

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra mikrobiologie, výživy a dietetiky



Způsoby zjišťování energetické potřeby člověka

Bakalářská práce

Autor práce: Hana Stachová

Obor studia: Výživa a potraviny (ATZD)

Vedoucí práce: Ing. Monika Sabolová, Ph.D.

© 2020 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Způsoby zjišťování energetické potřeby člověka" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autorka uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 17.7.2020

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala Ing. Monice Sabolové, Ph.D. za odborné vedení, cenné rady, věcné připomínky a trpělivost při vedení této práce. Dále bych chtěla poděkovat mému příteli a rodině za obrovskou podporu a rady v průběhu studia.

Způsoby zjišťování energetické potřeby člověka

Souhrn

Obsah této práce je zaměřen na stanovení energetické potřeby člověka dostupnými metodami, které byly porovnány mezi sebou.

Lidská strava tvoří základ příjmu energie pro organismus a ovlivňuje spolu s tělesnou aktivitou energetickou bilanci. Ta nám určuje vztah mezi příjmem a výdejem energie. U obou těchto termínů lze shromažďovat data pomocí různých metod.

U příjmu potravy jde převážně o zaznamenávání přijímané stravy a dotazníky o frekvenci příjmu potravin. Moderní doba přispěla také možnostmi zjišťování energetického příjmu aplikacemi, které se dají využít pro mobilní telefony či chytré hodinky.

Celkový energetický výdej můžeme hodnotit z hlediska jeho složek, přičemž velký význam má zejména zjišťování hodnoty bazálního metabolismu pomocí přímé/nepřímé kalorimetrie, popřípadě odhadovaného pomocí predikčních rovnic. Často se místo měření bazálního metabolismu měří klidový metabolismus, který nevyžaduje tak náročné podmínky měření. Dalšími složkami celkového energetického výdeje jsou termický efekt potravy a aktivní energetický výdej, které lze měřit za pomoci kalorimetrie. U aktivního energetického výdeje, a i u celkového energetického výdeje je možnost měření pomocí dvojitě značené vody.

Obecně kalorimetrie se řadí mezi nejpřesnější metody. Metoda přímé kalorimetrie se ale v dnešní době využívá málo, jelikož není praktická, je nepřenosná a bývá nákladná. Oproti tomu nepřímá kalorimetrie je zlatý standard v hodnocení energetického výdeje. Bývá velmi přesná a nastávají u ní pouze malé odchylky ve výsledných hodnotách.

Alternativou kalorimetrie jsou levné a snadné predikční rovnice, které odhadují energetický výdej za pomoci proměnných, jako jsou tělesná hmotnost, výška, věk aj. V současné době existuje přibližně 200 rovnic. Hodnoty získané pomocí predikčních rovnic bývají korelovány s hodnotami získanými pomocí nepřímé kalorimetrie. Platnost predikčních rovnic se neustále přehodnocuje, protože s časem se mění složení těla populace. U normální zdravé populace jsou nejpřesnější rovnice Mifflin St. Jeorova (modifikace první publikované rovnice Harrise a Benedicta) a Livingstonova rovnice.

Klíčová slova: Bazální metabolický výdej, energetický metabolismus, Harris-Benedictova rovnice, nepřímá kalorimetrie, predikční rovnice

Methods of determining human energy requirements

Summary

The aim of this thesis is focused on determining human energy requirements by available methods which were compared with each other.

The human diet makes up the basis of body energy intake. Energy intake together with physical activity affect the energy balance. This balance allows the relationship between energy intake and energy expenditure. For both terms, data could be recorded using various methods.

The food intake is mainly about food intake records and food frequency questionnaires. Modern times have also contributed to the possibilities of determining energy intake by applications that can be used for mobile phones or smart watches.

The total energy expenditure can be evaluated from the point of view of its components, and it is especially important to determine the value of basal metabolic rate using direct / indirect calorimetry, or to estimate the value using predictive equations. Often, instead of measuring basal metabolism, resting metabolism is measured, which does not require such demanding measurement conditions. Other components of total energy expenditure are the thermic effect of food and active energy expenditure, which can be measured using calorimetry. Also, active energy expenditure and total energy expenditure can be measured by doubly labelled water.

Generally, calorimetry is one of the most accurate methods. However, direct calorimetry is less used these days because it is not practical, portable and it is expensive. In contrast, indirect calorimetry is the gold standard in the evaluation of energy expenditure. It is usually very accurate and there are only small deviations in the resulting values.

An alternative to calorimetry is inexpensive and uncomplicated predictive equations, which estimate energy expenditure using variables, such as body weight, stature, age etc. There are currently less than 200 predictive equations. The values obtained using the prediction equations are usually correlated with the values obtained using indirect calorimetry. The validity of predictive equations is constantly being reassessed because body composition of population changes over time. In the ordinary healthy population, the most accurate equations are Mifflin St. Jeor's (modification of the first predictive equation by Harris and Benedict) and Livingstone's equations.

Keywords: Basal energy expenditure, energy metabolism, Harris-Benedict equation, indirect calorimetry, predictive equations

Obsah

1	Úvod	1
2	Cíl práce	2
3	Literární rešerše	3
3.1	Energetická bilance organismu	3
3.2	Energetický příjem	4
3.2.1	Složky energetického příjmu	4
3.2.2	Způsoby zjišťování energetického příjmu	4
3.3	Energetický výdej	5
3.3.1	Složky energetického výdeje	5
3.3.2	Způsoby zjišťování energetické potřeby	9
3.4	Srovnání nepřímé kalorimetrie a predikčních rovnic	34
4	Závěr	36
5	Literatura	37
6	Seznam použitých zkratk	45

1 Úvod

S postupnou evolucí a změnou stravování se metabolismus a složení lidského těla v průběhu času mění. Může za to v mnoha ohledech změna životního stylu, stárnutí populace, urbanizace do měst, sedavý způsob života nebo kulturní a sociální změny. V průběhu historie od nejstarších dějin, kdy se člověk stal sběračem či lovcem, přes vývoj zemědělství až po průmyslovou revoluci a moderní technologie zpracování potravin, se strava lidí neustále měnila a rozšiřovala. Kromě historie tu jsou také demografické faktory spojené s jídlem, jelikož ne každý obyvatel naší planety má naprosto totožný jídelníček, což souvisí s tím, že na různých místech jsou dostupné různé potraviny.

V posledních desetiletích se také snížil zájem o volnočasové aktivity, což bylo doprovázené nárůstem sedavého způsobu života, a to přispělo i ke zhoršení stravovacích návyků v rozvinutých zemích. Tyto nezdravé návyky vedou k neinfekčním nemocem. Lidé častěji trpí nemocemi, jako jsou obezita, diabetes 2. typu, kardiovaskulární onemocnění nebo různé druhy nádorových onemocnění. Opačný problém je v zemích třetího světa. Kvůli hladovění tam lidé nejčastěji trpí různými druhy podvýživy a dehydratací. Onemocnění jak v rozvinutých zemích, tak v zemích třetího světa mohou pro dané jedince skončit smrtí.

Z těchto důvodů je určení energetické potřeby, s ohledem na tělesnou aktivitu a zdravotní stav, důležitou součástí pro přizpůsobení dietní potřeby jedince. Pro sestavení zdravého a nutričně vyváženého jídelníčku, který může být v mnoha ohledech prevencí proti již zmiňovaným onemocněním, je nutné znát energetickou hodnotu a složení potravin. Tyto potraviny jsou složeny z energetických i neenergetických komponentů, které mají v organismu svoje funkce. Energetické substráty jsou metabolizovány v organismu za vzniku chemické energie, která slouží jako palivo pro děje v buňkách a dále i v celém těle. Tak je organismus schopný přežít a vyvíjet jakoukoli fyzickou aktivitu.

Moderní doba přispěla k rozvoji metod pro zjištění energetické potřeby člověka. Jde o metody, které hodnotí příjem energie, ale také metody, které měří či predikují výdej energie. V této práci se hodnotí jednotlivé metody zjišťování energetické potřeby člověka.

2 Cíl práce

Hypotéza: Predikční rovnice sloužící k výpočtu bazálního metabolismu dávají výsledky srovnatelné s naměřenými hodnotami. Mezi výsledky výpočtu bazálního metabolismu při použití různých rovnic jsou značné rozdíly.

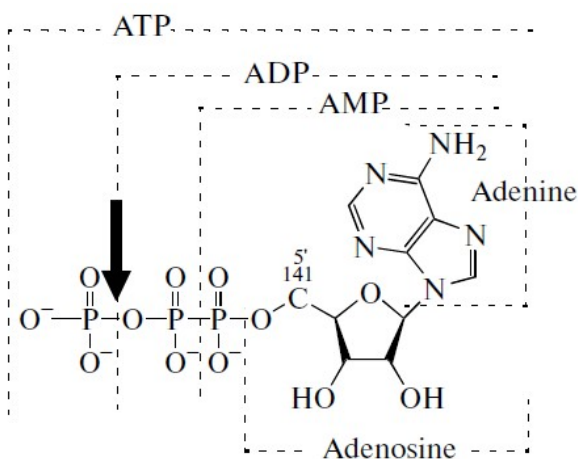
Cíle práce: Cílem bakalářské práce bylo zpracování literárního přehledu o způsobech zjišťování energetické potřeby člověka a jejich srovnání.

3 Literární rešerše

3.1 Energetická bilance organismu

Energii potřebnou k udržení základních životních funkcí lidského těla získáváme pomocí oxidace makroživin, zejména sacharidů, tuků a bílkovin, přijatých stravou (Pinheiro Volp et al. 2011). Nejvyšší energetickou hodnotu má z přijatých živin tuk a to 9 kcal na 1 g živiny (39 kJ/g). U sacharidů a bílkovin je to méně a to 4 kcal/g (17 kJ/g) (Costa-Pinto & Gantner 2020), přičemž 1 kcal je přibližně 4,186 kJ (Lam & Ravussin 2017).

Energetický výdej vzniká procesem produkce energie z těchto substrátů, během kterého se spotřebovává kyslík a oxid uhličitý. Určitý podíl této chemické energie se ztrácí ve formě tepla a v moči. Zbývající část energie je uložena ve formě adenosintrifosfátu (ATP) (Pinheiro Volp et al. 2011), jehož molekula je složena z dusíkaté báze adenin, sacharidu D-ribóza a tří zbytků kyseliny fosforečné (Kritsky et al. 2014). Právě ATP je palivem pro metabolické děje v buňce, konkrétně fosfoanhydridová (makroergická nebo vysokoenergetická) vazba v molekule ATP (Obrázek 1). Hydrolýzou třetího fosfátového zbytku vzniká ADP (adenosindifosfát) spolu s anorganickým fosfátem a zároveň se uvolňuje z této vazby energie (Neupane et al. 2018). Uvolněná energie se pohybuje v rozmezí od 30 do 40 kJ/mol podle reakčních podmínek a umístění vazby v molekule (Kritsky et al. 2014).



Obrázek 1 Fosfoanhydridová vazba ATP znázorněná šipkou (ATP, adenosintrifosfát; ADP, adenosindifosfát; AMP, adnosinmonofosfát) (Kritsky et al. 2014)

Pokud však příjem a výdej energie nejsou v rovnováze, nastávají zde dvě rozdílné situace. Když bude příjem energie vyšší než výdej energie, nastává pozitivní energetická bilance. Následkem toho se zvyšuje tělesná hmotnost organismu, kdy 60-80 % přírůstku tělesné hmotnosti obvykle představuje tělesný tuk. Opakem této situace je negativní energetická bilance, kdy převažuje výdej energie nad příjmem energie a následkem toho tělesná hmota ubývá. Opět je tento úbytek tělesné hmotnosti z 60-80 % tvořen úbytkem tělesného tuku. K hodnocení energetické bilance se využívá stanovení tělesné hmotnosti nebo tělesného složení jedince. Energetická bilance se nedá sama o sobě změřit, pro zjištění

energetické bilance se proto měří energetické vstupy a výstupy, ale také stav zásob energie v organismu. Není možné měřit malé změny energetické bilance, které by mohly ovlivnit tělesnou hmotnost, a proto je potřeba při předpovídání změn tělesné hmotnosti věnovat pozornost právě měření příjmu nebo výdeji energie (Hill et al. 2012).

3.2 Energetický příjem

Pokud se hovoří o energetickém příjmu, jde o chemickou energii, která se uvolňuje z potravy a tekutin, kterou organismus zkonsumuje. Tato metabolizovaná energie ve stravě představuje podíl mezi přijatou absolutní energií z energetických substrátů a ztrátami energie, které se zjistí ze stolice a moči (Hall et al. 2012).

3.2.1 Složky energetického příjmu

Mezi základní složky energetického příjmu můžeme zařadit skupiny makroživin, které spolu s jejich energetickými hodnotami byly uvedeny výše a jedná se o množství energie, která je skutečně dostupná buňkám pro jejich aktivitu (Hall et al. 2012). Mimo tyto základní živiny existují i další skupiny látek, které mají energetickou hodnotu. Jde o polyalkoholy s energetickou hodnotou 2,4 kcal/g (10 kJ/g), salatrimy s 6 kcal/g (25 kJ/g), alkohol (ethanol) s 7 kcal/g (29 kJ/g), organické kyseliny s 3 kcal/g (13 kJ/g) a vlákninu s 2 kcal/g (8 kJ/g) (Nařízení EU č. 1169/2011).

3.2.2 Způsoby zjišťování energetického příjmu

Zjišťování energetického příjmu je komplikované, protože se mění v průběhu času a v daných věkových skupinách (Garden et al. 2018).

Nejčastějšími metodami jsou záznamy o příjmu potravy (FR – food records), 24hodinový „recall“ (24HDR – 24 - hour dietary recall) nebo dotazník o frekvenci příjmu potravin (FFQ – food frequency questionnaire) (Timon et al. 2016).

FR je metoda dietního deníku (Vilela et al. 2019), kdy účastníci zaznamenávají veškeré jídlo i pití zkonsumované během časového úseku 3-7 dní. Může se zaznamenávat i vícekrát během roku (Yang et al. 2010).

24HDR se používá ke sběru dat pomocí webových a počítačových nástrojů v různých populacích (Timon et al. 2016). Dále lze sbírat data pomocí rozhovorů po telefonu či osobně (van Rossum et al. 2018). U malých dětí, adolescentů i dospělých. Počítačový software zaznamenává jídlo a pití zkonsumované jedincem z předchozího dne, tedy 24 hodin. Poté vyškolený personál analyzuje data za přítomnosti sledovaného jedince. Jedinec má k dispozici v softwaru seznam potravin a tekutin, přehled o složení jednotlivých potravin i pomůcky pro stanovení velikosti porcí (Timon et al. 2016). Dle De Keyzer et al. (2015) je tato metoda nejpoužívanějším nástrojem pro sběr údajů o příjmu potravy po celém světě.

FFQ se používá k odhadu vnímání standardního příjmu potravy během delších období (měsíce, roky) (Denova-Gutiérrez et al. 2016). Tato metoda se používá u jednotlivců, ale i na úrovni populací. Dotazník proto musí být dostatečně komplexní k hodnocení běžných potravinových položek v dané populaci. To však vede k nevýhodě, kdy dlouhé dotazníky

bývají náročné, vyžadují větší snahu a odhodlání respondentů, což zase může zvýšit počet respondentů, kteří nebudou v dotazníku odpovídat (Khalesi et al. 2017). Jde však o levnou metodu, která klade menší zátěž respondentům a není zde potřeba vyškolený personál. Z důvodu nižší přesnosti je nutné tyto informace porovnat s informacemi stanovenými přesnější metodou dietního hodnocení (Steinemann et al. 2017). Mezi tyto referenční metody patří již zmíněné 24HDR nebo FR (Vilela et al. 2019).

Moderní doba přinesla mnoho pokroků při používání různých technologií pro hodnocení dietárního příjmu. Namísto tradiční verze „tužky a papíru“ se využívají pro sběr dat alternativy, jako jsou mobilní telefony, senzory, nositelné fotoaparáty či webové platformy. Právě metodiky s využitím webu usnadňují shromažďování dat o příjmu potravy z různých geografických oblastí a snižují se tak problémy související s přesností shromážděných dat, náklady i mírou účasti (Timon et al. 2016). Většina těchto metod je závislá na informacích, které jsou nahlášeny účastníky. Tyto informace mohou být chybné kvůli nesprávnému hlášení či nemusí představovat obvyklou stravu jedince. Výsledky mohou být poté zkresleny (Garden et al. 2018).

3.3 Energetický výdej

Celkový energetický výdej (TEE – total energy expenditure) představuje celkovou energii, kterou organismus spotřebuje za 24 hodin (Ndahimana & Kim 2017).

3.3.1 Složky energetického výdeje

Dle Lam & Ravussin (2016) se TEE skládá z několika základních složek:

$$\text{TEE} = \text{BMR} + \text{TEF} + \text{AEE}$$

kde TEE je celkový energetický výdej, který se skládá z bazálního metabolismu (BMR – basal metabolic rate), termického efektu potravy (TEF – thermic effect of food) a aktivního energetického výdeje (AEE – active energy expenditure), neboli energie potřebné pro svalovou práci (Lam & Ravussin 2016). Někteří autoři uvádí jako další složku celkového energetického výdeje i energii potřebnou na termoregulaci (Ocobock 2016). Jednotlivé složky TEE budou popsány dále v jednotlivých podkapitolách.

