165. Dostupné z: doi:10.1093/ajcn/68.1.66

[113] WESTERTERP, K. R., G. A. MEIJER, P. SCHOFFELEN a E. M. JANSSEN. Body mass, body composition and sleeping metabolic rate before, during and after endurance training. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology* [online]. 1994, **69**(3), 203–208. ISSN 0301-5548. Dostupné z: doi:10.1007/bf01094789

[114] SJÖDIN, A. M., A. H. FORSLUND, K. R. WESTERTERP, A. B. ANDERSSON, J. M. FORSLUND a L. M. HAMBRAEUS. The influence of physical activity on BMR. *Medicine and Science in Sports and Exercise* [online]. 1996, **28**(1), 85–91. ISSN 0195-9131. Dostupné z: doi:10.1097/00005768-199601000-00018

[115] ACHESON, Kevin J, Gérard GREMAUD, Isabelle MEIRIM, Franck MONTIGON, Yves KREBS, Laurent B FAY, Louis-Jean GAY, Philippe SCHNEITER, Charles SCHINDLER a Luc TAPPY. Metabolic effects of caffeine in humans: lipid oxidation or futile cycling? *The American Journal of Clinical Nutrition* [online]. 2004, **79**(1), 40–46 [vid. 2020-02-24]. ISSN 0002-9165, 1938-3207. Dostupné z: doi:10.1093/ajcn/79.1.40

[116] WESTERTERP-PLANTENGA, Margriet, Kristel DIEPVENS, Annemiek M. C. P. JOOSEN, Sonia BÉRUBÉ-PARENT a Angelo TREMBLAY. Metabolic effects of spices, teas, and caffeine. *Physiology & Behavior* [online]. 2006, **89**(1), 85–91. ISSN 0031-9384. Dostupné z: doi:10.1016/j.physbeh.2006.01.027

[117] KNIGHT, C. A., I. KNIGHT, D. C. MITCHELL a J. E. ZEPP. Beverage caffeine intake in US consumers and subpopulations of interest: estimates from the Share of Intake Panel survey. *Food and Chemical Toxicology* [online]. 2004, **42**(12), 1923–1930 [vid. 2020-02-25]. ISSN 0278-6915. Dostupné z: doi:10.1016/j.fct.2004.05.002

[118] ACHESON, K. J., B. ZAHORSKA-MARKIEWICZ, P. PITTET, K. ANANTHARAMAN a E. JÉQUIER. Caffeine and coffee: their influence on metabolic rate and substrate utilization in normal weight and obese individuals. *The American Journal of Clinical Nutrition* [online]. 1980, **33**(5), 989–997. ISSN 0002-9165. Dostupné z: doi:10.1093/ajcn/33.5.989

[119] PASMAN, W. J., M. S. WESTERTERP-PLANTENGA a W. H. SARIS. The effectiveness of long-term supplementation of carbohydrate, chromium, fibre and caffeine on weight maintenance. *International Journal of Obesity and Related Metabolic Disorders: Journal of the International Association for the Study of Obesity* [online]. 1997, **21**(12), 1143–1151. Dostupné z: doi:10.1038/sj.ijo.0800528

[120] ZOLI, Michele a Marina R. PICCIOTTO. Nicotinic Regulation of Energy Homeostasis. *Nicotine & Tobacco Research* [online]. 2012, **14**(11), 1270–1290 [vid. 2020-02-25]. ISSN 1462-2203. Dostupné z: doi:10.1093/ntr/nts159

[121] GASTALDELLI, Amalia, Franco FOLLI a Silvia MAFFEI. Impact of tobacco smoking on lipid metabolism, body weight and cardiometabolic risk. *Current Pharmaceutical Design* [online]. 2010, **16**(23), 2526–2530. ISSN 1873-4286. Dostupné z: doi:10.2174/138161210792062858

[122] LOUIS-SYLVESTRE, J. Tobacco and weight. *La Revue du Praticien* [online]. 1993, **43**(10), 1235–1237 [vid. 2020-02-25]. ISSN 0035-2640, 2101-017X. Dostupné z: https://europepmc.org/article/med/8235361

[123] VERHAEGEN, A. a L. VAN GAAL. Do E-cigarettes induce weight changes and increase cardiometabolic risk? A signal for the future. *Obesity Reviews: An Official Journal of the International Association for the Study of Obesity* [online]. 2017, **18**(10), 1136–1146. ISSN 1467-789X. Dostupné z: doi:10.1111/obr.12568

[124] WACK, J. T. a J. RODIN. Smoking and its effects on body weight and the systems of caloric regulation. *The American Journal of Clinical Nutrition* [online]. 1982, **35**(2), 366–380. ISSN 0002-9165. Dostupné z: doi:10.1093/ajcn/35.2.366

[125] CURTIS, Vickie, C. J. K. HENRY, E. BIRCH a A. GHUSAIN-CHOUEIRI. Intraindividual variation in the basal metabolic rate of women: Effect of the menstrual cycle. *American Journal of Human Biology: The Official Journal of the Human Biology Council* [online]. 1996, **8**(5), 631–639. ISSN 1520-6300. Dostupné z: doi:10.1002/(SICI)1520-6300(1996)8:5<631::AID-AJHB8>3.0.CO;2-Y

[126] WEBB, P. 24-hour energy expenditure and the menstrual cycle. *The American Journal of Clinical Nutrition* [online]. 1986, **44**(5), 614–619. ISSN 0002-9165. Dostupné z: doi:10.1093/ajcn/44.5.614

[127] HENRY, C. Jeya K., Helen J. LIGHTOWLER a Jonathan MARCHINI. Intra-individual variation in resting metabolic rate during the menstrual cycle. *The British Journal of Nutrition* [online]. 2003, **89**(6), 811–817. ISSN 0007-1145. Dostupné z: doi:10.1079/BJN2003839