Mezi faktory, které mohou ovlivnit TEE u zdravých jedinců, řadíme složení těla, věk, úroveň aktivity, hormonální stav nebo genetické predispozice (Purcell et al. 2016). Energetická potřeba u rostoucích dětí a adolescentů je ovlivněna energetickými potřebami pro samotný růst organismu (Torun 2005). U těhotných žen mohou energetickou potřebu ovlivňovat i faktory jako tělesná hmotnost před otěhotněním, BMI (body mass index), věk ženy, stádium těhotenství, přírůstek hmotnosti v těhotenství i zvýšený energetický výdej, který souvisí se zvýšením tělesné hmotnosti a BMR (Jebeile et al. 2016). U žen v období laktace jsou hlavními faktory ovlivňující energetickou potřebu množství vyprodukovaného mateřského mléka, obsah energie v mléce a energetická účinnost syntézy mléka (Butte & King 2005).

Kritické onemocnění je doprovázeno zvýšenou funkcí metabolismu spojenou s aktivací katabolických hormonů. Ve srovnání se zdravými jedinci mají tedy kriticky nemocní pacienti vyšší energetický výdej, čímž jsou zvýšené i jejich energetické požadavky a riziko podvýživy. Posouzení individuálních dietetických požadavků je důležité z hlediska úspěšné nutriční podpory (Ndahimana & Kim 2018). Energetická potřeba u pacientů je ovlivněna druhem onemocnění, jeho závažností a stavem výživy (Guttormsen & Pichard 2014).

3.3.1.1 Termoregulace

Pojem homeotermie je schopnost organismu udržovat stálou tělesnou teplotu, i přestože se změni teplota okolního prostředí. Je to tedy vnitřní ochrana, která umožňuje přežití bez ohledu na změny prostředí. V některých případech může dojít i k patologickým stavům, kdy tělesná teplota je abnormálně vysoká nebo nízká. Potom jde o případy hypertermie u vysoké a hypotermie u nízké tělesné teploty. Vystavení organismu vysokým nebo nízkým okolním teplotám vede ke stresu, který může skončit hypotermií či hypertemií, což může vést až ke smrti jedince (Terrien et al. 2011).

Pod pojmem termogeneze rozumíme proces, kterým se vytváří v těle teplo. Proces termogeneze zahrnuje změny metabolismu, hladiny hormonů i svalové aktivity. Právě svalová aktivita vytváří v organismu nejvíce tepla. Oproti tomu termolýza znamená proces rozptylování nadbytečného tělesného tepla pomocí rozšiřování cév, pocení nebo lapání po dechu, které vedou ke snížení teploty u savců (Terrien et al. 2011).

U savců je termoregulace klíčová při udržení stálosti vnitřního prostředí (homeostázy) a také silně souvisí s energetickou bilancí organismu. V případě teplotních změn fyziologické mechanismy zesílí a zvýší se tak energetický výdej. Termoregulační funkce organismu je řízena centrálním nervovým systémem, dále také metabolickým a endokrinním systémem organismu (Terrien et al. 2011).

Mezi základní faktory ovlivňující termoregulaci patří denní doba, roční období, pohlaví a věk jedince, dále také již zmíněná teplota okolního prostředí. Můžeme sem zařadit i další faktory, kterými jsou u člověka nošení oblečení nebo používání klimatizace. Ty zmírňují energetické nároky organismu a přispívají ke snížení vlivu změn prostředí na lidský organismus (Terrien et al. 2011).

3.3.1.2 Termický efekt potravy (TEF)

Termický efekt potravy (nebo postprandiální termogeneze) vede ke zvýšení rychlosti metabolismu a tělesné teploty 3-6 hodin po jídle (Martinez-Tellez et al. 2019). Představuje energetický výdej potřebný pro zpracování a skladování zkonsumované potravy a tvoří přibližně 10 % z TEE (Calcagno et al. 2019). Termický efekt potravy hraje důležitou roli v regulaci energetické rovnováhy a tělesné hmotnosti. TEF se liší podle typu přijímaných makronutrientů, kdy u tuků to je 0-3 %, u sacharidů 5-10 % a u bílkovin 20-30 % jejich kalorického obsahu (Pinheiro Volp et al. 2011).

Termický efekt bílkovin je vyšší z důvodů metabolických účinků jaterního metabolismu, zvýšeného energetického výdeje spojeného s absorpcí potravy ve střevě, nedostatečného skladovacího prostoru bílkovin, vysokých nároků ATP potřebné pro syntézu

bílkovin či vysokých energetických nároků na tvorbu močoviny, kreatininu a dalších dusíkatých produktů a v neposlední řadě také na glukoneogenezi (Binns et al. 2015).

TEF můžeme rozdělit na dvě rozdílné fáze. Cefalická fáze souvisí s působením sympatického nervového systému, který je aktivován sensorickými vlastnostmi stravy. Gastrointestinální fáze je charakterizována spotřebou ATP v průběhu absorpce a využití živin (Pinheiro Volp et al. 2011).

Mezi faktory ovlivňující termický efekt potravy můžeme zařadit věk, fyzickou aktivitu, energetickou hodnotu potravy, složení potravy, chutnost potravy, pravidelnost a načasování jídla, ale i dobu trvání jídla nebo způsob zpracování pokrmu (Calcagno et al. 2019). Při stejném nutričním složení má totiž např. tekutá potrava vyšší TEF než pevná potrava. Ze žaludku se totiž bude rychleji vyprazdňovat a absorbovat (Martinez-Tellez et al. 2019).

Termický efekt potravy může být významně ovlivněn také abdominální obezitou a inzulínovou citlivostí, jelikož se strava zpracovává v trávicím traktu na jednotlivé živiny, např. glukóza musí metabolizovat v buňkách. Buňka však může být rezistentní na inzulín a v tomto případě glukóza nedokáže proniknout do jaterních a svalových buněk. Obézní lidé mají zpomalený metabolismus oproti štíhlým lidem, a proto je zde větší riziko inzulínové rezistence. To vede ke snížení termického efektu potravy. V této oblasti je potřeba dalšího výzkumu, protože stále není jasné, do jaké míry je obezitou a inzulínovou rezistencí ovlivňován termický efekt potravy (Calcagno et al. 2019).

3.3.1.3 Aktivní energetický výdej (AEE)

Jedná se o energii spotřebovanou při svalové práci, během spontánní fyzické aktivity nebo fyzické aktivity ovládané vůlí. Aktivní energetický výdej je nejvíce proměnlivou složkou celkového energetického výdeje. U jedinců se sedavým způsobem života se pohybuje kolem 15 %, zatímco u aktivnějších jedinců může představovat až 50 % celkového výdeje energie (Lam & Ravussin 2016).

AEE můžeme označit jako hlavní parametr, který umožňuje změnu TEE. Závisí na druhu fyzické aktivity, jejím trvání a intenzitě (Caron et al. 2016). Podle Ocobock (2016) existuje významná interakce mezi termoregulací a fyzickou aktivitou. Když se fyzická aktivita snižuje, nároky na termoregulaci v chladném prostředí se snižují, naopak v teplém podnebí se budou zvyšovat.

Poměr TEE ku RMR během 24 hodin je označován jako úroveň fyzické aktivity (PAL – physical activity level), která nám udává průměrnou denní energetickou potřebu pro danou fyzickou aktivitu jedince. Rozdíly v hodnotě PAL u mužů a u žen jsou minimální. Během života se tato hodnota pohybuje od 1,2 do 2,5 podle druhu a náročnosti dané pohybové aktivity. Například dolní hranice se pohybuje v rozmezí 1,35-1,4 u osob s vyloženě sedavým způsobem života. Nejmenší aktivita u těchto jedinců bývá převážně stolování, oblékání, hygienické návyky či minimální pohyb doma. Seniori či pacienti, u kterých je způsob života sedavý nebo v leže, tak mají úroveň fyzické aktivity 1,2 až 1,3. Toto snížení je způsobené faktory, které ovlivňují fyzickou aktivitu a pohyblivost seniorů. Průměrná hodnota PAL u normální zdravé populace bývá přibližně 1,6. PAL hodnota nad 1,7 souvisí s mizivým rizikem pro nadváhu, diabetes mellitus, kardiovaskulárním či nádorovým onemocněním. Jedinec má přiměřený růst, lepší psychické zdraví a dále se odráží i na výsledcích, například ve

škole. Pokud jsou jedinci v dětském věku aktivní, často si tuto aktivnost berou i do dospělosti. Horní hranice bývá okolo PAL hodnoty 2,5. Této hodnoty však dosahují hlavně jedinci, kteří za den provozují aktivitu několik hodin a to při práci nebo během volného času (Společnost pro výživu 2019).

3.3.1.4 Bazální a klidový metabolismus

V literatuře a v klinické praxi lze bazální energetický metabolismus (BMR – basal metabolic rate) zaměnit za klidový energetický metabolismus (RMR – resting metabolic rate), které se od sebe liší podmínkami měření (Psota & Chen 2013). Ve studiích bývají tyto dva termíny často zaměňovány (Macena et al. 2019).

3.3.1.4.1 Klidový metabolismus (RMR)

Klidová energetická potřeba je výdej energie potřebný k udržení normálních funkcí lidského těla v klidovém stavu (Maraki et al. 2018). To znamená, že se jedná o energii potřebnou pro udržení základních metabolických aktivit, udržování tělesné teploty a fungování životně důležitých orgánů (Ndahimana et al. 2018). RMR může být o 10-20 % vyšší než BMR, protože je ovlivněn nedávným příjmem potravy a fyzickou aktivitou (Macena et al. 2019). Dle Pinheiro Volp et al. (2011) zmiňovaný rozdíl činí 3-10 %. Dle Schusdziarra et al. (2014) tvoří RMR 70 % z TEE, dle Amaro-Gahete et al. (2018) je to více jak 50 % z TEE. U těchto hodnot se autoři studií moc neshodují.

RMR se měří u osob, které jsou v tělesném klidu a nejméně 2-4 hodin po posledním jídle (Ndahimana & Kim 2017).

3.3.1.4.2 Bazální metabolismus (BMR)

Bazální metabolismus tvoří největší část celkového energetického výdeje, kde představuje přibližně 60 % (Calcagno et al. 2019). Jedná se o minimální energii potřebnou k udržení životně důležitých funkcí organismu (Psota & Chen 2013). Obvykle se udává jako produkce tepla nebo spotřeba kyslíku na jednotku tělesné hmotnosti (Henry 2005).

Měření bazálního metabolismu vyžaduje dodržení určitých podmínek. Jedinec by měl být v klidu (tělesném i duševním) před i během měření. Při měření by měl ležet a být při vědomí (Henry 2005). Zároveň by měl být 12-14 hodin po jídle (Ndahimana & Kim 2017; Macena et al. 2019). Podle jiných autorů by to mělo být 10-12 hodin po jídle (Henry 2005). Kromě toho musí měření probíhat tak, aby se omezil vliv vnějších podmínek zejména teploty, takže se měří v termoneutralní zóně, tj. v místnosti s teplotou, která neklade nároky na termoregulaci (obvykle 20 °C pro oblečenou, 27 °C pro svlečenou osobu) (Henry 2005). Měl by být eliminován vliv jiných faktorů (kouření, léky, drogy, účinné látky atd.) (Doros et al. 2015). Jedinec by měl být v dobré duševní kondici, bez stresu a měl by být seznámen s postupem měření a přístroji (Henry 2005).

BMR stále není nejnižší možný energetický výdej, nižší hodnoty lze pozorovat pouze při spánku, bezvědomí, podchlazení a malnutrici (Doros et al. 2015).

3.3.1.4.3 Faktory ovlivňující bazální metabolismus

Existují faktory, které ovlivňují bazální i klidový metabolismus při samotném měření. Jedná se o věk, výšku, hmotnost, pohlaví, etnickou příslušnost i různé druhy onemocnění (Schusdziarra et al. 2014). Dále ovlivňuje hladinu bazálního metabolismu také emoční stav jedince, růst, hladiny hormonů štítné žlázy, hladiny hormonů adrenalinu a noradrenalinu, tělesná teplota, teplota prostředí, fyzická aktivita před nebo během měření, u žen i menstruace, těhotenství a laktace (Doros et al. 2015).

Složení lidského těla má také vliv na hodnotu bazálního metabolismu (Ndahimana & Kim 2017). Lidské tělo je složeno z tukové tkáně (FM – fat mass) a tukuprosté tkáně (FFM – fat-free mass). Tuková tkáň je metabolicky méně aktivní než tukuprostá tkáň, proto u jedinců s vyšším obsahem tukuprosté hmoty je hodnota bazálního metabolismu vyšší. Různé tkáně lidského organismu jsou v závislosti na obsahu tuku různě metabolicky aktivní (Madden et al. 2016). Zajímavé je, že svalová hmota zaujímá přibližně 40 % tělesné hmotnosti a podílí se z 18 % na bazálním metabolismu, oproti tomu vnitřní orgány zaujímají 7 % tělesné hmotnosti a na bazálním metabolismu se podílí ze 60 % (Doros et al. 2015). Obsah FM a FFM je také ovlivněn pohlavím, kdy muži mají oproti ženám více FFM, a proto mají vyšší hodnoty bazálního metabolismu (Ndahimana & Kim 2017).

Jak již bylo zmíněno výše, bazální metabolismus je ovlivněn i věkem. S přibývajícím věkem se snižuje jeho hodnota. Uvádí se, že hodnota bazálního metabolismu klesá po třicátém roku života o 1 až 2 % za 10 let. Pokles bazálního metabolismu u starších lidí může být způsobený změnou složení těla (snížení množství aktivní tělesné hmoty) i jinými metabolickými změnami a také v důsledku hubnutí, které souvisí s omezením příjmu energie (Walker & Heuberger 2009; Ndahimana & Kim 2017; Olejníčková et al. 2019).

3.3.2 Způsoby zjišťování energetické potřeby

3.3.2.1 Stanovení celkového energetického výdeje

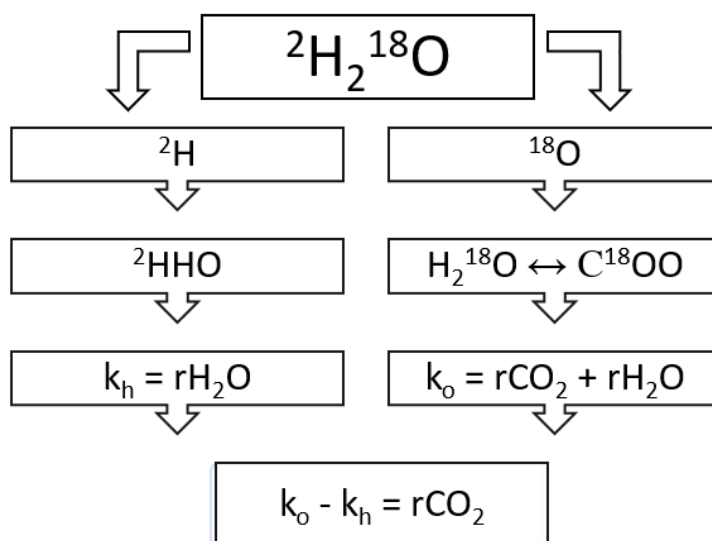
3.3.2.1.1 Metoda dvojitě značené vody

Metoda dvojitě značené vody (DLW – double-labelled water) vznikla v roce 1982 a je založená na měření stabilních izotopů kyslíku ^{18}O a vodíku ^2H (deuterium). Tato metoda je široce uznávaná jako zlatý standart pro měření TEE (Lam & Ravussin 2016). Jelikož je velmi přesná a neinvazivní, využívá se i k ověřování výsledků získaných pomocí jiných metod (Ndahimana & Kim 2017).

Voda je důležitá část tukuprosté hmoty, proto se k měření složení těla používá značená voda pomocí izotopů ^2H a ^{18}O (Westerterp 2017). Tyto izotopy nejsou radioaktivní a vyskytují se běžně v lidském těle (Pinheiro Volp et al. 2011). V případě metody dvojitě značené vody se jedná o inovativní variantu nepřímé kalorimetrie, kdy je měřena produkce oxidu uhličitého na základě eliminace ^2H a ^{18}O a pomocí energetického ekvivalentu CO_2 se stanovuje energetický výdej. Energetický ekvivalent CO_2 závisí podobně jako energetický ekvivalent O_2 na respiračním kvocientu (RQ – respiratory quotient) (pohybuje se od 21,0 kJ/l CO_2 pro RQ = 1, do 27,7 kJ/l pro RQ = 0,7) (Westerterp 2017).

Měření probíhá tak, že jedinec přijme dané množství vody obsahující $^2\text{H}_2^{18}\text{O}$. Poté co nastane rovnováha izotopů s celkovou tělesnou vodou (TBW – total body water), se izotopy vylučují z těla různými rychlostmi (Ndahimana & Kim 2017). Pomocí spektrometrické analýzy se měří rychlost eliminace (vymizení) obou izotopů z těla ve formě vody a oxidu uhličitého ve vzorcích tělesných tekutin, jako jsou moč, sliny nebo krev (Westerterp 2009). Většinou se dvojitě značená voda měří po dobu 7 (u dětí) až 14 dní (u dospělých), aby se zohlednila změna krátkodobé fyzické aktivity každý den (Burrows et al. 2010).

Na Obrázku 2 a 3 je znázorněn postup měření metodou dvojitě značené vody. Po příjmu značené vody se izotopy vodíku a kyslíku smísí s vodou v těle. Izotop kyslíku se přeměňuje na oxid uhličitý s pomocí hydrogenuhličitanů a vodík se ztrácí ve formě vody. Proto se vyloučení ^2H (k_h) rovná ztrátě vody ($r\text{H}_2\text{O}$). Eliminace ^{18}O (k_o) se rovná součtu produkce vody ($r\text{H}_2\text{O}$) a oxidu uhličitého ($r\text{CO}_2$). Produkce oxidu uhličitého obou izotopů ($r\text{CO}_2$) se vypočítá z rozdílu vyloučeného ^{18}O a ^2H (Westerterp 2017).



Obrázek 2 Schéma měření produkce CO_2 (Westerterp 2017)

Dle Ndahimana & Kim (2017) se z eliminace izotopů vypočítá míra produkce CO_2 :

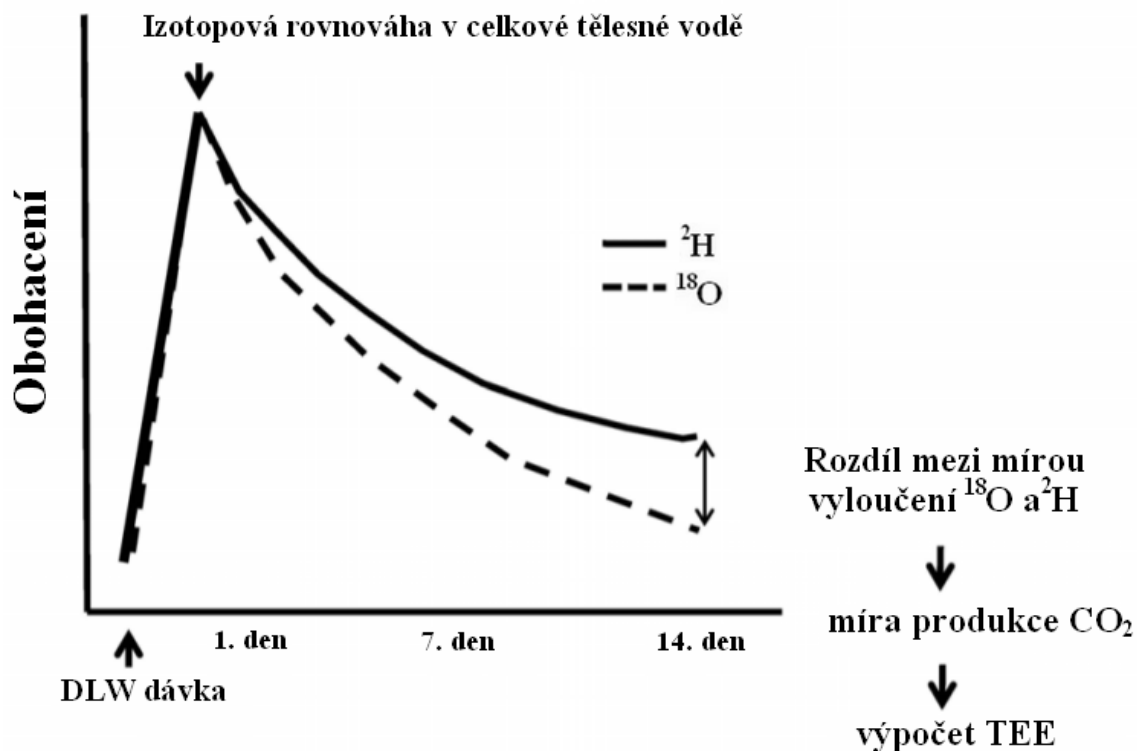
$$r\text{CO}_2 = 0,4554 \times \text{TBW} \times (1,007 \times k_o - 1,041 \times k_h)$$

kde $r\text{CO}_2$ je produkce oxidu uhličitého v mol/den, TBW je celková tělesná voda, k_h je eliminace ^2H a k_o je eliminace ^{18}O .

Poté se vypočítá TEE pomocí modifikovaného Weirova vzorce:

$$\text{TEE} = 22,4 \times (3,9 \times (r\text{CO}_2 \div \text{FQ}) + 1,1 \times r\text{CO}_2)$$

kde TEE je celkový energetický výdej v kcal/den, $r\text{CO}_2$ je produkce oxidu uhličitého v mol/den a FQ je kvocient potravy (food quotient) (Ndahimana & Kim 2017).



Obrázek 3 Pokles hladin ^2H a ^{18}O v celkové tělesné vodě. TEE (total energy expenditure) je celkový energetický výdej a DLW dávka je (double label water) dávka dvojitě značené vody (Park et al. 2014)

Kvocient potravy (FQ) je stanovený spálením potravin v atmosféře čistého kyslíku. Hodnoty FQ a RQ jsou velmi podobné (Toubro et al. 1998; Brody 1999).

K výpočtu TEE mohou být, kromě výše zmíněného Weirova vzorce použity i různé jiné rovnice, a proto se výsledné hodnoty mohou v rámci studií lišit podle toho, jaké rovnice se zvolí pro výpočet rychlosti eliminace izotopů (Buchowski 2014).

Mezi výhody této metody patří kompatibilita výsledků z různých laboratoří, takže je možné provést přímé srovnání (Buchowski 2014). Dalším benefitem této metody je, že se může měřit během každodenních činností. Oproti tomu velká nevýhoda je spojena s vysokými náklady, kdy je potřeba drahé vybavení a odborné znalosti. Také to, že kromě měření TEE neposkytuje další informace o fyzické aktivitě jedince. V současnosti se tato metoda používá u starších jedinců, kojenců, těhotných a kojících žen kvůli jejím benefitům popsaným výše (Ndahimana & Kim 2017).

3.3.2.2 Stanovení termického efektu potravy

TEF můžeme měřit za řízených podmínek, kdy jedinec používá ventilační kápi nebo je v dýchací komoře (Westerterp 2018). Tyto metody jsou popsány v následujících podkapitolách.

3.3.2.3 Stanovení aktivního energetického výdeje

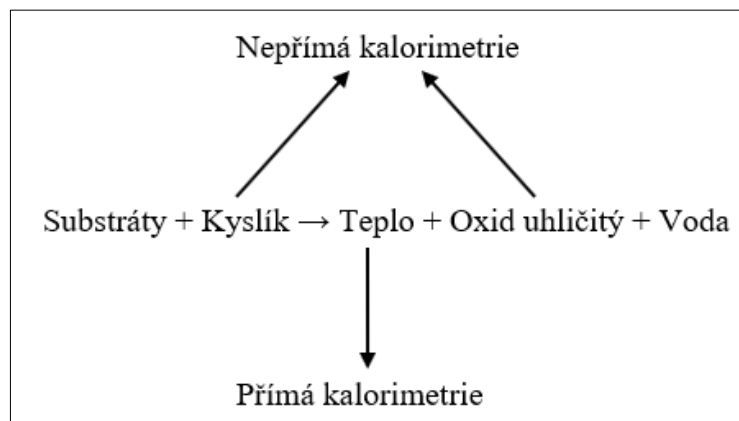
Kvůli různorodým činnostem, které během každého dne vykonáváme, je měření aktivního energetického vývoje značně obtížné (Purcell et al. 2016). Jedinci, u kterých se měří aktivní energetický výdej, jsou uzavřeny v komoře, kde mají nasazenou obličejovou masku. Díky masce lze vyhodnotit výměnu plynů při každodenních aktivitách nebo při cvičení pomocí dvojité značené vody (Westerterp 2018).

3.3.2.4 Stanovení bazálního metabolismu

3.3.2.4.1 Kalorimetrie

Obecně kalorimetrie znamená měření tepelných ztrát (Brychta et al. 2010). Základní principy kalorimetrie byly tedy studovány již před 100 lety fyziky a chemiky (Oshima et al. 2017). V 18. století porozuměli Lavoisier a Laplace měření výměny tepla. Koncem 19. století byl vynalezen první přímý kalorimetr Atwater-Rosa pro lidi (Mtaweh et al. 2018).

Dle Mtaweh et al. (2018) se pomocí kalorimetru zvládl demonstrovat Zákon zachování energie, kdy je rovnováha mezi spotřebovaným palivem a produkovaným teplem. V obou případech se jedná o chemickou energii. Ze zmíněných principů se vychází i ve fyziologii, při zjišťování bazálního metabolismu pomocí přímé kalorimetrie (Brychta et al. 2010), která patří mezi nejpřesnější metody hodnocení bazálního metabolismu. K jeho zjištění lze využít i nepřímou kalorimetrie, při které se sleduje spotřeba kyslíku a produkce oxidu uhličitého (Obrázek 4). Tyto metody nejsou moc praktické a bývají nákladné, nepřenositelné a na většině pracovišť se nedají běžně zrealizovat (Maraki et al. 2018).



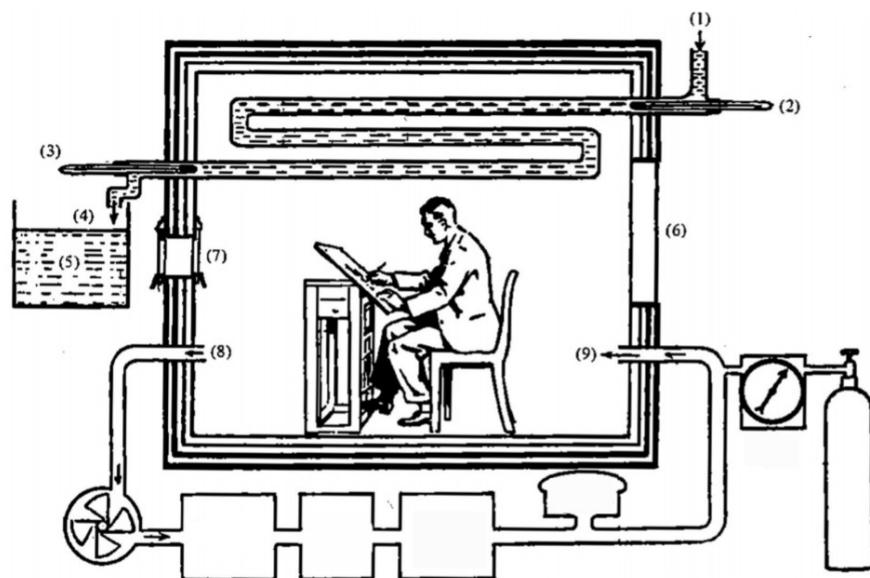
Obrázek 4 Rozdíly v měření pomocí přímé a nepřímé kalorimetrie (Mtaweh et al. 2018)

3.3.2.4.1.1 Přímá kalorimetrie

Tato metoda využívá poznatků prvního termodynamického zákona, který říká, že použitá energie ve všech fyziologických procesech je rozptýlena jako teplo, které je možné

změřit. Je to složitá metoda, protože je potřeba měřit všechny typy přenosu tepla jako je záření, vedení, konvekce tepla, ale i ztráty tepla způsobené odpařováním (Lam & Ravussin 2016). To je důvod, proč se kromě tepla uvolněného z těla měří i vodní pára, která se uvolňuje při dýchání nebo z kůže (Pinheiro Volp et al. 2011).

Přímá kalorimetrie slouží k měření tepelných ztrát přímo u pacienta. Soustředí se na termoregulační biologii a provádí se v dobře kontrolovatelných komorách (Obrázek 5) (Psota & Chen 2013). Tyto komory by měly být hermeticky uzavřené, dostatečně velké a izolované. Jedinec by měl být v takto uzavřené komoře po dobu 24 a více hodin. Z důvodu náročnosti a vyšších nákladů této metody se tolik nevyužívá (Pinheiro Volp et al. 2011).



Obrázek 5 Schéma přímého kalorimetru s uzavřeným oběhem (Archiza et al. 2017)

Známé jsou 4 typy přímých kalorimetrů – izotermické kalorimetry, kalorimetry s chladičem, kalorimetry s přímým prouděním a diferenciální kalorimetry (Ndahimana & Kim 2017).

Izotermické kalorimetry jsou známé i jako kalorimetry s vedením tepla nebo s tepelným tokem. Tyto kalorimetry udržují konstantní teplotu stěny pomocí kapaliny o konstantní teplotě (nejčastěji voda). Tato kapalina se nachází v plášti komory nebo v kapalinové lázni obklopující komoru či v měděných trubkách připojených k povrchu vnější stěny komory (Ndahimana & Kim 2017).

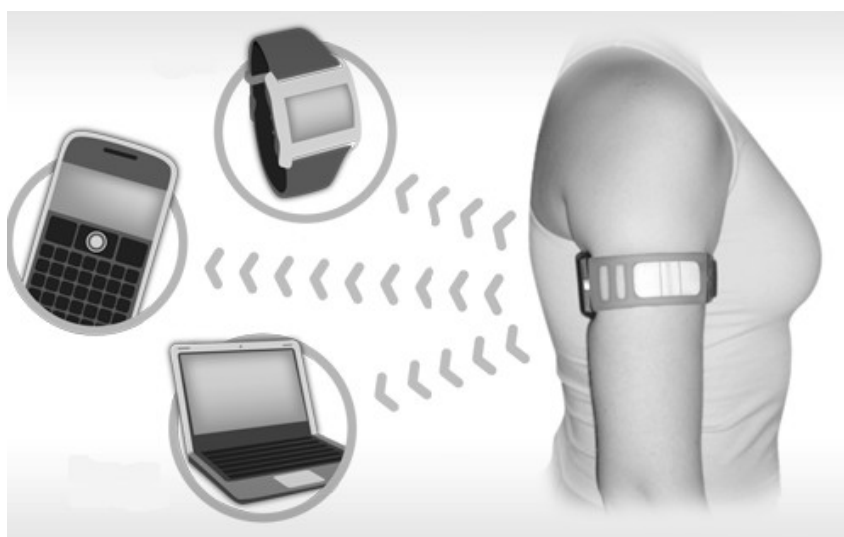
Kalorimetry s chladičem – v komoře se hromadí tepelné ztráty jedince. Toto teplo se odvádí výměníkem tepla, který je chlazený kapalinou (Ndahimana & Kim 2017).

Kalorimetry s přímým prouděním – u této metody se jedná o izolovanou komoru, která se větrá proudem vzduchu o známé rychlosti. Systém proudění vzduchu určuje rozdíly teploty a entalpie mezi vzduchem, který vstupuje do izolované komory a mezi vzduchem vystupujícím z izolované komory (Ndahimana & Kim 2017).

Poslední kalorimetry jsou diferenciální. Jde o 2 identické komory. První komora je určená pro daného jedince, který se bude měřit. V druhé komoře se nachází elektrický

ohřívač, který kontroluje a upravuje teplotu tak, aby byla stejná v obou komorách (Ndahimana & Kim 2017).

V nedávné době byly vyvinuty zařízení připomínající náramky (Obrázek 6), které slouží k měření teploty pokožky, tepelného toku a tepelných ztrát z kůže. To vše slouží pro odhad energetického výdeje. V podmínkách života jsou tyto zařízení přívětivější, i když je potřeba určit, zda okolní teploty prostředí a fyzická aktivita nemají vliv na přesnost odhadu energetického výdeje (Lam & Ravussin 2016).



Obrázek 6 Přímý kalorimetr v podobě náramkového zařízení pro odhad energetického výdeje od společnosti MetaLogics. S pomocí aplikace ho lze ovládat pomocí chytrých hodinek, mobilu či počítače (Cronin 2010)

3.3.2.4.1.2 Nepřímá kalorimetrie

Hodnota bazálního metabolismu se měří pomocí nepřímé kalorimetrie na základě spotřeby kyslíku a produkce oxidu uhličitého (Kruizenga et al. 2016).

Z objemu spotřebovaného kyslíku (VO_2) a vyprodukovaného oxidu uhličitého (VCO_2) lze vypočítat energetický výdej ze standardní rovnice, která je označována jako Weirova rovnice:

$$EE = (3,941 \times VO_2) + (1,106 \times VCO_2)$$

kde EE je energetický výdej v kcal/min, spotřebovaný kyslík je VO_2 a vyprodukovaný oxid uhličitý je VCO_2 (Weir 1949).

Z hodnot VO_2 a VCO_2 se dá vypočítat respirační kvocient. Je to poměr mezi produkcí oxidu uhličitého a spotřebou kyslíku za jednotku času. Jde o metabolický parametr, který naznačuje podíl makronutrientů metabolizovaný organismem (Doros et al. 2015). Normální fyziologická hodnota respiračního kvocientu se pohybuje mezi hodnotami 0,7-1,0 (Walker

& Heuberger 2009). Hodnota respiračního kvocientu při oxidaci sacharidů je 1,0, při oxidaci bílkovin 0,81 a při oxidaci lipidů 0,70 (Doros et al. 2015).