[128] MEIJER, G. A., K. R. WESTERTERP, W. H. SARIS a F. TEN HOOR. Sleeping metabolic rate in relation to body composition and the menstrual cycle. *The American*

Journal of Clinical Nutrition [online]. 1992, **55**(3), 637–640. ISSN 0002-9165. Dostupné z: doi:10.1093/ajcn/55.3.637

[129] HESSEMER, V. a K. BRÜCK. Influence of menstrual cycle on thermoregulatory, metabolic, and heart rate responses to exercise at night. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md.: 1985)* [online]. 1985, **59**(6), 1911–1917. ISSN 8750-7587. Dostupné z: doi:10.1152/jappl.1985.59.6.1911

[130] NATIONS, Food and Agriculture Organization of the United, United Nations UNIVERSITY a World Health ORGANIZATION. *Human Energy Requirements: Report of a Joint FAO/WHO/UNU Expert Consultation : Rome, 17-24 October 2001*. B.m.: Food & Agriculture Org., 2004. ISBN 978-92-5-105212-9.

[131] CATALANO, P. M. Pregnancy and lactation in relation to range of acceptable carbohydrate and fat intake. *European Journal of Clinical Nutrition* [online]. 1999, **53 Suppl 1**, S124-131; discussion S131-135. ISSN 0954-3007. Dostupné z: doi:10.1038/sj.ejcn.1600753

[132] TAOUSANI, Eleftheria, Dimitra SAVVAKI, Efrosin TSIROU, Pavlos POULAKOS, Gesthimani MINTZIORI, Menelaos ZAFRAKAS, Dimitrios VAVILIS a Dimitrios G. GOULIS. Regulation of basal metabolic rate in uncomplicated pregnancy and in gestational diabetes mellitus. *Hormones (Athens, Greece)* [online]. 2017, **16**(3), 235–250. ISSN 2520-8721. Dostupné z: doi:10.14310/horm.2002.1743

[133] ILLINGWORTH, P. J., R. T. JUNG, P. W. HOWIE a T. E. ISLES. Reduction in postprandial energy expenditure during pregnancy. *British Medical Journal (Clinical research ed.)* [online]. 1987, **294**(6587), 1573 [vid. 2020-03-01]. Dostupné z: doi:10.1136/bmj.294.6587.1573

[134] FORSUM, E., N. KABIR, A. SADURSKIS a K. WESTERTERP. Total energy expenditure of healthy Swedish women during pregnancy and lactation. *The American Journal of Clinical Nutrition* [online]. 1992, **56**(2), 334–342. ISSN 0002-9165. Dostupné z: doi:10.1093/ajcn/56.2.334

[135] PICCIANO, Mary Frances. Pregnancy and Lactation: Physiological Adjustments, Nutritional Requirements and the Role of Dietary Supplements. *The Journal of Nutrition* [online]. 2003, **133**(6), 1997S-2002S [vid. 2020-03-03]. ISSN 0022-3166. Dostupné z: doi:10.1093/jn/133.6.1997S

[136] BUTTE, Nancy F. a Janet C. KING. Energy requirements during pregnancy and lactation. *Public Health Nutrition* [online]. 2005, **8**(7A), 1010–1027. ISSN 1368-9800. Dostupné z: doi:10.1079/phn2005793

[137] LOBO, Rogerio A. Chapter 14 - Menopause and Aging. In: Jerome F. STRAUSS a Robert L. BARBIERI, ed. *Yen and Jaffe's Reproductive Endocrinology (Eighth Edition)* [online]. Philadelphia: Content Repository Only!, 2019 [vid. 2020-03-05], s. 322-356.e9. ISBN 978-0-323-47912-7. Dostupné z: doi:10.1016/B978-0-323-47912-7.00014-7

[138] DE BRUIN, J. P., H. BOVENHUIS, P. A. VAN NOORD, P. L. PEARSON, J. A. VAN ARENDONK, E. R. TE VELDE, W. W. KUURMAN a M. DORLAND. The role of genetic factors in age at natural menopause. *Human Reproduction (Oxford, England)*

[online]. 2001, **16**(9), 2014–2018. ISSN 0268-1161. Dostupné z: doi:10.1093/humrep/16.9.2014

[139] STANFORD, J. L., P. HARTGE, L. A. BRINTON, R. N. HOOVER a R. BROOKMEYER. Factors influencing the age at natural menopause. *Journal of Chronic Diseases* [online]. 1987, **40**(11), 995–1002. ISSN 0021-9681. Dostupné z: doi:10.1016/0021-9681(87)90113-5

[140] MONTELEONE, Patrizia, Giulia MASCAGNI, Andrea GIANNINI, Andrea R. GENAZZANI a Tommaso SIMONCINI. Symptoms of menopause - global prevalence, physiology and implications. *Nature Reviews. Endocrinology* [online]. 2018, **14**(4), 199–215. ISSN 1759-5037. Dostupné z: doi:10.1038/nrendo.2017.180

[141] TCHERNOF, André, Annie DESMEULES, Christian RICHARD, Philippe LABERGE, Marleen DARIS, Jacques MAILLOUX, Caroline RHÉAUME a Pierre DUPONT. Ovarian hormone status and abdominal visceral adipose tissue metabolism. *The Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism* [online]. 2004, **89**(7), 3425–3430. ISSN 0021-972X. Dostupné z: doi:10.1210/jc.2003-031561

[142] LOVEJOY, J. C., C. M. CHAMPAGNE, L. DE JONGE, H. XIE a S. R. SMITH. Increased visceral fat and decreased energy expenditure during the menopausal transition. *International Journal of Obesity (2005)* [online]. 2008, **32**(6), 949–958. ISSN 1476-5497. Dostupné z: doi:10.1038/ijo.2008.25