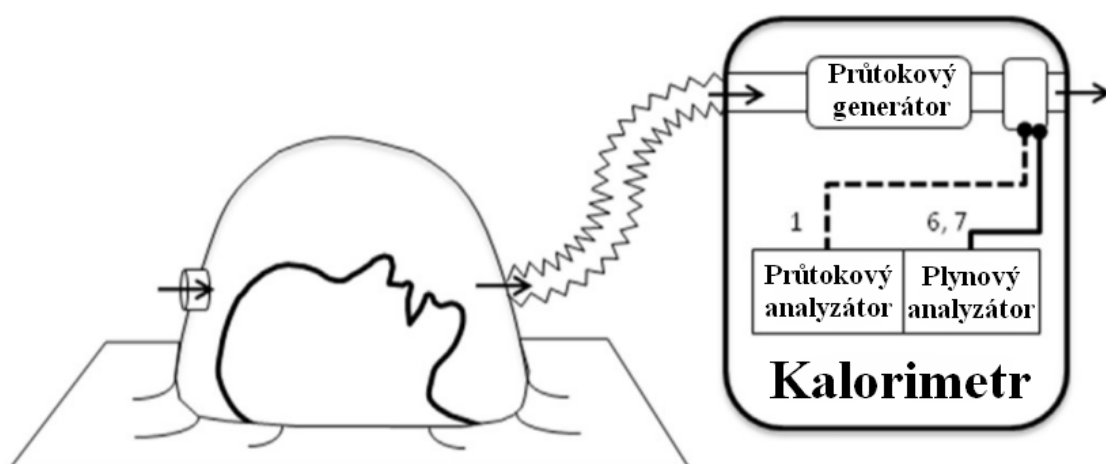
Existují ale zvláštní metabolické situace, kdy respirační kvocient může klesnout pod hodnotu 0,7 a to v případech zrychlené ketogeneze a zvýšené glukoneogeneze. Naopak respirační kvocient větší než 1,0 je v případech, kdy dochází k lipogenezi, tj. například na začátku hyperventilace nebo při vysoce intenzivním cvičení (Melzer et al. 2014).

Respirační kvocient z velké části ovlivňuje genetika, která se podílí až na 28 % rozptylu jeho hodnot během 24 hodin. Oproti tomu pohlaví, složení těla a hmotnost představují zbývající část rozptylu hodnot RQ (Lam & Ravussin 2017).

V 80. letech 20. století popsal Ravussin nepřímý kalorimetr s otevřeným oběhem, který byl v celé místnosti. Ta umožňovala měřenému jedinci být soběstačný v mnoha činnostech po dobu 24 a více hodin, během 7-14 dní. Strava jedinci byla doručována přes vzduchotěsné dveře. Teplota, vlhkost a barometrický tlak byly regulované vzduchem a plyny se známým složením byly přiváděny do komory. Naopak proudící vzduch se odváděl pryč. Části přiváděného a odváděného vzduchu se sušily a analyzovaly se v nich koncentrace kyslíku a oxidu uhličitého. Poté se z těchto koncentrací vypočítal objem plynů a následný energetický výdej. Fyzická aktivita se zde měřila snímáním pohybu pomocí radarového systému v komoře (Lam & Ravussin 2017).

Při nepřímé kalorimetrii se nahromaděný plyn uchovává různými způsoby, využívají se pro to např. Douglasův vak, kanopy nebo obličejové masky (Ndahimana & Kim 2017). Zajímavostí je, že v roce 1952 Müller a Franz vynalezli masky s otevřeným systémem, které bylo možné nosit v tašce. To pomohlo v rozvoji nepřímé kalorimetrie u sportovců i v oblasti medicíny (Mtaweh et al. 2018).

Nepřímou kalorimetrii můžeme rozdělit podle způsobu měření dýchání daného jedince na spontánní respiraci a mechanickou ventilaci. Při spontánní respiraci pacienta se používá ventilovaná kapuce nebo obličejová maska, které sbírají vydechované a nadechované plyny. Je zde potřeba se vyhnout úniku vzduchu, který snižuje přesnost měření energetického výdeje. Při měření kanopou (Obrázek 7) je nad ležícím jedincem plastová střížka (kanopa) proti úniku vzduchu (Oshima et al. 2017).



Obrázek 7 Schéma kalorimetru s kanopou (Oshima et al. 2017)

Můžeme vypočítat VO_2 i VCO_2 z rozdílů koncentrací kyslíku z okolního vzduchu a koncentrací kyslíku i oxidu uhličitého z kanopy, kde se shromažďují vydechované plyny (Oshima et al. 2017).

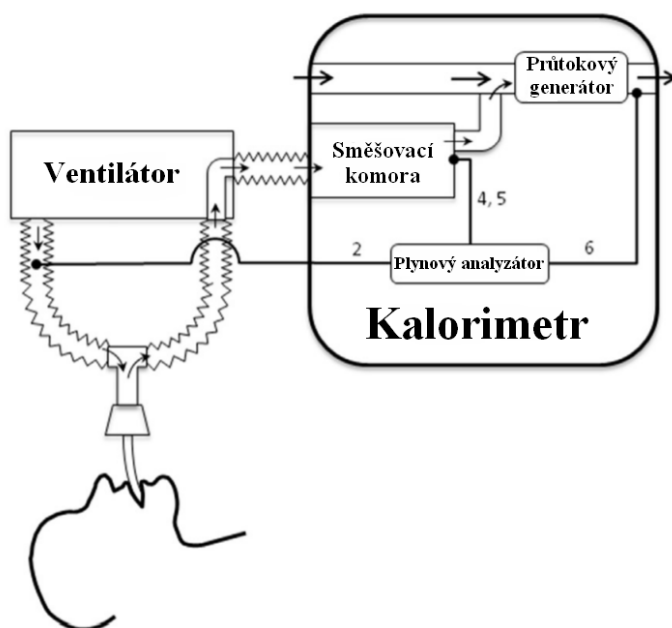
Naopak u mechanické ventilace se odebírá vzorek plynu z okruhu, který spojuje endotracheální trubicí s ventilátorem (Obrázek 8). Poté se jednotlivé vzorky plynů analyzují ve směšovací komoře (Obrázek 8) nebo analýzou dech po dechu („breath-by-breath“) jak je znázorněno na Obrázku 9 (Oshima et al. 2017).

U metody se směšovací komorou se nejdříve změří koncentrace O_2 vdechovaného vzduchu. Vydechovaný plyn je poté shromažďován ve směšovací komoře, kde je smíchán a analyzován na koncentrace O_2 a CO_2 . Shromažďovaný plyn je odstraněn do nezávislé komory, kde je tok plynů udržován konstantní při 40-45 l/min, aby se zředěný plyn ze směšovací komory ředil okolním vzduchem. Ve zředěném plynu se měří CO_2 a vypočítá se jeho produkce pomocí koncentrace a průtoku. Z naměřených hodnot O_2 a CO_2 lze vypočítat RQ. Z RQ lze dopočítat objem spotřebovaného kyslíku v l/min pomocí vzorce:

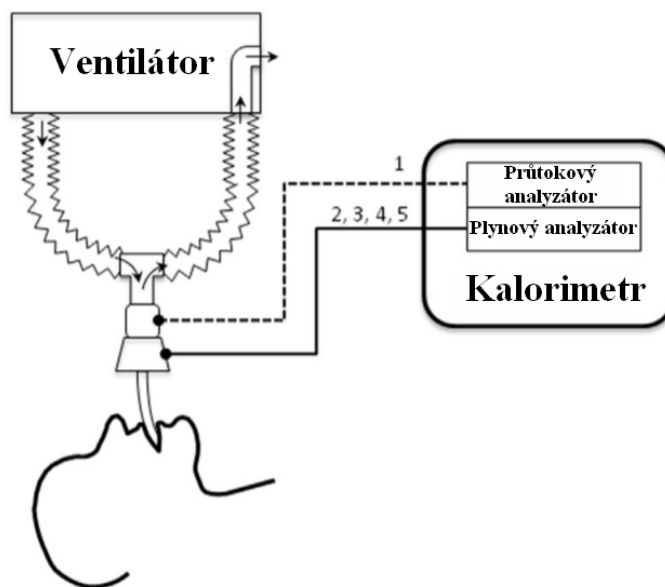
$$VO_2 = \frac{VCO_2}{RQ}$$

kde VO_2 je objem spotřebovaného kyslíku, VCO_2 je objem spotřebovaného oxidu uhličitého a RQ je respirační kvocient (Oshima et al. 2017).

U metody „breath by breath“ se měří složení a průtok dýchacích plynů nepřetržitě díky propojení analyzátorů plynu k ventilátoru. Signály přijímané analyzátory plynů a průtokoměry jsou synchronizovány pro výpočet spotřeby O_2 a produkce CO_2 jako rozdílu mezi objemy vdechovaného a vydechovaného O_2 a CO_2 na 1 dech pomocí integrálních výpočtů (Oshima et al. 2017).



Obrázek 8 Schéma kalorimetru se směšovací komorou (Oshima et al. 2017)



Obrázek 9 Schéma kalorimetru – měření pomocí analýzy breath by breath (Oshima et al. 2017)

Nejpoužívanějšími analyzátory plynu jsou paramagnetické kyslíkové analyzátory, galvanické senzory kyslíku a infračervené analyzátory oxidu uhličitého. Pro měření průtoku můžeme využít měření objemu plynu po určité době nebo spojením kontinuálního měření průtoku pneumotachometry. Pneumotachometry fungují na základě čtyř různých principů – jako tlakový rozdíl, turbíny, anemometry s horkým drátem nebo Pitotova trubice. Přesná kalibrace těchto analyzátorů je velmi důležitým požadavkem pro celé měření pomocí nepřímé kalorimetrie. Nejenom při samotné kalibraci, ale i při měření je důležité, aby plyny vstupující do analyzátoru byly udržovány na stejné a stálé úrovni vlhkosti, tlaku, teploty a průtoku (Mtaweh et al. 2018).

Nepřímá kalorimetrie bývá velmi přesná, může u ní nastat pouze 0,5-2% chyba. Také doba měření je daleko kratší než u přímé kalorimetrie a bývá to do 30 s. Oproti přímé kalorimetrii má i tu výhodu, že měření výměny plynů u člověka je jednodušší než měření množství tepelných ztrát (Brychta et al. 2010).

Používá se pro stanovení energetického výdeje ve výzkumu a v klinické praxi (Psota & Chen 2013). Nepřímou kalorimetrii je možné používat jak u lidí, tak u laboratorních zvířat (Brychta et al. 2010).

3.3.2.4.2 Empirické stanovení pomocí predikčních rovnic

Alternativou kalorimetrie jsou predikční (prediktivní) rovnice odvozené z mnoha pozorovacích studií (Maraki et al. 2018). Pomocí predikčních rovnic se odhadují hodnoty klidového metabolismu a bazálního metabolismu, které se obvykle vyjadřují v kJ nebo kcal za 24 hodin (Macena et al. 2019). Pro odhad RMR je tento způsob levnější a snadnější než kalorimetrie (Maraki et al. 2018). Využívají se k hodnocení výživového i metabolického stavu, k doporučení dietního příjmu či pro odhad ukládání živin v těle (Doros et al. 2015).

Při výpočtu bazálního metabolismu pomocí rovnic se obvykle vychází ze znalostí faktorů, jako jsou např. antropometrické (hmotnost, výška) a demografické údaje (věk, pohlaví, etnická příslušnost) a také z údajů o komponentech složení těla (obsah tukuprosté hmoty, zásobní a vnitrobřišní tuková tkáň) (Itoi et al. 2017).

První predikční rovnice byly vyvinuty pro zdravé jedince s bílou pletí na základě regresní analýzy z hodnot tělesné hmotnosti, výšky, věku a pohlaví jako nezávislých proměnných. Jako závislá proměnná byly použity výsledky měření pomocí nepřímé kalorimetrie. V průběhu 20. století se však u odlišných skupin populace objevily nepřesnosti při použití těchto rovnic (zdravý oproti nemocným, podvyživený jedinci oproti obézním jedincům, jedinci žijící v tropických oblastech oproti jedincům z polárních oblastí) (Weijs 2008; Carpenter et al. 2015), proto byly vyvinuty novější rovnice pro konkrétní skupiny populace, např. pro obézní jedince, ženy, atlety, nemocné aj. (Weijs 2008). Můžeme se setkat s různorodými predikčními rovnicemi, které vychází z výsledků získaných za různých fyziologických a patologických podmínek (Doros et al. 2015).

V současné době existuje velké množství predikčních rovnic, u kterých se jejich platnost a přesnost neustále přehodnocuje (Maraki et al. 2018). Dle Segura-Badilla et al. (2018) existuje pod 200 různých predikčních rovnic pro výpočet klidového energetického výdeje a další nové rovnice přibývají každý den. Mnoho studií prokázalo odchylky u původní Harris-Benedictovy rovnice a přímým měřením subjektů, čímž dali vzniknout vývoji alternativních rovnic, které mají různou specifickost (použití u různých etnických skupin, věkových kategorií atd.).

Hodnoty následujících rovnic byly korelovány s hodnotami naměřenými pomocí nepřímé kalorimetrie. S výjimkou rovnic FAO/WHO/UNU, kde to byla přímá kalorimetrie a EU rovnic, kde nebylo uvedeno, s čím byly hodnoty korelovány.

3.3.2.4.2.1 Harris-Benedictova rovnice (1918)

Úplně první publikovaná rovnice z roku 1918 (v některé literatuře se udává rok 1919) pochází z amerického Washingtonu. Měření se zúčastnilo 136 mužů a 103 žen, u kterých se pohyboval věk v rozmezí od 21 do 70 let, jejich výška od 151 do 200 cm a jejich tělesná hmotnost od 25,0 až do 124,9 kg. Tyto údaje daly vzniknout dvěma rovnicím. První určená pro muže a druhá pro ženy, ve kterých se počítá s proměnnými jako je tělesná hmotnost, tělesná výška a věk jedince. Výsledná hodnota bazálního metabolismu se udává v kcal za den (Harris & Benedict 1918).

Rovnice:

$$\text{Muži: BMR} = 66,4730 + (13,7516 \times w) + (5,0033 \times s) - (6,7550 \times a)$$

$$\text{Ženy: BMR} = 655,0955 + (9,5634 \times w) + (1,8496 \times s) - (4,6756 \times a)$$

kde BMR je hodnota bazálního metabolismu v kcal/den, w (weight) je tělesná hmotnost v kilogramech, s (stature) je tělesná výška v centimetrech, a (age) je věk v letech (Harris & Benedict 1918).

Důvod, proč jsou různé rovnice pro každé pohlaví zvláště, je zapříčiněno rozdílným zastoupením tukové a tukuprosté tělesné hmoty u mužů a u žen (Roza & Shizgal 1984).

Ve své studii Harris a Benedict vyjádřily námitky k uplatnění jejich rovnice u starších jedinců. To je přimělo k dalším studiím z let 1928 a 1935, kdy prováděli měření u dalších skupin s větším věkovým rozmezím. I přesto nevznikla žádná revize původní rovnice a důvodem mohlo být provádění výpočtu bez pomoci moderních počítačů (Roza & Shizgal 1984).

I přestože je to užitečná pomůcka pro predikci hodnoty bazálního metabolismu, tak se snesla na tuto rovnici kritika kvůli hodnocení hodnoty bazálního metabolismu u podvyživených jedinců. U podvyživených jedinců byla předpovídaná a měřená spotřeba kyslíku odlišná na rozdíl od jedinců normálně vyživovaných. Rovnice byla odvozena od zdravé populace a je tedy aplikovatelná u této skupiny (Roza & Shizgal 1984).

3.3.2.4.2 Harris-Benedictova rovnice (1984)

Dle Roza & Shizgal (1984) byla v tomto roce Harris-Benedictova rovnice po několikáté přehodnocena. Ovšem stále to není nejaktuálnější verze této rovnice. Bylo proměřeno 337 dospělých zdravých jedinců a z toho 168 mužů a 169 žen. U mužů byl průměrný věk 30 let a u žen 40 let.

Přepočítané rovnice pro muže a pro ženy jsou následující:

$$\begin{aligned} \text{Muži: BMR} &= (13,397 \times w) + (4,799 \times s) - (5,677 \times a) + 88,362 \\ \text{Ženy: BMR} &= (9,247 \times w) + (3,098 \times s) - (4,33 \times a) + 477,593 \end{aligned}$$

kde BMR je hodnota bazálního metabolismu v kcal/den, w je hmotnost v kilogramech, s je výška v centimetrech, a je věk v letech (Roza & Shizgal 1984).

Bylo však zjištěno, že se výsledky při použití této rovnice shodují s nepřímou kalorimetrií pouze z 26 % (Pinheiro Volp et al. 2011).

Na základě přehodnocení Harris-Benedictovy rovnice vznikla Mifflin St. Jeorova rovnice (Mifflin et al. 1990).

3.3.2.4.2.3 Mifflin St. Jeorova rovnice

Mifflinova rovnice z roku 1990 slouží pro výpočet klidového metabolismu pro každé pohlaví zvláště (Mifflin et al. 1990). Měření se dohromady zúčastnilo 498 zdravých jedinců s BMI 17-42 z toho 251 mužů a 247 žen. Z celkového počtu to bylo 264 jedinců s normální hmotností (129 mužů, 135 žen) a 234 obézních jedinců (122 mužů, 112 žen). Věková struktura účastníků se pohybovala od 19 do 78 let. Rozmezí tělesné hmotnosti u obou pohlaví bylo od 46 do 143 kg a rozmezí tělesné výšky bylo od 146 do 201 cm (Mifflin et al. 1990).

Rovnice pro muže a pro ženy:

$$\begin{aligned} \text{Muži: REE} &= (9,99 \times w) + (6,25 \times s) - (4,92 \times a) + 5 \\ \text{Ženy: REE} &= (9,99 \times w) + (6,25 \times s) - (4,92 \times a) - 161 \end{aligned}$$

kde REE je klidový energetický výdej v kcal/den, w je tělesná hmotnost v kilogramech, s je tělesná výška v centimetrech, a je věk v letech (Mifflin et al. 1990).

3.3.2.4.2.4 Cunninghamova rovnice

Cunninghamova rovnice byla vytvořena v roce 1980 s pomocí dat ze studie Harrise a Benedicta z roku 1918. Z této studie byla použita data 223 zdravých jedinců, z toho 120 mužů a 103 žen (Cunningham 1980).

Rovnice počítá pouze s tělesnou hmotností a věkem zvlášť pro každé pohlaví:

$$\begin{aligned} \text{Muži: BMR} &= 501,6 + 21,6 \times (79,5 - 0,24 \times w - 0,15 \times a) \times w \div 73,2 \\ \text{Ženy: BMR} &= 501,6 + 21,6 \times (69,8 - 0,26 \times w - 0,12 \times a) \times w \div 73,2 \end{aligned}$$

kde REE je klidový energetický výdej v kcal/den, w je hmotnost v kilogramech, a je věk v letech (Cunningham 1980).

Z analýzy se vyloučila data 16 mužských jedinců, kteří byli rozpoznáni jako trénovaní sportovci. Tato data se nedala použít u této rovnice, protože je určená pro běžnou populaci. Tedy pro lidi, kteří nejsou trénovanými sportovci (Cunningham 1980).

3.3.2.4.2.5 Bernsteinova rovnice

Bernsteinova rovnice byla vytvořena v roce 1983 v Americe. Pro tvorbu této rovnice bylo ve studii zahrnuto 48 mužů a 154 žen z programu pro redukci tělesné hmotnosti. U žen byl věkový průměr 39,4 let a průměrná výška 163,6 cm. U mužů byl věkový průměr 40,4 let a průměrná výška 176,8 cm. Hmotnost účastníků obou pohlaví byla v rozmezí od 60 do 204 kg. (Bernstein et al. 1983).

Existuje varianta zvlášť pro muže a zvlášť pro ženy:

$$\begin{aligned} \text{Muži: RMR} &= (11,0 \times w) - (10,2 \times s) - (5,8 \times a) - 1032 \\ \text{Ženy: RMR} &= (7,48 \times w) - (0,42 \times s) - (3,0 \times a) + 844 \end{aligned}$$

kde RMR je klidový energetický výdej v kcal/den, w je hmotnost v kilogramech a s je výška v centimetrech, a je věk v letech (Bernstein et al. 1983).

Většina jedinců z redukčního programu této studie měla ustálenou tělesnou hmotnost nebo přibývali na hmotnosti. Z analýzy se vyloučily jedinci, kteří měli onemocnění štítné žlázy nebo diabetes mellitus s medikací, které by mohly ovlivnit RMR (Bernstein et al. 1983).

3.3.2.4.2.6 Schofieldova rovnice

Schofieldova rovnice byla vytvořena na základě dat získaných v roce 1985 (Ndahimana et al. 2018) od celkem 4 814 jedinců, z čeho bylo 47 % italského původu. To se

později ukázalo jako důležitý faktor, který měl vliv na přesnost těchto rovnic (viz níže). Jedinci byli rozděleni do skupin podle věkových kategorií – 18-30 let, 30-60 let a nad 60 let (Maraki et al. 2018) a jejich BMI se pohybovalo kolem 21-24 (Weijs 2008).

Schofieldova rovnice pro muže:

$$\begin{aligned} \text{Muži: (18 – 30 let) REE} &= (0,063 \times w) + 2,896 \\ \text{Muži: (30 – 60 let) REE} &= (0,048 \times w) + 3,653 \\ \text{Muži: (> 60 let) REE} &= (0,049 \times w) + 2,459 \end{aligned}$$

Schofieldova rovnice pro ženy:

$$\begin{aligned} \text{Ženy: (18 – 29 let) REE} &= (0,062 \times w + 2,036) \times 239 \\ \text{Ženy: (30 – 59 let) REE} &= (0,034 \times w + 3,538) \times 239 \\ \text{Ženy: (\geq 60 let) REE} &= (0,038 \times w + 2,755) \times 239 \end{aligned}$$

kde REE je klidový energetický výdej v kcal/den a w je tělesná hmotnost v kilogramech (Pinheiro Volp et al. 2011).

3.3.2.4.2.7 FAO/WHO/UNU rovnice

Rovnice z roku 1985 vznikla spoluprací tří organizací. První organizací je Organizace pro výživu a zemědělství (Food and Agriculture Organization of the United Nations), zkráceně FAO. Druhou organizací je Světová zdravotnická organizace (World Health Organization), ve zkratce WHO a poslední organizací je Univerzita OSN (United Nations University) se zkratkou UNU. Analýzy se zúčastnilo 11 000 zdravých jedinců obou pohlaví a všech věkových kategorií (World Health Organization 1985).

Rovnice pro muže podle věkových kategorií:

$$\begin{aligned} \text{Muži: (0 – 3 let) BMR} &= (60,9 \times w) - 54 \\ \text{Muži: (3 – 10 let) BMR} &= (22,7 \times w) + 495 \\ \text{Muži: (10 – 18 let) BMR} &= (17,5 \times w) + 651 \\ \text{Muži: (18 – 30 let) BMR} &= (15,3 \times w) + 679 \\ \text{Muži: (30 – 60 let) BMR} &= (11,6 \times w) + 879 \\ \text{Muži: (> 60 let) BMR} &= (13,5 \times w) + 487 \end{aligned}$$

Rovnice pro ženy podle věkových kategorií:

$$\begin{aligned} \text{Ženy: (0 – 3 let) BMR} &= (61,0 \times w) - 51 \\ \text{Ženy: (3 – 10 let) BMR} &= (22,5 \times w) + 499 \\ \text{Ženy: (10 – 18 let) BMR} &= (12,2 \times w) + 746 \\ \text{Ženy: (18 – 30 let) BMR} &= (14,7 \times w) + 496 \\ \text{Ženy: (30 – 60 let) BMR} &= (8,7 \times w) + 829 \\ \text{Ženy: (> 60 let) BMR} &= (10,5 \times w) + 596 \end{aligned}$$

kde BMR je hodnota bazálního metabolismu v kJ/den a w je tělesná hmotnost v kilogramech (World Health Organization 1985).

Při dané tělesné výšce se BMR liší u jedinců, kteří mají extrémní hodnoty tělesné hmotnosti od jedinců se středními hodnotami tělesné hmotnosti. A to přibližně o méně než 10 %. Naopak jedinci se stejnou tělesnou hmotností se mohou lišit v tělesné výšce, a tedy i v BMI. Tyto možnosti v přijatelném rozmezí tělesné hmotnosti a výšky nemají žádný význam u mužů a u žen pouze malý význam. Výjimku tu tvoří staří lidé (World Health Organization 1985).

Rovnice pro muže se dvěma proměnnými rozdělené podle věkových kategorií:

$$\begin{aligned} \text{Muži: (10 – 18 let) BMR} &= (69,4 \times w) + (322,2 \times s) + 2392 \\ \text{Muži: (18 – 30 let) BMR} &= (64,4 \times w) - (113,0 \times s) + 3000 \\ \text{Muži: (30 – 60 let) BMR} &= (47,2 \times w) + (66,9 \times s) + 3769 \\ \text{Muži: (> 60 let) BMR} &= (36,8 \times w) + (4719,5 \times s) - 4481 \end{aligned}$$

Rovnice pro ženy se dvěma proměnnými rozdělené podle věkových kategorií:

$$\begin{aligned} \text{Ženy: (10 – 18 let) BMR} &= (30,9 \times w) + (2016,6 \times s) + 907 \\ \text{Ženy: (18 – 30 let) BMR} &= (55,6 \times w) + (1397,4 \times s) + 146 \\ \text{Ženy: (30 – 60 let) BMR} &= (36,4 \times w) - (104,6 \times s) + 3619 \\ \text{Ženy: (> 60 let) BMR} &= (38,5 \times w) + (2665,2 \times s) - 1264 \end{aligned}$$

kde BMR je hodnota bazálního metabolismu v kJ/den a w je tělesná hmotnost v kilogramech (World Health Organization 1985).

3.3.2.4.2.8 Owenova rovnice

Jedná se o rovnici ze dvou různých studií. První studie je z roku 1986. Analýzy se zúčastnilo 44 zdravých štíhlých i obézních žen a z celkového počtu žen bylo 8 trénovaných sportovkyň. Věkové rozmezí u žen bylo od 18 do 65 let. Tělesná hmotnost se pohybovala v rozmezí od 43 do 143 kg a tělesná výška od 150 do 180 cm. Všechny ženy byly bez onemocnění a nebraly žádné léky (Owen et al. 1986).

Owenova rovnice pro sportovkyně:

$$\text{Ženy: RMR} = 795 + (7,18 \times w)$$

kde RMR je klidová metabolická rychlost v kcal/den, w je tělesná hmotnost v kilogramech (Owen et al. 1986).

Owenova rovnice pro nesportovkyně:

$$\text{Ženy: RMR} = 50,4 + (21,1 \times w)$$

kde RMR je klidová metabolická rychlost v kcal/den, w je tělesná hmotnost v kilogramech (Owen et al. 1986).

Druhá rovnice vychází ze studie z roku 1987 a je určena pro sportující muže. Analýzy se zúčastnilo 60 štíhlých i obézních jedinců. Věkové rozmezí u těchto mužů bylo od 18 do 82 let. Rozmezí jejich tělesné hmotnosti bylo od 60 do 171 kg a výškové rozmezí od 163 do 188 cm. Z analýzy byli vyloučeni profesionální a trénovaní sportovci (Owen et al. 1987).

Rovnice pro sportující muže:

$$\text{Muži: RMR} = 879 + (10,2 \times w)$$

kde RMR je klidová metabolická rychlost v kcal/den, w je tělesná hmotnost v kilogramech (Owen et al. 1987).

3.3.2.4.2.9 Ireton-Jonesova rovnice

Ireton-Jonesovy rovnice pochází ze dvou studií. První studie je z roku 1989 a vychází z ní predikční rovnice pro akutně nemocné obézní jedince, kteří dýchají samovolně, tj. bez pomoci ventilačních přístrojů. U této rovnice nejsou známé počty jedinců zúčastněných při analýze a ani jejich antropometrické údaje (Ireton-Jones 1989).

Ireton-Jonesova rovnice pro pacienty se spontánním dýcháním:

$$\text{BMR} = 629 - (11 \times a) + (25 \times w) - (609 \times o)$$

kde BMR je bazální metabolismus v kcal/den, a je věk v letech, w je tělesná hmotnost v kilogramech, o je obezita nad BMI 25 kg/m² (o = 0, jedinec s normální hmotností; o = 1, obézní jedinec) (Ireton-Jones 1989).

Z dat druhé studie od Ireton-Jonesna a Jonesna z roku 2002 vychází rovnice pro pacienty dýchající pomocí ventilačních přístrojů. Tato rovnice byla již publikována v předchozí studii od Ireton-Jonesa z roku 1989. Rovnice z této studie byla nahodnocena oproti měření pomocí nepřímé kalorimetrie, a proto novější studie z roku 2002 má upravenou verzi původní rovnice pro pacienty závislé na ventilačních přístrojích tak, aby odhadované BMR nebylo větší než naměřené BMR. Analýzy se zúčastnilo 300 hospitalizovaných pacientů, kteří měli diagnózu popálení nebo trauma. Tento počet jedinců byl rozdělen do dvou skupin. V první skupině bylo 34 spontánně dýchajících pacientů a 65 pacientů závislých na ventilačních přístrojích. Ve druhé skupině bylo 66 spontánně dýchajících pacientů a 135 pacientů závislých na ventilačních přístrojích. U pacientů závislých na ventilačním přístroji

jsou energetické výdaje významně vyšší než u pacientů, kteří dýchají bez pomoci ventilačních přístrojů a z tohoto důvodu byly vytvořeny tyto rovnice (Ireton-Jones & Jones 2002).

Opravená Ireton-Jonesova rovnice pro jedince s ventilačními přístroji:

$$\text{BMR} = 1784 - (11 \times a) + (5 \times w) + (244 \times g) + (239 \times t) + (804 \times b)$$

kde BMR je hodnota bazálního metabolismu v kcal/den, a je věk v letech, w je tělesná hmotnost v kilogramech, g je pohlaví (g = 0 pro ženu; g = 1 pro muže), t je diagnostika traumatu (t = 0, nepřítomné; t = 1, přítomné), b je diagnostika popálení (b = 0, nepřítomné; b = 1, přítomné) (Ireton-Jones & Jones 2002).

3.3.2.4.2.10 Fredrixova rovnice

Rovnice je z roku 1990. Studie se zúčastnilo 40 zdravých starších jedinců obou pohlaví ve věku od 51 do 82 let z Maastrichtu. Z toho 18 mužů a 22 žen. Byli vynecháni jedinci s nemocemi, které by mohly ovlivnit analýzu (např. kardiovaskulární onemocnění, onemocnění štítné žlázy, vysoký krevní tlak, anémie aj.). U mužů byl průměrný věk 63 let a průměrná tělesná hmotnost 81,1 kg. U žen byl průměrný věk 66 let a průměrná tělesná hmotnost 64 kg (Fredrix et al. 1990).

Fredrixova rovnice:

$$\text{RMR} = 1641 + (10,7 \times w) - (9,0 \times a) - (203 \times g)$$

kde RMR je klidová metabolická rychlost v kcal/den, w je tělesná hmotnost v kilogramech, a je věk v letech a g je pohlaví (g = 0 pro ženu; g = 1 pro muže) (Fredrix et al. 1990).

3.3.2.4.2.11 EU rovnice

Rovnice z roku 1993 byla vytvořena Evropskou unií (EU – European Union), konkrétně The Scientific Committee on Food. Rovnice s jednou proměnou (tělesná hmotnost) jsou rozděleny do 7 skupin podle věkových kategorií (Commission of the European communities 1993).

EU rovnice s jednou proměnou pro muže:

$$\begin{aligned} \text{Muži: } (< 3 \text{ roky}) \text{ BMR} &= (0,249 \times w) - 0,13 \\ \text{Muži: } (3 - 9 \text{ let}) \text{ BMR} &= (0,095 \times w) + 2,11 \\ \text{Muži: } (10 - 17 \text{ let}) \text{ BMR} &= (0,074 \times w) + 2,75 \\ \text{Muži: } (18 - 29 \text{ let}) \text{ BMR} &= (0,064 \times w) + 2,84 \\ \text{Muži: } (30 - 59 \text{ let}) \text{ BMR} &= (0,0485 \times w) + 3,67 \\ \text{Muži: } (60 - 74 \text{ let}) \text{ BMR} &= (0,0499 \times w) + 2,93 \\ \text{Muži: } (\geq 75 \text{ let}) \text{ BMR} &= (0,035 \times w) + 3,43 \end{aligned}$$

EU rovnice s jednou proměnou pro ženy:

$$\begin{aligned} \text{Ženy: } (< 3 \text{ roky}) \text{ BMR} &= (0,244 \times w) - 0,13 \\ \text{Ženy: } (3 - 9 \text{ let}) \text{ BMR} &= (0,085 \times w) + 2,03 \\ \text{Ženy: } (10 - 17 \text{ let}) \text{ BMR} &= (0,056 \times w) + 2,90 \\ \text{Ženy: } (18 - 29 \text{ let}) \text{ BMR} &= (0,0615 \times w) + 2,08 \\ \text{Ženy: } (30 - 59 \text{ let}) \text{ BMR} &= (0,0364 \times w) + 3,47 \\ \text{Ženy: } (60 - 74 \text{ let}) \text{ BMR} &= (0,0386 \times w) + 2,88 \\ \text{Ženy: } (\geq 75 \text{ let}) \text{ BMR} &= (0,0410 \times w) + 2,61 \end{aligned}$$

kde BMR je hodnota bazálního metabolismu v kcal/den, w je tělesná hmotnost v kilogramech (Commission of the European communities 1993).

Dále jsou rovnice se dvěma proměnnými (tělesná hmotnost a výška), které jsou pouze pro děti a adolescenty. U dětí jsou energetické požadavky rozdílné od požadavků dospělých jedinců, a to kvůli růstu a vývinu organismu. V praxi je jednoduché používat pro výpočet tělesnou hmotnost, ačkoli tělesná výška snižuje variabilitu předpokládaných hodnot BMR u dětí (Commission of the European communities 1993).