[143] SOWERS, MaryFran, Huiyong ZHENG, Kristin TOMEY, Carrie KARVONEN-GUTIERREZ, Mary JANNAUSCH, Xizhao LI, Matheos YOSEF a James SYMONS. Changes in Body Composition in Women over Six Years at Midlife: Ovarian and Chronological Aging. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism* [online]. 2007, **92**(3), 895–901 [vid. 2020-03-06]. ISSN 0021-972X. Dostupné z: doi:10.1210/jc.2006-1393

[144] ESPELAND, M. A., M. L. STEFANICK, D. KRITZ-SILVERSTEIN, S. E. FINEBERG, M. A. WACLAWIW, M. K. JAMES a G. A. GREENDALE. Effect of postmenopausal hormone therapy on body weight and waist and hip girths. Postmenopausal Estrogen-Progestin Interventions Study Investigators. *The Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism* [online]. 1997, **82**(5), 1549–1556. ISSN 0021-972X. Dostupné z: doi:10.1210/jcem.82.5.3925

[145] BRYCHTA, ROBERT, ERICA WOHLERS, JON MOON a KONG CHEN. Energy Expenditure. *IEEE engineering in medicine and biology magazine : the quarterly magazine of the Engineering in Medicine & Biology Society* [online]. 2010, **29**(1), 42–47 [vid. 2020-04-02]. ISSN 0739-5175. Dostupné z: doi:10.1109/MEMB.2009.935463

[146] KENNY, Glen P., Sean R. NOTLEY a Daniel GAGNON. Direct calorimetry: a brief historical review of its use in the study of human metabolism and thermoregulation. *European Journal of Applied Physiology* [online]. 2017, **117**(9), 1765–1785. ISSN 1439-6327. Dostupné z: doi:10.1007/s00421-017-3670-5

[147] LEVINE, James A. Measurement of energy expenditure. *Public Health Nutrition* [online]. 2005, **8**(7A), 1123–1132. ISSN 1368-9800. Dostupné z: doi:10.1079/phn2005800

[148] HAUGEN, Heather A., Lingtak-Neander CHAN a Fanny LI. Indirect Calorimetry: A Practical Guide for Clinicians. *Nutrition in Clinical Practice* [online]. 2007, **22**(4), 377–388 [vid. 2020-04-02]. ISSN 0884-5336, 1941-2452. Dostupné z: doi:10.1177/0115426507022004377

[149] MATARESE, LAURA E. Indirect Calorimetry: Technical Aspects. *Journal of the American Dietetic Association* [online]. 1997, **97**(10, Supplement), S154–S160 [vid. 2020-03-31]. ISSN 0002-8223. Dostupné z: doi:10.1016/S0002-8223(97)00754-2

[150] MCCLAVE, Stephen A., Cynthia C. LOWEN, Melissa J. KLEBER, J. Wesley MCCONNELL a et AL. Clinical use of the respiratory quotient obtained from indirect calorimetry. *JPEN, Journal of Parenteral and Enteral Nutrition; Silver Spring* [online]. 2003, **27**(1), 21–6 [vid. 2020-04-03]. ISSN 01486071. Dostupné z: https://search.proquest.com/docview/230227535/abstract/3615F66A2BB94DE5PQ/1

[151] FULLMER, Susan, Sue BENSON-DAVIES, Carrie P. EARTHMAN, David C. FRANKENFIELD, Erica GRADWELL, Peggy S. P. LEE, Tami PIEMONTE a Jillian TRABULSI. Evidence analysis library review of best practices for performing indirect calorimetry in healthy and non-critically ill individuals. *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics* [online]. 2015, **115**(9), 1417-1446.e2. ISSN 2212-2672. Dostupné z: doi:10.1016/j.jand.2015.04.003

[152] BLACK, A. E., W. A. COWARD, T. J. COLE a A. M. PRENTICE. Human energy expenditure in affluent societies: an analysis of 574 doubly-labelled water measurements. *European Journal of Clinical Nutrition*. 1996, **50**(2), 72–92. ISSN 0954-3007.

[153] SCHOELLER, D. A., E. RAVUSSIN, Y. SCHUTZ, K. J. ACHESON, P. BAERTSCHI a E. JEQUIER. Energy expenditure by doubly labeled water: validation in humans and proposed calculation. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology* [online]. 1986, **250**(5), R823–R830 [vid. 2020-04-04]. ISSN 0363-6119, 1522-1490. Dostupné z: doi:10.1152/ajpregu.1986.250.5.R823

[154] WA, Coward, Roberts SB a Cole TJ. Theoretical and practical considerations in the doubly-labelled water (2H2(18)O) method for the measurement of carbon dioxide production rate in man. *European Journal of Clinical Nutrition* [online]. 1988, **42**(3), 207–212 [vid. 2020-04-04]. ISSN 0954-3007, 1476-5640. Dostupné z: https://europepmc.org/article/med/3133206

[155] LEONARD, William R. Measuring human energy expenditure: what have we learned from the flex-heart rate method? *American Journal of Human Biology: The Official Journal of the Human Biology Council* [online]. 2003, **15**(4), 479–489. ISSN 1042-0533. Dostupné z: doi:10.1002/ajhb.10187

[156] KASHIWAZAKI, Hiroshi. Heart Rate Monitoring as a Field Method for Estimating Energy Expenditure as Evaluated by the Doubly Labeled Water Method. *Journal of Nutritional Science and Vitaminology* [online]. 1999, **45**(1), 79–94. Dostupné z: doi:10.3177/jnsv.45.79

[157] CEESAY, S. M., A. M. PRENTICE, K. C. DAY, P. R. MURGATROYD, G. R. GOLDBERG, W. SCOTT a G. B. SPURR. The use of heart rate monitoring in the estimation of energy expenditure: a validation study using indirect whole-body

calorimetry. *The British Journal of Nutrition* [online]. 1989, **61**(2), 175–186. ISSN 0007-1145. Dostupné z: doi:10.1079/bjn19890107

[158] RENNIE, K. L., S. J. HENNINGS, J. MITCHELL a N. J. WAREHAM. Estimating energy expenditure by heart-rate monitoring without individual calibration. *Medicine and Science in Sports and Exercise* [online]. 2001, **33**(6), 939–945. ISSN 0195-9131. Dostupné z: doi:10.1097/00005768-200106000-00013

[159] LIVINGSTONE, M. B., A. M. PRENTICE, W. A. COWARD, S. M. CEESAY, J. J. STRAIN, P. G. MCKENNA, G. B. NEVIN, M. E. BARKER a R. J. HICKEY. Simultaneous measurement of free-living energy expenditure by the doubly labeled water method and heart-rate monitoring. *The American Journal of Clinical Nutrition* [online]. 1990, **52**(1), 59–65. ISSN 0002-9165. Dostupné z: doi:10.1093/ajcn/52.1.59

[160] SPURR, G. B., A. M. PRENTICE, P. R. MURGATROYD, G. R. GOLDBERG, J. C. REINA a N. T. CHRISTMAN. Energy expenditure from minute-by-minute heart-rate recording: comparison with indirect calorimetry. *The American Journal of Clinical Nutrition* [online]. 1988, **48**(3), 552–559. ISSN 0002-9165. Dostupné z: doi:10.1093/ajcn/48.3.552

[161] DALY, J. M., S. B. HEYMSFIELD, C. A. HEAD, L. P. HARVEY, D. W. NIXON, H. KATZEFF a G. D. GROSSMAN. Human energy requirements: overestimation by widely used prediction equation. *The American Journal of Clinical Nutrition* [online]. 1985, **42**(6), 1170–1174. ISSN 0002-9165. Dostupné z: doi:10.1093/ajcn/42.6.1170

[162] GARREL, D. R., N. JOBIN a L. H. DE JONGE. Should we still use the Harris and Benedict equations? *Nutrition in Clinical Practice: Official Publication of the American Society for Parenteral and Enteral Nutrition* [online]. 1996, **11**(3), 99–103. ISSN 0884-5336. Dostupné z: doi:10.1177/011542659601100399

[163] FLACK, Kyle D., William A. SIDERS, LuAnn JOHNSON a James N. ROEMMICH. Cross-Validation of Resting Metabolic Rate Prediction Equations. *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics* [online]. 2016, **116**(9), 1413–1422 [vid. 2020-04-07]. ISSN 2212-2672. Dostupné z: doi:10.1016/j.jand.2016.03.018

[164] FRANKENFIELD, David, Lori ROTH-YOUSEY a Charlene COMPHER. Comparison of predictive equations for resting metabolic rate in healthy nonobese and obese adults: a systematic review. *Journal of the American Dietetic Association* [online]. 2005, **105**(5), 775–789. ISSN 0002-8223. Dostupné z: doi:10.1016/j.jada.2005.02.005

[165] FRANKENFIELD, David C., William A. ROWE, J. Stanley SMITH a R. N. COONEY. Validation of several established equations for resting metabolic rate in obese and nonobese people. *Journal of the American Dietetic Association* [online]. 2003, **103**(9), 1152–1159. ISSN 0002-8223. Dostupné z: doi:10.1016/s0002-8223(03)00982-9

[166] FRANKENFIELD, D. C., E. R. MUTH a W. A. ROWE. The Harris-Benedict studies of human basal metabolism: history and limitations. *Journal of the American Dietetic Association* [online]. 1998, **98**(4), 439–445. ISSN 0002-8223. Dostupné z: doi:10.1016/S0002-8223(98)00100-X

[167] GALGANI, Jose E., Mauricio CASTRO-SEPULVEDA, Cristian PÉREZ-LUCO a Rodrigo FERNÁNDEZ-VERDEJO. Validity of predictive equations for resting metabolic

rate in healthy humans. *Clinical Science (London, England: 1979)* [online]. 2018, **132**(16), 1741–1751. ISSN 1470-8736. Dostupné z: doi:10.1042/CS20180317

[168] HASSON, Rebecca E., Cheryl A. HOWE, Bryce L. JONES a Patty S. FREEDSON. Accuracy of four resting metabolic rate prediction equations: Effects of sex, body mass index, age, and race/ethnicity. *Journal of Science and Medicine in Sport* [online]. 2011, **14**(4), 344–351 [vid. 2020-04-07]. ISSN 14402440. Dostupné z: doi:10.1016/j.jsams.2011.02.010

[169] HORGAN, G. W. a J. STUBBS. Predicting basal metabolic rate in the obese is difficult. *European Journal of Clinical Nutrition* [online]. 2003, **57**(2), 335–340. ISSN 0954-3007. Dostupné z: doi:10.1038/sj.ejcn.1601542

[170] WANG, Z., S. HESHKA, D. GALLAGHER, C. N. BOOZER, D. P. KOTLER a S. B. HEYMSFIELD. Resting energy expenditure-fat-free mass relationship: new insights provided by body composition modeling. *American Journal of Physiology. Endocrinology and Metabolism* [online]. 2000, **279**(3), E539-545. ISSN 0193-1849. Dostupné z: doi:10.1152/ajpendo.2000.279.3.E539