EU rovnice s dvěma proměnnými pro děti a adolescenty mužského pohlaví:

$$\begin{aligned} \text{Muži: } (< 3 \text{ roky}) \text{ BMR} &= (0,0007 \times w) + (6,35 \times s) - 2,58 \\ \text{Muži: } (3 - 9 \text{ let}) \text{ BMR} &= (0,082 \times w) + (0,55 \times s) + 1,74 \\ \text{Muži: } (10 - 17 \text{ let}) \text{ BMR} &= (0,068 \times w) + (0,57 \times s) + 2,16 \end{aligned}$$

EU rovnice s dvěma proměnnými pro děti a adolescenty ženského pohlaví:

$$\begin{aligned} \text{Ženy: } (< 3 \text{ roky}) \text{ BMR} &= (0,068 \times w) + (4,28 \times s) - 1,73 \\ \text{Ženy: } (3 - 9 \text{ let}) \text{ BMR} &= (0,071 \times w) + (0,68 \times s) + 1,55 \\ \text{Ženy: } (10 - 17 \text{ let}) \text{ BMR} &= (0,035 \times w) + (1,95 \times s) + 0,84 \end{aligned}$$

kde BMR je hodnota bazálního metabolismu v kcal/den, w je tělesná hmotnost v kilogramech, s je výška v centimetrech (Commission of the European communities 1993).

3.3.2.4.2.12 De Lorenzova rovnice pro sportovce

De Lorenzova rovnice pro sportující muže vznikla v roce 1999. Při tvorbě této rovnice se účastnilo 51 mužských jedinců, kteří cvičí pravidelně alespoň tři hodiny denně. Z těchto účastníků se věnovalo 22 jedinců vodnímu pólu, 12 jedinců judu a 17 jedinců karate (De Lorenzo et al. 1999).

De Lorenzova rovnice pro sportující muže:

$$\text{Muži: RMR} = -857 + (9 \times w) + (11,7 \times s)$$

kde RMR je klidová metabolická rychlost v kcal/den, w je hmotnost v kilogramech a s je výška v centimetrech (De Lorenzo et al. 1999).

3.3.2.4.2.13 De Lorenzova rovnice pro Italskou populaci

Studie, ze které vychází tato rovnice z roku 2001, se zabývá italskou populací, kdy se analýzy zúčastnilo 320 jedinců. Z toho 127 mužů ve věku od 18 do 59 let a 193 žen ve věku od 19 do 59 let. Výška mužů byla v rozmezí od 158 do 197 cm, tělesná hmotnost od 60,7 do 122,8 kg a BMI od 19,2 do 39,4 kg/m². U žen se výška pohybovala v rozmezí od 139,5 do 180 cm, tělesná hmotnost od 44,4 do 106,4 kg a BMI od 18,6 do 39,6 kg/m². U obou pohlaví se nenacházel jedinec, který by přijímal léky anebo měl onemocnění, která by mohla ovlivnit hodnotu klidového metabolismu (De Lorenzo et al. 2001).

$$\begin{aligned} \text{Muži: RMR} &= (46,322 \times w) + (15,744 \times s) - (16,66 \times a) + 944 \\ \text{Ženy: RMR} &= (53,284 \times w) + (20,957 \times s) - (23,859 \times a) + 487 \end{aligned}$$

kde RMR je klidová metabolická rychlost v kcal/den, w je hmotnost v kilogramech, s je výška v centimetrech, a je věk v letech (De Lorenzo et al. 2001).

Studie De Lorenza potvrdila předchozí data z literatury (viz Shofieldova rovnice), že Italové mají relativně vyšší RMR ve srovnání s jinými populacemi. Tento vyšší RMR by měl být způsobený rozdílným složením těla (FFM, FM) u této populace (De Lorenzo et al. 2001).

3.3.2.4.2.14 Gougeonova rovnice

Rovnice z roku 2002 určená pro jedince s diabetem II. typu. Studie se zúčastnilo 65 obézních jedinců s diabetem II. typu ve věku od 34 do 72 let. Z toho 25 mužů a 40 žen. BMI u obou pohlaví bylo průměrně 37 kg/m². U mužů byla průměrná tělesná hmotnost 111 kg. Ženy měly průměrnou tělesnou hmotnost 97 kg (Gougeon et al. 2002).

Rovnice je stejná pro obě pohlaví:

$$\text{REE} = 375 + (85 \times w) - (48 \times \text{FM}) + (63 \times \text{FPG})$$

kde BMR je hodnota bazálního metabolismu v kcal/den, w je hmotnost v kilogramech, FM (fat mass) je obsah tukové tělesné hmoty v kilogramech, FPG (fasting plasma glucose) je obsah glukózy v plazmě na lačno v milimolech (Gougeon et al. 2002).

3.3.2.4.2.15 Rovnice Lührmanové

Rovnice z roku 2002 určená pro použití u starších jedinců. Analýzy se zúčastnilo 286 jedinců, z toho 107 mužů a 179 žen. U mužů byl průměrný věk 66,9 let, průměrná tělesná hmotnost 78,8 kg a průměrná výška 173 cm. U žen byl průměrný věk 67,8 let, průměrná tělesná hmotnost 67,5 kg a průměrná výška 159,9 cm (Lührmann et al. 2002).

Rovnice:

$$\text{RMR} = 3169 + (50 \times w) - (15,3 \times a) + (746 \times g)$$

kde RMR je klidová metabolická rychlost v kJ/den, w je tělesná hmotnost v kilogramech, a je věk v letech a g je pohlaví (g = 0 pro ženu; g = 1 pro muže) (Lührmann et al. 2002).

3.3.2.4.2.16 Müllerova rovnice

Německá rovnice byla vytvořena v roce 2004. Data pro tvorbu této rovnice vychází z měření celkem 1046 jedinců. Z toho 388 mužů a 658 žen. Obě pohlaví měli v průměru věk 44,2 let, tělesnou hmotnost průměrně 78,0 kg, průměrnou výšku 169,9 cm a průměrné BMI 27,1 kg/m² (Müller et al. 2004).

Jedinci jsou rozděleni do čtyř skupin podle BMI a každá skupina má svoji vlastní rovnici:

BMI ≤ 18,5: (58 jedinců z celkového počtu)

$$\text{REE} = (0,07122 \times w) - (0,02149 \times a) + (0,82 \times g) + 0,731$$

BMI > 18,5 – 25: (444 jedinců z celkového počtu)

$$\text{REE} = (0,02219 \times w) + (0,02118 \times s) + (0,884 \times g) - (0,01191 \times a) + 1,233$$

BMI > 25 – < 30: (266 jedinců z celkového počtu)

$$\text{REE} = (0,04507 \times w) + (1,006 \times g) - (0,01553 \times a) + 3,407$$

BMI ≥ 30: (278 jedinců z celkového počtu)

$$\text{REE} = (0,05 \times w) + (1,103 \times g) - (0,01586 \times a) + 2,924$$

kde REE je klidový energetický výdej v MJ/den, w je tělesná hmotnost v kilogramech, s je výška v centimetrech, a je věk v letech, g je pohlaví (g = 0 pro ženy, g = 1 pro muže) (Müller et al. 2004).

3.3.2.4.2.17 Huangova rovnice

Tato rovnice je z roku 2004 a je určena pro těžce obézní jedince s diabetem nebo bez diabetu. Celkem se této studii účastnilo 1038 jedinců. Mužů bylo 279 a z toho bylo 61 diabetiků. U mužských jedinců s diabetem byl průměrný věk 51,9 let, průměrná tělesná hmotnost 148,6 kg a průměrná výška 175,7 cm. U mužů, kteří neměli diabetes, byl průměrný věk 43,9 let, průměrná tělesná hmotnost 146,4 kg a průměrná výška 176,1 cm. Žen bylo v této studii 759 a z toho 81 diabetiček. U žen s diabetem byl průměrný věk 51,6 let, průměrná tělesná hmotnost 123,1 kg a průměrná výška 161,0 cm. U žen, které nemají diabetes je průměrný věk 43,7 let, průměrná tělesná hmotnost 121,2 kg a průměrná výška 162,3 cm (Huang et al. 2004).

Huangova rovnice bez rozlišení diabetiků:

$$\text{RMR} = (10,158 \times w) + (3,933 \times s) - (1,44 \times a) + (273,821 \times g) + 60,655$$

kde RMR je klidová metabolická rychlost v kcal/den, a je věk v letech, w je tělesná hmotnost v kilogramech, s je výška v centimetrech, g je pohlaví (g = 0 pro ženu; g = 1 pro muže) (Huang et al. 2004).

Huangova rovnice s rozlišením diabetiků od jedinců, kteří nemají diabetes:

$$\text{RMR} = 71,767 - (2,337 \times a) + (257,293 \times g) + (9,996 \times w) + (4,132 \times s) + (145,959 \times dm)$$

kde RMR je klidová metabolická rychlost v kcal/den, a je věk v letech, w je tělesná hmotnost v kilogramech, s je výška v centimetrech, g je pohlaví (g = 0 pro ženu; g = 1 pro muže) a dm je diabetes mellitus (dm = 0 pro jedince bez diabetu, dm = 1 pro jedince s diabetem) (Huang et al. 2004).

3.3.2.4.2.18 Oxfordská rovnice (Henryho rovnice)

Oxfordská rovnice z roku 2005 vznikla na základě Oxfordské databáze (Henry 2005).

Oxfordská databáze je soubor dat z měření BMR, které pochází ze 174 různých studií prováděných v letech 1914 až 2001. Databáze obsahuje 13 910 měření BMR u mužů, žen i dětí. Každé měření je doplněno informacemi o etnicitě, pohlaví, věku, tělesné hmotnosti a výšce měřených jedinců. Dále je také znám rok vydání publikace a informace, zda byl daný jedinec měřen pomocí kalorimetrie s otevřeným nebo uzavřeným oběhem. Podstatou této databáze je tedy využití různých druhů dat pro vznik nových predikčních rovnic, které se dají aplikovat na různé skupiny lidí (Cole & Henry 2005).

Pro tuto rovnici bylo vybráno 10 552 měření BMR z Oxfordské databáze. Z toho 5 794 mužů a 4 702 žen. Z těchto hodnot byli vyloučeni jedinci z Itálie, kteří mají vyšší BMR než ostatní jedinci (již bylo vysvětleno u Schofieldovy rovnice). Naopak v databázi bylo velké zastoupení jedinců z tropických oblastí a to 4018 jedinců (Henry 2005).

Dle Henryho (2005) se Oxfordské rovnice dělí podle pohlaví a podle věkových kategorií (0-2 roky, 3-9 let, 10-17 let, 18-29 let, 30-59 let a nad 60 let):

$$\begin{aligned} \text{Muži: (0 – 2 roky) BMR} &= (28,2 \times w) + (859 \times s) - 371 \\ \text{Muži: (3 – 9 let) BMR} &= (15,1 \times w) + (74,2 \times s) + 306 \\ \text{Muži: (10 – 17 let) BMR} &= (15,6 \times w) + (266 \times s) + 299 \\ \text{Muži: (18 – 29 let) BMR} &= (14,4 \times w) + (313 \times s) + 113 \\ \text{Muži: (30 – 59 let) BMR} &= (11,4 \times w) + (541 \times s) - 137 \\ \text{Muži: } (\geq 60 \text{ let) BMR} &= (11,4 \times w) + (541 \times s) - 256 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Ženy: (0 – 2 roky) BMR} &= (30,4 \times w) + (703 \times s) - 287 \\ \text{Ženy: (3 – 9 let) BMR} &= (15,9 \times w) + (210 \times s) + 349 \\ \text{Ženy: (10 – 17 let) BMR} &= (9,40 \times w) + (249 \times s) + 462 \\ \text{Ženy: (18 – 29 let) BMR} &= (10,4 \times w) + (615 \times s) - 282 \\ \text{Ženy: (30 – 59 let) BMR} &= (8,18 \times w) + (502 \times s) - 11,6 \\ \text{Ženy: } (\geq 60 \text{ let) BMR} &= (8,52 \times w) + (421 \times s) + 10,7 \end{aligned}$$

kde BMR je bazální metabolická rychlost v kcal/den, w je tělesná hmotnost v kilogramech a s je výška v metrech.

3.3.2.4.2.19 Livingstonova rovnice

Livingstonova rovnice z roku 2005 vychází z měření, kterého se zúčastnilo 299 mužů a 356 žen. Věková hranice u mužů byla od 18 do 95 let s tělesnou hmotností od 33 do 278 kg. U žen se věková hranice pohybovala od 18 do 77 let a tělesná hmotnost od 36 do 261 kg. Rovnice je určena pro jedince s normální hmotností i pro obézní jedince (Livingston & Kohlstadt 2005).

Livingstonova rovnice počítá:

$$\begin{aligned} \text{Muži: REE} &= (293 \times w^{0,4330}) - (5,92 \times a) \\ \text{Ženy: REE} &= (248 \times w^{0,43656}) - (5,09 \times a) \end{aligned}$$

kde REE je klidový energetický výdej v kcal/min, w je hmotnost v kilogramech, a je věk v letech (Livingston & Kohlstadt 2005).

3.3.2.4.2.20 De Luisova rovnice

Rovnice z roku 2006 je určena pro obezní španělské jedince. Analýzy se zúčastnilo 200 jedinců, z toho 60 mužů a 140 žen. Věkové rozmezí u mužů bylo mezi 30 až 60 lety, BMI v rozmezí od 30 do 41 kg/m². U žen byl věk od 29 do 62 let a BMI od 30 do 39 kg/m² (de Luis et al. 2006).

De Luisova rovnice se počítá zvlášť pro muže a zvlášť pro ženy:

$$\text{Muži: REE} = 58,6 + (6,1 \times w) - (1023,7 \times s) - (9,5 \times a)$$

$$\text{Ženy: REE} = 1272,5 + (9,8 \times w) - (61,6 \times s) - (8,2 \times a)$$

kde REE je klidový energetický výdej v kcal/den, w je hmotnost v kilogramech, s je výška v metrech, a je věk v letech (de Luis et al. 2006).

Do studie byli zařazeni pacienti, kteří po dobu dvou týdnů měli stabilizovanou tělesnou hmotnost. Dále byli z analýzy vyloučeni jedinci s anamnézou kardiovaskulárních onemocnění nebo po cévní mozkové příhodě během posledních 36 měsíců (de Luis et al. 2006).

3.3.2.4.2.21 Johnstoneova rovnice

Rovnice byla vytvořena v roce 2006. Zúčastnilo se 150 skotských jedinců, z toho 43 mužů a 107 žen ve věku od 21 do 64 let a s BMI od 16,7 do 49,3 kg/m². Muži měli průměrnou tělesnou hmotnost 84,79 kg a průměrnou výšku 176 cm. U žen byla průměrná tělesná hmotnost 69,25 kg a průměrná výška 163 cm (Johnstone et al. 2006).

Johnstonova rovnice:

$$\text{BMR} = 1613 + (31,6 \times \text{FM}) + (90,2 \times \text{FFM}) - (12,2 \times a)$$

kde BMR je bazální metabolická rychlost v kcal/den, FFM je beztuková tělesná hmota v kilogramech, FM je tuková hmota v kilogramech, a je věk v letech (Johnstone et al. 2006).

3.3.2.4.2.22 Korthova rovnice

Tato rovnice pochází z roku 2007. Studie se zúčastnilo 104 zdravých jedinců, z tohoto celkového počtu bylo 50 mužů a 54 žen. Jedinci zahrnuti do studie museli mít normální funkci štítné žlázy a u žen se navíc jednalo o ženy nekojící a netěhotné. Věkové rozmezí u mužů bylo od 49 do 82 let a u žen od 20 do 66 let. Rozmezí tělesné hmotnosti bylo u mužů od 57 do 117 kg a u žen od 49 do 134 kg. Tělesná výška u mužů byla od 166 do 196 cm a u žen od 153 do 181 cm (Korth et al. 2007).

Výpočet Korthovy rovnice:

$$\text{REE} = (41,5 \times w) - (19,1 \times a) + (35 \times s) + (1107,4 \times g) - 1731,2$$

kde REE je klidový energetický výdej v kcal/den, w je hmotnost v kilogramech, s je výška v centimetrech, a je věk v letech a g je pohlaví (g = 0 pro ženu; g = 1 pro muže) (Korth et al. 2007).

3.3.2.4.2.23 Lazzerova rovnice:

Lazzerova rovnice vychází ze dvou studií z roku 2007. První studie se věnovala predikční rovnici pro těžce obézní italské muže. Studie se zúčastnilo 164 obézních mužů, kteří byli rozděleni do 4 skupin podle hodnot BMI. První skupina měla BMI od 35 do 39,9 kg/m² a bylo v ní 47 mužů. Jejich průměrný věk byl 45,5 let, průměrná tělesná hmotnost 111,6 kg a průměrná tělesná výška 173 cm. V druhé skupině bylo 43 mužů s BMI od 40 do 44,9 kg/m². V průměru byl jejich věk 51,6 let, tělesná hmotnost 125,7 kg a výška 173 cm. Třetí skupina zahrnovala 38 jedinců s BMI od 45 do 49,9 kg/m². Jejich průměrný věk byl 44,8 let, průměrná tělesná hmotnost 141,2 kg a průměrná tělesná výška 172 cm. V poslední skupině bylo 36 jedinců s BMI nad 50 kg/m². Průměrný věk u této skupiny byl 40,7 let, průměrná tělesná hmotnost 168 kg a průměrná tělesná výška 175 cm (Lazzer et al. 2007).

Lazzerova rovnice pro muže:

$$REE = (0,048 \times w) + (4,655 \times s) - (0,020 \times a) - 3,605$$

kde REE je klidový energetický výdej v MJ/den, w je tělesná hmotnost v kilogramech, s je výška v centimetrech, a je věk v letech (Lazzer et al. 2007).

Druhá studie se zabývá predikční rovnicí pro italské ženy s těžkou obezitou. Studie se zúčastnilo 182 žen, které byly rozděleny do 3 skupin podle hodnot BMI. V první skupině bylo 107 žen s BMI od 40 do 45 kg/m², které měly průměrný věk 44,2 let, průměrnou tělesnou hmotnost 106,6 kg a průměrnou výšku 158 cm. Druhou skupinu tvořilo 43 žen s BMI od 45 do 50 kg/m². Jejich průměrný věk byl 43,1 let, průměrná tělesná hmotnost 120,6 kg a průměrná výška 160 cm. V poslední skupině bylo 32 žen s BMI nad 50 kg/m². Jejich průměrný věk byl 45,8 let, průměrná tělesná hmotnost 133,9 kg a průměrná výška 157 cm (Lazzer et al. 2007).

Lazzerova rovnice pro ženy:

$$REE = (0,042 \times w) + (3,619 \times s) - 2,678$$

kde REE je klidový energetický výdej v MJ/den, w je tělesná hmotnost v kilogramech, s je výška v centimetrech, a je věk v letech (Lazzer et al. 2007).

3.3.2.4.2.24 Hronkova rovnice

Rovnice z roku 2009 je určena pro těhotné ženy. Analýzy se zúčastnilo 152 zdravých, těhotných žen z České republiky. Tyto ženy byly rozděleny do dvou skupin (Hronek et al. 2009).

U první skupiny s 31 těhotnými ženami se měřily REE i antropometrické údaje (tělesná hmotnost, tělesný tuk, povrch těla a BMI index) čtyřikrát během těhotenství. První měření bylo v době od početí do 20. týdne těhotenství, kdy jsou těhotenské změny a růst plodu minimální. Druhé měření bylo v období od 21. týdne do 29. týdne těhotenství, kdy se zvětší

tukové zásoby a plod začíná růst. Třetí měření probíhalo mezi 30. až 36. týdnem těhotenství a poslední měření před porodem v období od 37. do 39. týdne. V den porodu byl u žen průměrný věk 29,2 let, jejich průměrná výška 166 cm a jejich průměrný přírůstek hmotnosti za těhotenství 14,4 kg. U narozených dětí byla průměrná tělesná váha 3281 g a průměrná délka 50,4 cm (Hronek et al. 2009).

Druhá skupina žen byla ověřovací a bylo zde 121 těhotných žen, které byly vyšetřeny stejně jako ženy v první skupině, avšak pouze jednou během různých období těhotenství. Získané hodnoty od těchto žen byly použity k posouzení platnosti rovnice. V den porodu byl u druhé skupiny žen průměrný věk 28,2 let, průměrná tělesná výška 167,4 cm a průměrný přírůstek hmotnosti během těhotenství 15,2 kg. U narozených dětí byla průměrná tělesná hmotnost 3355 g a průměrná délka 50,5 cm. Žádná z žen neužívala během těhotenství léky a nebyla u nich diagnostikována anémie, diabetes mellitus ani onemocnění štítné žlázy (Hronek et al. 2009).

$$REE = 346,43943 + (13,962564 \times w) + (2,700416 \times s) - (6,826376 \times a)$$

kde REE je klidový energetický výdej v kcal/den, w je tělesná hmotnost v kilogramech, s je výška v centimetrech, a je věk v letech (Hronek et al. 2009).

3.3.2.4.2.25 Frankefieldova rovnice

Rovnice z roku 2013 je určena pro jedince s obezitou, ale i bez obezity. Studie se zúčastnilo 337 jedinců, kteří byli rozděleni do 6 skupin podle hodnot BMI. První skupina s BMI do 20,0 kg/m² zahrnovala 20 jedinců, u kterých byl průměrný věk 36 let, průměrná tělesná hmotnost 51 kg a průměrná výška 165 cm. Skupina číslo dvě se skládala z 90 jedinců s BMI od 20,0 do 25,0 kg/m². U těchto jedinců byl průměrný věk 36 let, průměrná tělesná hmotnost 65 kg a průměrná výška 169 cm. Ve skupině číslo tři bylo 71 jedinců s BMI od 25,1 do 29,9 kg/m², u kterých byl průměrný věk 45 let, průměrná tělesná hmotnost 78 kg a průměrná výška 168 cm. Čtvrtá skupina byla zahrnovala 75 jedinců s BMI od 30,0 do 39,9 kg/m². Jejich průměrný věk byl 46 let, průměrná tělesná hmotnost 98 kg a průměrná výška 168 cm. V páté skupině bylo 53 jedinců s BMI od 40,0 do 49,9 kg/m². Průměrný věk u této skupiny byl 46 let, průměrná tělesná hmotnost byla 124 kg a průměrná výška 168 cm. V poslední skupině bylo 28 jedinců s BMI od 50,0 kg/m², u kterých byl průměrný věk 40 let, průměrná tělesná hmotnost 175 kg a průměrná výška 167 cm (Frankenfield 2013).

Frankefieldova rovnice pro obézní jedince:

$$RMR = (10 \times w) + (3 \times s) - (5 \times a) + (244 \times g) + 440$$

Frankefieldova rovnice pro neobézní jedince:

$$REE = (10 \times w) + (3 \times s) - (5 \times a) + (207 \times g) + 454$$

kde RMR je klidová metabolická rychlost v kcal/den, w je tělesná hmotnost v kilogramech, s je výška v centimetrech, a je věk v letech a g je pohlaví (g = 0 pro ženu; g = 1 pro muže) (Frankenfield 2013).

3.3.2.4.2.26 Ikedova rovnice

Ikedova rovnice z roku 2013 je určená pro diabetiky. Studie se účastnilo 68 jedinců s diabetem I. i II. typu z Japonska. Celkový počet mužských jedinců byl 39, z toho 4 muži s diabetem I. typu a 35 mužů s diabetem II. typu. U žen byl celkový počet 29, z toho 3 ženy s diabetem I. typu a 26 žen s diabetem II. typu. Věkové rozmezí u obou pohlaví bylo od 19 do 78 let. Tělesná hmotnost u jedinců se pohybovala od 34,6 do 113,6 kg. Výška u mužů byla průměrně 167,6 cm a u žen průměrně 152,9 cm. Průměrně bylo u obou pohlaví BMI 24 kg/m² (Ikeda et al. 2013).

Výpočet BEE pomocí Ikedovy rovnice:

$$BEE = (10 \times w) - (3 \times a) + (125 \times g) + 750$$

kde BEE je bazální energetický výdej v kcal/den, w je tělesná hmotnost v kilogramech, a je věk v letech, g je pohlaví (g = 0 pro ženu; g = 1 pro muže) (Ikeda et al. 2013).

3.3.2.4.2.27 Weijs-Kruizengova rovnice

Rovnice z roku 2016 je určená pro podvyživené jedince a jedince s normální hmotností, kteří se léčili s nemocí. Jednalo se o pacienty s diabetem, onemocněním plic, onkologickými, nefrologickými, gastroenterologickými a dalšími druhy onemocnění. Studie se zúčastnilo 513 jedinců, z toho 260 mužů a 253 žen. Z celkového počtu jedinců bylo 237 hospitalizovaných pacientů a 276 ambulantních pacientů. Pro vytvoření této rovnice byla použita pouze data jedinců s BMI pod 25 kg/m², a to konkrétně u 350 jedinců. Z toho 141 jedinců s BMI pod 18,5 kg/m², kdy jejich průměrný věk byl 51,3 let, jejich průměrná tělesná hmotnost 49,4 kg a průměrná výška 172 cm. U jedinců s BMI od 18,5 do 25 kg/m² byl průměrný věk 54,1 let, průměrná tělesná hmotnost 64,2 kg a průměrná výška 174 cm (Kruizenga et al. 2016).

Rovnice pro jedince s BMI pod 25 kg/m²:

$$REE = (11,355 \times w) + (7,224 \times s) - (4,649 \times a) + (135,265 \times g) - 137,475$$

kde REE je klidový energetický výdej v kcal/den, w je tělesná hmotnost v kilogramech, s je výška v centimetrech, a je věk v letech a g je pohlaví (g = 0 pro ženu; g = 1 pro muže) (Kruizenga et al. 2016).

3.3.2.4.2.28 NEQ rovnice

Rovnice z roku 2018 byla pojmenovaná jako NEQ (new equation – nová rovnice). Jedná se o rovnice vytvořené pro dospělé jedince s nadváhou a obezitou z Mexika. Studie, z které tato rovnice vychází, se zúčastnilo 410 jedinců, z toho 107 mužů a 303 žen. U obou pohlaví byl průměrný věk 39,1 let, průměrná tělesná hmotnost 81,4 kg a průměrná výška 160 cm (Orozco-Ruiz et al. 2018).

Rovnice je rozdělená pro každé pohlaví zvlášť:

$$\text{Muži: REE} = (12,114 \times w) - (6,541 \times a) + 1094,991$$

$$\text{Ženy: REE} = (12,114 \times w) - (6,541 \times a) + 835,952$$

kde REE je klidový energetický výdej v kcal/den, w je tělesná hmotnost v kilogramech, a je věk v letech (Orozco-Ruiz et al. 2018).

3.4 Srovnání nepřímé kalorimetrie a predikčních rovnic

Jak bylo uvedeno výše, existuje více metod pro zjišťování energetického výdeje u jedince nebo populace. Metody odhadu energetického výdeje jako jsou nepřímá kalorimetrie a metoda dvojité značené vody, mají vyšší přesnost než predikční rovnice. Predikční rovnice mají určitá omezení, ale jsou vhodná pro stanovení individuálních energetických požadavků. Hlavní výhody predikčních rovnic jsou, že se jedná o levné, rychlé a jednoduché způsoby zjišťování hodnoty bazálního metabolismu. Je však důležité, jestli jsou správně aplikované na daného jedince nebo populaci (Pinheiro Volp et al. 2011).

Predikční rovnice se používají jako alternativa ke kalorimetrii. Předchozí studie však zjistily, že predikční rovnice by mohly svými výsledky nadhodnocovat či podhodnocovat REE, stejně jako se to děje u nepřímé kalorimetrie. U predikčních rovnic je nevýhoda, že většina z nich je několik desítek let stará, což je příčina, proč se takové rovnice nedají použít v současnosti. Současné populace mají totiž odlišné biologické a metabolické charakteristiky než dřívější populace. Jedinci s různou hmotností mohou mít různá množství metabolicky aktivních tkání, což může různě ovlivnit odhad REE pomocí rovnic (Amaro-Gahete et al. 2018). V minulém století byly objevy značné nepřesnosti v predikčních rovnicích, převážně u studií, kde se kombinovalo více různých skupin populací s odlišnými charakteristikami. Jako např. zdraví a nemocní jedinci, jedinci štíhlí a obézní, jedinci z tropických oblastí a jedinci ze severských oblastí, jelikož právě tyto, ale i další faktory mohou ovlivnit hodnotu bazálního metabolismu. Kvůli tomu byly vytvořeny nové rovnice, které na tyto charakteristiky braly ohled a používají se dodnes. Jsou to hlavně rovnice zmíněné výše jako FAO/WHO/UNU, Schofieldova a Oxfordská rovnice. V roce 1985 byla přezkoumána Schofieldem do té doby existující rovnice, z kterých poté vznikly rovnice FAO/WHO/UNU a Schofieldovy rovnice. Kvůli nadhodnocení výsledků získaných pomocí Schofieldovy rovnice vytvořil Henry Oxfordskou rovnici z dat Oxfordské databáze, kde nezahrnul Italy, ale zahrnul více jedinců z tropů (Carpenter et al. 2015).

Původní Harris-Benedictova rovnice byla označena za nadhodnocenou ve srovnání s měřením u současné populace. A to z důvodu, že existují výrazné rozdíly mezi průměrnými hodnotami tělesné hmotnosti a věku jedinců z původní studie Harrise a Benedicta a u jedinců ze studie Mifflina. Průměrné hodnoty tělesné hmotnosti u Harris-Benedictovy studie byly mnohem nižší než hodnoty u Mifflinovy studie. Stejně tak průměrný věk byl u Harris-Benedictovy studie nižší než u Mifflina. Dále Harris-Benedictova sledovaná populace měla menší rozsah jedinců v různém věku a nezahrovala tedy všechny věkové skupiny jedinců. Právě z těchto důvodů Mifflinova studie vedla k vytvoření nejaktuálnější verze Harris-Benedictovy rovnice, která se od původní liší právě kvůli těmto odlišnostem v populacích začátkem a koncem 20. století (Mifflin et al. 1990).

Dle Frankfielda (2013) jsou rovnice Mifflin St. Jeorova a Livingstonova potvrzeny jako jedny z nejpřesnějších metod pro odhad energetické potřeby u normální zdravé populace. Tyto dvě rovnice měli výrazně vyšší hodnoty než WHO/FAO/UNU, Oxfordská a Harris-Benedictova rovnice. U obézních jedinců je přesnost těchto dvou rovnic nižší a došlo zde k největšímu zkreslení a ztrátě přesnosti.

Dle Kruiženga et al. (2016) lze u obézních pacientů s BMI nad 30 kg/m² použít původní Harris-Benedictovu rovnici. Rovnice WHO/UNU/FAO se zase doporučuje u pacientů do BMI 30 kg/m². U obézních jedinců by se měla upřednostňovat měření pomocí nepřímé kalorimetrie, pokud je proveditelné a dostupné.

U nových rovnic je potřeba čas, aby se mohly ověřit a stanovit míry užitečnosti pro danou skupinu jedinců. Aby rovnice byly využitelné, musí mít míru maximální chyby pod 30 % a/nebo zvýšit míru přesnosti nad 75 %. Nejčastěji se ověřují právě nepřímou kalorimetrií (Frankenfield 2013).

Nepřímá kalorimetrie je zlatým standardem pro stanovení REE a BMR. Co se týče jejích výhod, tak tady můžeme uvést, že se jedná o neinvazivní metodu, která je přiměřeně přesná a je vysoce reprodukovatelná (Pinheiro Volp et al. 2011). Mezi její nevýhody se řadí omezené použití v klinické praxi, protože přístroje na měření nejsou přenosné. Analyzátoři plynů mají vysoké náklady a jsou zde přísné podmínky pro vyhodnocování měření (Amaro-Gahete et al. 2018). Kromě toho je potřeba zaškolený personál, který musí mít odborné znalosti pro správné použití přístroje (Carpenter et al. 2015). Navíc tato metoda není vhodná v případech, kdy může nastat únik kyslíku nebo oxidu uhličitého z obvodu. K tomu může dojít například v důsledku onemocnění, kdy je potřeba zavést trubici do hrudníku při bronchopleurální píštěli nebo v důsledku terapeutických zásahů (např. stoupající konečný expirační tlak nebo při jatrní podpůrné terapii) (Rattanachaiwong & Singer 2019).

U přímé kalorimetrie je výhodou přímé měření produkovaného tepla a kontrola nad podmínkami a vlivy prostředí (Lam & Ravussin 2016). Oproti tomu její nevýhodou je poměrně vysoká cena a také to, že je dost komplikovaná na provedení, jelikož sledovaný jedinec musí být 24 a více hodin zavřený a pod dohledem, což této metodě nepřidává na použitelnosti v dnešní době (Pinheiro Volp et al. 2011).

Metodu dvojité značené vody můžeme považovat za zlatý standart při měření TEE. Její výhodou je, že se může provádět během každodenních aktivit. Nevýhodou jsou ale vysoké náklady, nutnost sofistikovaného vybavení a proškoleného personálu. Metoda neposkytuje žádné konkrétní podrobnosti o fyzické aktivitě (Ndahimana & Kim 2017).