[171] KISIOLEK, J, K SCHULTZ, J LUEDKE, MT JONES, J M OLIVER a AR JAGIM. A comparison of resting energy prediction equations in young recreationally active women. *Journal of the International Society of Sports Nutrition* [online]. 2015, **12**(Suppl 1), P50 [vid. 2020-05-08]. ISSN 1550-2783. Dostupné z: doi:10.1186/1550-2783-12-S1-P50

[172] LI, Amanda C., Carolyn M. TERESZKOWSKI, A. Michelle EDWARDS, Janis A. Randall SIMPSON a Andrea C. BUCHHOLZ. Published predictive equations overestimate measured resting metabolic rate in young, healthy females. *Journal of the American College of Nutrition* [online]. 2010, **29**(3), 222–227. ISSN 1541-1087. Dostupné z: doi:10.1080/07315724.2010.10719837

[173] WOOLF, Kathleen, Shirley MILLER, Christine CHRIST, Leah BEAIRD a Maureen MASON. Accuracy and Applicability of Resting Metabolic Rate Prediction Equations Differ for Women Across the Lifespan. *Journal of Nutritional Therapeutics* [online]. 2015, **4**(2), 50–63 [vid. 2020-05-08]. ISSN 19295634. Dostupné z: doi:10.6000/1929-5634.2015.04.02.3

[174] JAGIM, Andrew R., Clayton L. CAMIC, Jacob KISIOLEK, Joel LUEDKE, Jacob ERICKSON, Margaret T. JONES a Jonathan M. OLIVER. Accuracy of Resting Metabolic Rate Prediction Equations in Athletes. *The Journal of Strength & Conditioning Research* [online]. 2018, **32**(7), 1875–1881 [vid. 2020-04-07]. ISSN 1064-8011. Dostupné z: doi:10.1519/JSC.0000000000002111

[175] TEN HAAF, Twan a Peter J. M. WEIJS. Resting energy expenditure prediction in recreational athletes of 18-35 years: confirmation of Cunningham equation and an improved weight-based alternative. *PloS One* [online]. 2014, **9**(9), e108460. ISSN 1932-6203. Dostupné z: doi:10.1371/journal.pone.0108460

[176] WEIJS, Peter J. M. Validity of predictive equations for resting energy expenditure in US and Dutch overweight and obese class I and II adults aged 18-65 y. *The American Journal of Clinical Nutrition* [online]. 2008, **88**(4), 959–970. ISSN 1938-3207. Dostupné z: doi:10.1093/ajcn/88.4.959

[177] WEIJS, Peter J. M. a Greet A. A. M. VANSANT. Validity of predictive equations for resting energy expenditure in Belgian normal weight to morbid obese women. *Clinical Nutrition (Edinburgh, Scotland)* [online]. 2010, **29**(3), 347–351. ISSN 1532-1983. Dostupné z: doi:10.1016/j.clnu.2009.09.009

[178] LAZZER, S., F. AGOSTI, P. SILVESTRI, H. DERUMEAUX-BUREL a A. SARTORIO. Prediction of resting energy expenditure in severely obese Italian women. *Journal of Endocrinological Investigation* [online]. 2007, **30**(1), 20–27. ISSN 1720-8386. Dostupné z: doi:10.1007/BF03347391

[179] SABOUNCHI, N. S., H. RAHMANDAD a A. AMMERMAN. Best-fitting prediction equations for basal metabolic rate: informing obesity interventions in diverse populations. *International Journal of Obesity (2005)* [online]. 2013, **37**(10), 1364–1370. ISSN 1476-5497. Dostupné z: doi:10.1038/ijo.2012.218

[180] OWEN, O. E., J. L. HOLUP, D. A. D'ALESSIO, E. S. CRAIG, M. POLANSKY, K. J. SMALLEY, E. C. KAVLE, M. C. BUSHMAN, L. R. OWEN a M. A. MOZZOLI. A reappraisal of the caloric requirements of men. *The American Journal of Clinical Nutrition* [online]. 1987, **46**(6), 875–885. ISSN 0002-9165. Dostupné z: doi:10.1093/ajcn/46.6.875

[181] OWEN, O. E., E. KAVLE, R. S. OWEN, M. POLANSKY, S. CAPRIO, M. A. MOZZOLI, Z. V. KENDRICK, M. C. BUSHMAN a G. BODEN. A reappraisal of caloric requirements in healthy women. *The American Journal of Clinical Nutrition* [online]. 1986, **44**(1), 1–19. ISSN 0002-9165. Dostupné z: doi:10.1093/ajcn/44.1.1

[182] NELSON, K. M., R. L. WEINSIER, C. L. LONG a Y. SCHUTZ. Prediction of resting energy expenditure from fat-free mass and fat mass. *The American Journal of Clinical Nutrition* [online]. 1992, **56**(5), 848–856. ISSN 0002-9165. Dostupné z: doi:10.1093/ajcn/56.5.848

[183] DE LORENZO, A., A. TAGLIABUE, A. ANDREOLI, G. TESTOLIN, M. COMELLI a P. DEURENBERG. Measured and predicted resting metabolic rate in Italian males and females, aged 18-59 y. *European Journal of Clinical Nutrition* [online]. 2001, **55**(3), 208–214. ISSN 0954-3007. Dostupné z: doi:10.1038/sj.ejcn.1601149

[184] PICOLO, Michele Ferreira, Alessandra Fabiane LAGO, Mayra Gonçalves MENEGUETI, Edson Antonio NICOLINI, Anibal BASILE-FILHO, Altacílio Aparecido NUNES, Olindo Assis MARTINS-FILHO a Maria AUXILIADORA-MARTINS. Harris-Benedict Equation and Resting Energy Expenditure Estimates in Critically Ill Ventilator Patients. *American Journal of Critical Care* [online]. 2016, **25**(1), e21–e29 [vid. 2020-05-07]. ISSN 1062-3264. Dostupné z: doi:10.4037/ajcc2016758

[185] MIFFLIN, M. D., S. T. ST JEOR, L. A. HILL, B. J. SCOTT, S. A. DAUGHERTY a Y. O. KOH. A new predictive equation for resting energy expenditure in healthy individuals. *The American Journal of Clinical Nutrition* [online]. 1990, **51**(2), 241–247. ISSN 0002-9165. Dostupné z: doi:10.1093/ajcn/51.2.241

Zoznam použitých skratiek

%BF - body fat percentage

AMP - adenosinmonofosfát

ang. - anglicky

atď. - a tak ďalej

ATP - adenosintrifosfát

BCM - body cell mass

BEE - basal energy expenditure

BF - body fat

BFMI - body fat mass index

BIA - bioeletrická impedančná analýza

BMI - body mass index

BMR - basal metabolic rate

cAMP - cyklický adenosinmonofosfát

cm - centimeter

CNS - centrálna nervová sústava

CRP - C-reaktívny proteín

DIT - dietary induced termogenesis

DXA - dual X-ray absorptiometry

EE - energy expenditure

EPEE - excess post-exercise energy expenditure

EPOC - excess post-exercise oxygen comsumption

EÚ - Európska Únia

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations

FFM - fat free mass

FFMI – fat free mass index

FM - fat mass

FMI - fat mass index

FSH - folikolostimulačný hormón

GABA - kyselina gama-aminomaslová

GIT - gastrointestinálny trakt

h - hodina

HAK - hormonálna antikoncepcia

H-B – Harris-Benedict

HR - heart rate

kcal - kilokalórie

kg - kilogram

kHz - kilohertz

kJ - kilojoul

km - kilometer

l - liter

LBM - lean body mass

LF MU - Lekárska fakulta, Masarykova univerzita

M - muži

MCR – melanocortin receptor

min – minúta

MJ – megajoule

mrem - milliroentgen equivalent man

napr. - napríklad

NEAT - non-exercise activity thermogenesis

OMR - overnight metabolic rate

OP – obvod paže

REE - resting energy expenditure

RMR - resting metabolic rate

RMR-NK – kľudový metabolizmus nameraný pomocou metódy nepriamej kalorimetrie

RMR-PR – kľudový metabolizmus odhadnutý pomocou prediktívnych rovníc

RQ – respiratory quotient

SD - štandardná odchýlka

SF-BIA – single frequency

SKF - skinfolds

SMR - sleeping metabolic rate

T3 - trijódtyronin

TBW - total body water

TDEE - total daily energy expenditure

TEE - total energy expenditure

TEF - thermic effect of food

TH - telesná hmotnosť

TSH – tyreotrponý hotmón

TV - telesná výška

tzv. - takzvaný

UCP - uncoupling proteín

UNU – United Nation University

ÚOPZ - Ústav ochrany a podpory zdravia

VCO2 - objem oxidu uhličitého

VO2 - objem kyslíka

vs. – versus

WHO - World Health Organization

WHR – waist-hip ratio

Ž – ženy

Zoznam tabuliek

Tabuľka 1: Zhrnutie základných kritérií pre meranie BMR. 14

Tabuľka 2: Príklady energetickej náročnosti pohybových aktivít pre rôzne váhové kategórie (Upravené). 17

Tabuľka 3: Rovnica pre výpočet kľudového energetického výdaju podľa Weira a jej upravená verzia. 46

Tabuľka 4: Prehľad charakteristík vybraných prediktívnych rovníc BMR/RMR. 54

Tabuľka 5: Prehľad vzorcov vybraných prediktívnych rovníc BMR/RMR 55

Tabuľka 6: Popis súboru podľa veku, telesnej výšky, telesnej hmotnosti a BMI. 59

Tabuľka 7: Popis súboru podľa obsahu tukovej hmoty v tele 61

Tabuľka 8: Popis súboru podľa nameranej hodnoty RMR pomocou metódy nepriamej kalorimetrie. 62

Tabuľka 9: Popis súboru podľa odhadu hodnoty RMR pomocou prediktívnych rovníc a ich porovnanie s RMR hodnotami získanými pomocou metódy nepriamej kalorimetrie. 62

Tabuľka 10: Výsledky testovania 1. hypotézy. 64

Tabuľka 11: Výsledky testovania 2. hypotézy. 65

Tabuľka 12: Výsledky testovania 3. hypotézy. 67

Tabuľka 13: Výsledky testovania 4. hypotézy. 68

Tabuľka 14: Výsledky testovania 5. hypotézy. 69

Tabuľka 15: Korelačná analýza nameraných hodnôt RMR=NK a telesných parametrov skúmanej vzorky. 70

Tabuľka 16: Korelačná analýza nameraných hodnôt RMR=NK a odhadov RMR pomocou prediktívnych rovníc. 71

Tabuľka 17: Limity zhody RMR medzi meraním a odhadom pomocou rovnice. 72

Tabuľka 18: Rozdiely v RMR medzi meraním a odhadom pomocou rovnice. 74

Tabuľka 19: Absolútna percentuálna chyba RMR medzi meraním a odhadom pomocou prediktívnych rovníc. 74

Tabuľka 20: Presnosť prediktívnych rovníc v porovnaní s meraním RMR pomocou nepriamej kalorimetrie u skúmanej vzorky. 75

Zoznam obrázkov

Obrázok 1: Percentilové zastúpenie FMI a FFMI u mužského a ženského pohlavia v závislosti na vekovej kategórií. 22

Obrázok 2: Priemerné hodnoty FFMI, BFMI a %BF vo vzťahu s hodnotami BMI u zdravých jedincov kaukazskej rasy. 23

Obrázok 3: Zhrnutie výsledkov vedeckých prác skúmajúcich dlhodobý účinok EPOC (pri meraniach trvajúcich dlhšie ako 2 hodiny po ukončení fyzickej aktivity) na percentuálne navýšenie RMR oproti kontrolným skupinám bez fyzickej aktivity. 32

Obrázok 4: Priemerné hodinové hodnoty rektálnej telesnej teploty, rýchlosti metabolizmu a strát telesného tepla počas predovulačného obdobia – folikulárnej fáze (neprerušovaná čiara) a postovulačného obdobia – leutálnej fáze (prerušovaná čiara) 36

Obrázok 5: Ukážka intraindividuálnej variability v hodnotách RMR počas menštruačného cyklu u 4 subjektov. 37

Obrázok 6: Teoretický model energetických potrieb organizmu matky počas 0. – 40. týždňa gestáčného obdobia. 39

Obrázok 7: Zmeny v hodnotách BMR (v MJ) počas tehotenstva v rôznych krajinách. 39

Obrázok 8 : Zmeny v telesnej hmotnosti, percentuálnom zastúpení tukovej hmoty, v obsahu viscerálneho a obdobinálneho tukového tkaniva, hormonálnom profile estradiolu a FSH, fyzickej aktivity a energetickom príjme počas predmenopauzálneho obdobia (-4 až -1 rok pred menopauzou) a postmenopauzálneho obdobia (0 až 2 roky po menopauze) (Upravené). 44

Obrázok 9: Wangov model závislosti hodnoty RMR a hmotnosti FFM. 51

Obrázok 10: Percentuálne nadhodnotenie (+) a podhodnotenie (-) hodnôt BMR rôznych etnických skupín pomocou prediktívnej rovnice FAO/WHO/UNU 53

Zoznam grafov

Graf 1:Grafické zobrazenia rozloženi veku (vľavo) a telesnej výšky (vpravo). 60

Graf 2: Grafické zobrazenia rozloženi telesnej hmotnosti (vľavo) a BMI (vpravo).....60

Graf 3: Grafické zobrazenie rozloženia indexu beztukovej hmoty. Hraničné hodnoty určené podľa hodnôt FFMI (≤ P5; P5 - P10; P11 - P25; P26 - P50; P51 - P75; P76 - P90; P91 - P95; > P95) u ženského pohlavia 18-34 rokov [48].....61

Graf 4: Grafické zobrazenie rozloženia indexu tukovej hmoty. Hraničné hodnoty určené podľa hodnôt BFMI (≤ P5; P5 - P10; P11 - P25; P26 - P50; P51 - P75; P76 - P90; P91 - P95; > P95) u ženského pohlavia 18-34 rokov. 61

Graf 5: Porovnanie mediánov hodnôt RMR (kcal/deň) získaných pomocou merania metódou nepriamej kalorimetrie (RMR=NK) a vypočítanej hodnoty pomocou Harris-Benedictovej rovnice (RMR=Harris-Benedict). 63

Graf 6: Porovnanie mediánov hodnôt RMR (kcal/deň) získaných pomocou merania metódou nepriamej kalorimetrie (RMR=NK) a vypočítanej hodnoty pomocou Mifflinovej rovnice (RMR=Mifflin (TH)). 65

Graf 7: Porovnanie mediánov hodnôt RMR (kcal/deň) záskaných pomocou merania metódou nepriamej kalorimetrie (RMR=NK) a vypočítanej hodnoty pomocou Mifflinovej rovnice (RMR=Mifflin (FFM)). 66

Graf 8: Porovnanie mediánov hodnôt RMR (kcal/deň) získaných pomocou merania metódou nepriamej kalorimetrie (RMR= NK) a vypočítanej hodnoty pomocou Nelsonovej rovnice (RMR=Nelson). 67

Graf 9: Porovnanie mediánov hodnôt RMR (kcal/deň) získaných pomocou merania metódou nepriamej kalorimetrie (RMR=NK) a vypočítanej hodnoty pomocou ten Haafovej rovnice (RMR=ten Haaf). 69

Graf 10: Bland-Altmanova analýza zhody medzi nameranou hodnotou RMR pomocou metódy nepriamej kalorimetrie a odhadom RMR pomocou prediktívnej rovnice: **a)** Harris-Benedict; **b)** Mifflin (TH); **c)** Mifflin (FFM); **d)** Nelson; **e)** ten Haaf.....73

Prílohy

Informovaný souhlas

Informovaný souhlas

Bazální metabolismus a jeho vztah k udržení tělesné hmotnosti a tělesného složení u žen

Bc. Miroslava Kamenská
Masarykova univerzita, Lékařská fakulta, Ústav ochrany a podpory zdraví, Kamenice 5, 625 00 Brno
Školitel: Mgr. Martin Forejt Ph.D.
Termín řešení: 15.10.2019 – 28.2.2020
Informovaný souhlas s povolením autorky Mgr. Ing. Jany Kunčické přebraný z práce **Bazální metabolismus a výživová spotřeba ve vztahu k nadváze a obezitě.**

Vážená paní,
v rámci projektu „*Presnosť prediktívnych rovníc bazálneho a kľudového metabolizmu u ženského pohlavia*“, se na Vás obracím s prosbou o spolupráci.
Výzkum bude realizován na Ústavu ochrany a podpory zdraví LFMU v Brně. Data budou získána pomocí přístrojů Cortex Metalyzer 3B (CORTEX Biophysik Gmbh, Germany), InBody 230 (Biospace, Seoul, Korea) a měřiče tělesné výšky SECA 213 (Medizinische Waagen und Messysteme Hamburg, Germany). Měření vyšetřované osoby potrvá přibližně 60 minut. Měření budou probíhat ráno, co nejdříve po probuzení vyšetřované osoby na LFMU v Brně, Kamenice 5, na Ústavu ochrany a podpory zdraví (ÚOPZ), 3. patro ve vyšetřovně III (dveře č. 325).
V souvislosti s důrazem na přesnost měření na jednotlivých přístrojích je potřeba dodržet pravidla měření. Měření se nemohou zúčastnit jedinci se zdravotními problémy zkreslujícími měření, a dále těhotné ženy, osoby s kardiostimulátorem a jedinci s inzulinovou pumpou.

Měření tělesné výšky - měřič SECA 213
Během měření bude vyšetřovaná osoba stát ve vzpřímeném stoji spojném bez ponožek a bot na podložce měřiče s pohledem směřujícím do dáli před sebe. Následně provede odborný pracovník odečet naměřené hodnoty tělesné výšky s přesností na 0,1 cm.
Měření tělesného složení – InBody 230
Pro přesnost měření je potřeba, aby vyšetřovaná osoba byla oblečena pouze ve spodním prádle (případně v těsně přiléhavém oblečení). Chodidla budou bosá. Během měření bude vyšetřovaná osoba stát na elektrodách na podložce přístroje ve vzpřímeném postoji, bude pravidelně klidně dýchat s pažemi od těla a v rukách bude držet rukojeti přístroje s elektrodami. Měření bude probíhat přibližně 30 sekund.
Měření klidového metabolismu – Cortex Metalyzer 3B
Vyšetření bude probíhat v leže. Před každým měřením bude přístroj odborným pracovníkem kalibrován. Dle velikosti obličeje dostane vyšetřovaná osoba na obličej masku pro snímání vdechovaných a vydechovaných plynů. Na základně výměny dýchacích plynů bude přesně stanovena bazální metabolická potřeba. Celková doba vyšetření (měření bazálního metabolismu, tělesného složení, tělesné výšky) bude max. 100 minut.

Vyšetřovaná osoba musí splňovat následující kritéria:
1) Ženské pohlaví, věk v rozmedzí 18-35 let
2) **Tělesný a duševní klid** – což znamená relaxaci na lůžku, nejméně 24 hodin bez větší fyzické aktivity, předchozí pohyb pouze nejnutnější k dopravě na ÚOPZ, zvukově izolované prostředí
3) **Stav nalačno** – min. 12 hodin od posledního jídla, které nesmí obsahovat bílkoviny, min. 2,5 hod od příjmu tekutin (min. 12 hodin od příjmu kofeinu a alkoholu)
4) **Termoregulační prostředí** – zajištěna teplota okolního prostředí 20 – 22°C
5) **Eliminace rušivých předmětů** – vypnutý mobilní telefon, klient si před samotným měřením zajde na toaletu

6) **Folikulární fáze menstruačního cyklu** – měření probíhá v rozmezí 1-14 dnů od začátku poslední menstruace

Všechna získaná data a osobní údaje, budou uložena v databázi pod číslem kódu (bez jména), který Vám přidělí Bc. Miroslava Kamenská, v souladu se Zákonem č. 101/2000 Sb., o ochraně osobních údajů. Veškeré naměřené hodnoty společně s údaji o věku, pohlaví, váze, výšce a BMI budou zcela anonymní. Získaná data budou uložena pod přidělenými kódy v softwaru přístrojů Cortex Metalyzer (software Metasoft Studio), InBody 230 (software Lookin'Body) a v PC programu Microsoft Office Excel v počítači chráněném přístupovým heslem, který se nachází ve vyšetřovně III. Veškeré materiály budou skladovány na Ústavu ochrany a podpory zdraví ve vyšetřovně III.
Vyšetřované osobě budou poskytnuty výsledky měření s vysvětlením naměřených hodnot a následným výživovým doporučením. Získání těchto informací může mít pro účastníky studie pozitivní vliv na změnu a zlepšení jejich životního stylu.

Děkuji za přečtení výše uvedených informací a těším se na spolupráci!
Bc. Miroslava Kamenská

Informovaný souhlas

Já, níže podepsaná/ý dobrovolně a svobodně souhlasím s účastí ve výzkumu „**Bazální metabolismus a jeho vztah k udržení tělesné hmotnosti a tělesného složení u žen**", který bude zkoumat hodnotu bazálního metabolismu u žen. Cílem bude zjistit vliv tělesného složení na bazální metabolismus člověka.
Jsem srozuměn/a s tím, že má účast na výzkumu je zcela dobrovolná a může být kdykoliv přerušena či ukončena. Svým podpisem povoluji poskytnutí osobních údajů pro účely studie a souhlasím s jejich uchováním dle výše specifikovaných podmínek na Ústavu ochrany a podpory zdraví LF MU za účelem jejich použití k řešení výše uvedeného projektu.
Dále jsem obeznámen/a se skutečností, že po ukončení účasti ve studii a odstranění všech mých osobních údajů již nelze požadovat o vyřazení informací ze studie, protože jsou již vedena v anonymní formě a nepodléhají Zákonu o ochraně osobních údajů, tudíž nelze určit, které informace to jsou.
Má osobní data, zjištěna v souvislosti s výzkumem, budou anonymní a je zaručena jejich plná ochrana dle Zákona č.101/2000 Sb., o ochraně osobních údajů. Mé jméno nebude nikde evidováno. Svým podpisem dávám souhlas s využitím získaných dat pod podmínkou jeho plné anonymizace.

Jméno a příjmení: .....

Datum narození: .....

Věk:.....

.....

Podpis řešitele projektu

V Brně dne .....

.....

Podpis vyšetřované osoby

Tento informovaný souhlas byl vyhotoven ve dvou kopích, jedna pro potřeby studie, druhá pro účastníka studie.