4 Závěr

- Energetická bilance organismu představuje rovnováhu mezi příjmem a výdejem energie. Pro zjištění příjmu jedince lze využít metod založených na záznamech stravy či dotazníkovém šetření u jedince či populace. Nevýhodou zde mohou být například nepřesnosti při shromažďování dat či záznamy, které nemusí představovat obvyklou stravu jedince. Moderní technologie dnešní doby přinesly jednodušší metody na zaznamenávání stravy. Jsou to metody, které využívají chytré hodinky, mobilní telefony, ale i různé kamery s aplikací zaznamenávající příjem stravy.
- Celkový energetický výdej představuje kompletní energii, kterou daný jedinec spotřebuje za 1 den. Mezi základní komponenty řadíme: bazální metabolismus, aktivní energetický výdej a termický efekt potravy. Bazální metabolismus tvoří až 60 % celkového energetického výdeje a se svými složitějšími podmínkami pro měření se často nahrazuje klidovým metabolismem. U něho jde tedy o energetický výdej pro udržení normálních funkcí organismu v klidových podmínkách. Bývá vyšší než hodnota bazálního metabolismu, protože je ovlivněn nedávným příjmem potravy a tělesnou aktivitou. Tyto hodnoty lze měřit pomocí přímé/nepřímé kalorimetrie a odhadovat pomocí predikčních rovnic. Termický efekt potravy je energie vynaložená na zpracování a stravení přijaté potravy a lze měřit pomocí kalorimetrie. Když je energie spotřebovaná pro svalovou práci jedná se o nejvariabilnější složku celkového energetického výdeje, a to je aktivní energetický výdej. Ten se dá změřit pomocí dvojité značené vody či kalorimetrie.
- Metody měření energetického výdeje jsou vhodné u jedinců, kde danou hodnotu potřebujeme znát, co nejpřesněji. To je například u jedinců s onemocněním, kde mohou vznikat u predikčních rovnic různé odchylky ve výsledcích.
- Nepřímá kalorimetrie jako zlatý standart je využitelná ve většině případů k měření energetického výdeje. Pokud není nepřímá kalorimetrie dostupná, lze použít predikční rovnice, které jsou ale méně přesné. Většina rovnic je totiž vytvořena na základě určité populace, která vykazuje svoje specifické vlastnosti a tím se odlišuje od ostatních populací. Proto klinickou využitelnost těchto rovnic lze posoudit pouze testováním v jiných populacích. Význam a síla predikčních rovnic závisí na jejich odvození z velké a současné populace, použití moderních přístrojů a technologie. Dále také na přiměřeně vysoké korelaci mezi hodnotou energetického výdeje a hmotností, výškou a věkem.
- Jsou zde dva hlavní účely stanovení energetických požadavků: použití při doporučení ohledně úrovně spotřeby, která by měla být udržována v populaci a pro diagnostické účely jako je posouzení adekvátnosti potravinových potřeb v dané populaci.
- Do budoucna je potřeba více zmapovat data o energetické potřebě v oblasti Asie (Čína) a Afriky. Většina studií o energetické potřebě člověka pochází z rozvinutých zemích Evropy a Ameriky. Převážně jsou potřeba data dětí a starších jedinců.

5 Literatura

Amaro-Gahete F, Jurado-Fasoli L, De-la-O A, Gutierrez Á, Castillo M, Ruiz J. 2018. Accuracy and Validity of Resting Energy Expenditure Predictive Equations in Middle-Aged Adults. *Nutrients* **10** (1635) DOI: 10.3390/nu10111635

Archiza B, Welch JF, Sheel AW. 2017. Classical experiments in whole-body metabolism: closed-circuit respirometry. *European Journal of Applied Physiology* **117**:1929-1937.

Bernstein RS, Thornton JC, Yang MU, Wang J, Redmond AM, Pierson RN, Pi-Sunyer FX, Van Itallie TB. 1983. Prediction of the resting metabolic rate in obese patients. *The American Journal of Clinical Nutrition* **37**:595-602.

Binns A, Gray M, Di Brezzo R. 2015. Thermic effect of food, exercise, and total energy expenditure in active females. *Journal of Science and Medicine in Sport* **18**:204-208.

Brody T. 1999. *Nutritional biochemistry*, 2nd. ed. Academic Press, San Diego.

Brychta R, Wohlert E, Moon J, Chen K. 2010. Energy Expenditure: Measurement of Human Metabolism. *IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine* **29**:42-47.

Buchowski MS. 2014. Doubly Labeled Water Is a Validated and Verified Reference Standard in Nutrition Research. *The Journal of Nutrition* **144**:573-574.

Burrows TL, Martin RJ, Collins CE. 2010. A Systematic Review of the Validity of Dietary Assessment Methods in Children when Compared with the Method of Doubly Labeled Water. *Journal of the American Dietetic Association* **110**:1501-1510.

Butte NF, King JC. 2005. Energy requirements during pregnancy and lactation. *Public Health Nutrition* **8**:1010-1027.

Calcagno M, Kahleova H, Alwarith J, Burgess N, Flores R, Busta M, Barnard N. 2019. The Thermic Effect of Food: A Review. *Journal of the American College of Nutrition* **38**:547-551.

Caron N, Peyrot N, Caderby T, Verkindt C, Dalleau G. 2016. Energy Expenditure in People with Diabetes Mellitus: A Review. *Frontiers in Nutrition* **3**. (56) DOI: 10.3389/fnut.2016.00056

Carpenter A, Pencharz P, Mouzaki M. 2015. Accurate Estimation of Energy Requirements of Young Patients. *Journal of Pediatric Gastroenterology and Nutrition* **60**:4-10.

Cole TJ, Henry CJK. 2005. The Oxford Brookes basal metabolic rate database – a reanalysis. *Public Health Nutrition* **8**:1202-1212.

Commission of the European communities: Nutrient and energy intakes for the European community. 1993. Commission of the European communities: Nutrient and energy intakes for the European community. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.

Costa-Pinto R, Gantner D. 2020. Macronutrients, minerals, vitamins and energy. *Anaesthesia & Intensive Care Medicine* **21**:157-161.

Cronin M. 2010. MetaLogics Direct Calorimetry Monitor: New Treatment Option for Obesity, Weight Management. Health Tech Zone. Available from <http://www.healthtechzone.com/topics/healthcare-providers/articles/87775-metalogics-direct-calorimetry-monitor-new-treatment-option-obesity.htm> (accessed June 2020).

Cunningham JJ. 1980. A reanalysis of the factors influencing basal metabolic rate in normal adults. *The American Journal of Clinical Nutrition* **33**:2372-2374.

De Keyzer W, Bracke T, McNaughton S, Parnell W, Moshfegh A, Pereira R, Lee H-S, Veer P, De Henauw S, Huybrechts I. 2015. Cross-Continental Comparison of National Food Consumption Survey Methods—A Narrative Review. *Nutrients* **7**:3587-3620.

De Lorenzo A, Bertini I, Candeloro N, Piccinelli R, Innocente I, Brancati A. 1999. A new predictive equation to calculate resting metabolic rate in athletes. *J Sports Med Phys Fitness* **39**:213-219.

De Lorenzo A, Tagliabue A, Andreoli A, Testolin G, Comelli M, Deurenberg P. 2001. Measured and predicted resting metabolic rate in Italian males and females, aged 18–59 y. *European Journal of Clinical Nutrition* **55**:208-214.

de Luis DA, Aller R, Izaola O, Romero E. 2006. Prediction Equation of Resting Energy Expenditure in an Adult Spanish Population of Obese Adult Population. *Annals of Nutrition and Metabolism* **50**:193-196.

Denova-Gutiérrez E, Ramírez-Silva I, Rodríguez-Ramírez S, Jiménez-Aguilar A, Shamah-Levy T, Rivera-Dommarco JA. 2016. Validity of a food frequency questionnaire to assess food intake in Mexican adolescent and adult population. *Salud Pública de México* **58**:617-628.

Doros R, Delcea A, Mardare L, Petcu L. 2015. Basal metabolic rate in metabolic disorders. *Proceedings of the Romanian Academy. Series B* **17**:137–143.

Evropský parlament a Rada Evropské unie. 2011. Nařízení Evropského parlamentu a Rady (Eu) č. 1169/2011 ze dne 25. října 2011 o poskytování informací o potravinách spotřebitelům, o změně nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1924/2006 a (ES) č. 1925/2006 a o zrušení směrnice Komise 87/250/EHS, směrnice Rady 90/496/EHS, směrnice

Komise 1999/10/ES, směrnice Evropského parlamentu a Rady 2000/13/ES, směrnic Komise 2002/67/ES a 2008/5/ES a nařízení Komise (ES) č. 608/2004. Česká republika. L 304/18

Frankenfield DC. 2013. Bias and accuracy of resting metabolic rate equations in non-obese and obese adults. *Clinical Nutrition* **32**:976-982.

Fredrix EW, Soeters PB, Deerenberg IM, Kester AD, von Meyenfeldt MF, Saris WH. 1990. Resting and sleeping energy expenditure in the elderly. *Eur J Clin Nutr.* **44**:741-747.

Garden L, Clark H, Whybrow S, Stubbs RJ. 2018. Is misreporting of dietary intake by weighed food records or 24-hour recalls food specific?. *European Journal of Clinical Nutrition* **72**:1026-1034.

Gougeon R, Lamarche M, Yale JF, Venuta T. 2002. The prediction of resting energy expenditure in type 2 diabetes mellitus is improved by factoring for glycemia. *International Journal of Obesity* **26**:1547-1552.

Guttormsen AB, Pichard C. 2014. Determining energy requirements in the ICU. *Current Opinion in Clinical Nutrition and Metabolic Care* **17**:171-176.

Hall KD, Heymsfield SB, Kemnitz JW, Klein S, Schoeller DA, Speakman JR. 2012. Energy balance and its components: implications for body weight regulation. *The American Journal of Clinical Nutrition* **95**:989-994.

Harris JA, Benedict FG. 1918. A Biometric Study of Human Basal Metabolism. *Proceedings of the National Academy of Sciences* **4**:370-373.

Henry CJK. 2005. Basal metabolic rate studies in humans: measurement and development of new equations. *Public Health Nutrition* **8**:1133-1152.

Hill JO, Wyatt HR, Peters JC. 2012. Energy Balance and Obesity. *Circulation* **126**:126-132.

Hronek M, Zadak Z, Hrnčiarikova D, Hyspler R, Ticha A. 2009. New equation for the prediction of resting energy expenditure during pregnancy. *Nutrition* **25**:947-953.

Huang KC, Kormas N, Steinbeck K, Loughnan G, Caterson ID. 2004. Resting Metabolic Rate in Severely Obese Diabetic and Nondiabetic Subjects. *Obesity Research* **12**:840-845.

Ikeda K, Fujimoto S, Goto M, Yamada C, Hamasaki A, Ida M, Nagashima K, Shide K, Kawamura T, Inagaki N. 2013. A new equation to estimate basal energy expenditure of patients with diabetes. *Clinical Nutrition* **32**:777-782.

Ireton-Jones CS. 1989. Evaluation of Energy Expenditures in Obese Patients. *Nutrition in Clinical Practice* **4**:127-129.

Ireton-Jones C, Jones JD. 2002. Improved Equations for Predicting Energy Expenditure in Patients: The Ireton-Jones Equations. *Nutrition in Clinical Practice* **17**:29-31.

Itoi A, Yamada Y, Yokoyama K, Adachi T, Kimura M. 2017. Validity of predictive equations for resting metabolic rate in healthy older adults. *Clinical Nutrition ESPEN* **22**:64-70.

Jebeile H, Mijatovic J, Louie JCY, Prvan T, Brand-Miller JC. 2016. A systematic review and metaanalysis of energy intake and weight gain in pregnancy. *American Journal of Obstetrics and Gynecology* **214**:465-483.

Johnstone AM, Rance KA, Murison SD, Duncan JS, Speakman JR. 2006. Additional anthropometric measures may improve the predictability of basal metabolic rate in adult subjects. *European Journal of Clinical Nutrition* **60**:1437-1444.

Khalesi S, Doshi D, Buys N, Sun J. 2017. Validation of a short food frequency questionnaire in Australian adults. *International Journal of Food Sciences and Nutrition* **68**:349-357.

Korth O, Bosy-Westphal A, Zschoche P, Glüer CC, Heller M, Müller MJ. 2007. Influence of methods used in body composition analysis on the prediction of resting energy expenditure. *European Journal of Clinical Nutrition* **61**:582-589.

Kritsky MS, Telegina TA, Buglak AA, Kolesnikov MP, Lyudnikova TA, Vechtomova YL. 2014. Modeling of abiotic ATP synthesis in the context of problems of early biosphere evolution. *Geochemistry International* **52**:1227-1238.

Kruizenga H, Hofsteenge G, Weijs P. 2016. Predicting resting energy expenditure in underweight, normal weight, overweight, and obese adult hospital patients. *Nutrition & Metabolism* **13**. (85) DOI: 10.1186/s12986-016-0145-3

Lam YY, Ravussin E. 2016. Analysis of energy metabolism in humans: A review of methodologies. *Molecular Metabolism* **5**:1057-1071.

Lam YY, Ravussin E. 2017. Indirect calorimetry: an indispensable tool to understand and predict obesity. *European Journal of Clinical Nutrition* **71**:318-322.

Lazzer S, Agosti F, Resnik M, Marazzi N, Mornati D, Sartorio A. 2007. Prediction of resting energy expenditure in severely obese Italian males. *Journal of Endocrinological Investigation* **30**:754-761.

Lizzer S, Agosti F, Silvestri P, Derumeaux-Burel H, Sartorio A. 2007. Prediction of resting energy expenditure in severely obese Italian women. *Journal of Endocrinological Investigation* **30**:20-27.

Livingston EH, Kohlstadt I. 2005. Simplified Resting Metabolic Rate-Predicting Formulas for Normal-Sized and Obese Individuals. *Obesity Research* **13**:1255-1262.

Lührmann PM, Herbert BM, Krems C, Neuhäuser-Berthold M. 2002. A new equation especially developed for predicting resting metabolic rate in the elderly for easy use in practice. *European Journal of Nutrition* **41**:108-113.

Macena ML, Pureza IROM, Melo IS, Clemente AG, Ferreira HS, Florêncio TMMT, Pfrimer K, Ferrioli E, Sawaya AL, Bueno NB. 2019. Agreement between the total energy expenditure calculated with accelerometry data and the basal metabolic rate yielded by predictive equations versus the total energy expenditure obtained with doubly labelled water in low-income women with excess weight. *British Journal of Nutrition* **122**. (12) DOI: 10.1017/S0007114519002460

Madden AM, Mulrooney HM, Shah S. 2016. Estimation of energy expenditure using prediction equations in overweight and obese adults: a systematic review. *Journal of Human Nutrition and Dietetics* **29**:458-476

Maraki MI, Panagiotakos DB, Jansen LT, Anastasiou C, Papalazarou A, Yannakoulia M, Sidossis LS, Kavouras SA. 2018. Validity of Predictive Equations for Resting Energy Expenditure in Greek Adults. *Annals of Nutrition and Metabolism* **72**:134-141.

Martinez-Tellez B, Ortiz-Alvarez L, Sanchez-Delgado G, Xu H, Acosta FM, Merchán-Ramirez E, Muñoz-Hernandez V, Martínez-Avila WD, Contreras-Gomez MA, Gil A, Labayen I, Ruiz JR. 2019. Skin temperature response to a liquid meal intake is different in men than in women. *Clinical Nutrition* **38**:1339-1347.

Melzer K, Kayser B, Schutz Y. 2014. Respiratory quotient evolution during normal pregnancy: What nutritional or clinical information can we get out of it?. *European Journal of Obstetrics & Gynecology and Reproductive Biology* **176**:5-9.

Mifflin MD, St Jeor ST, Hill LA, Scott BJ, Daugherty SA, Koh YO. 1990. A new predictive equation for resting energy expenditure in healthy individuals. *The American Journal of Clinical Nutrition* **51**:241-247.

Mtaweh H, Tuira L, Floh AA, Parshuram CS. 2018. Indirect Calorimetry: History, Technology, and Application. *Frontiers in Pediatrics* **6**. (257) DOI: 10.3389/fped.2018.00257

Müller MJ, Bosy-Westphal A, Klaus S, Kreyman G, Lührmann PM, Neuhäuser-Berthold M, Noack R, Pirke KM, Platte P, Selberg O, Steiniger J. 2004. World Health Organization equations have shortcomings for predicting resting energy expenditure in

persons from a modern, affluent population: generation of a new reference standard from a retrospective analysis of a German database of resting energy expenditure. *The American Journal of Clinical Nutrition* **80**:1379-1390.

Ndahimana D, Kim EK. 2017. Measurement Methods for Physical Activity and Energy Expenditure: a Review. *Clinical Nutrition Research* **6**:68-80.

Ndahimana D, Kim EK. 2018. Energy Requirements in Critically Ill Patients. *Clinical Nutrition Research* **7**:81-90.

Ndahimana D, Choi YJ, Park JH, Ju MJ, Kim EK. 2018. Validity of predictive equations for resting energy expenditure in Korean non-obese adults. *Nutrition Research and Practice* **12**:283-290.

Neupane P, Bhujju S, Thapa N, Bhattarai HK. 2018. ATP Synthase: Structure, Function and Inhibition. *Biomolecular Concepts* **10**:1-10.

Ocobock C. 2016. The allocation and interaction model: A new model for predicting total energy expenditure of highly active humans in natural environments. *American Journal of Human Biology* **28**:372-380.

Olejníčková J, Forejt M, Čermáková E, Hudcová L. 2019. Factors influencing basal metabolism of Czechs of working age from South Moravia. *Central European Journal of Public Health* **27**:135-140.

Orozco-Ruiz X, Pichardo-Ontiveros E, Tovar AR, Torres N, Medina-Vera I, Prinelli F, Lafortuna CL, Guevara-Cruz M. 2018. Development and validation of new predictive equation for resting energy expenditure in adults with overweight and obesity. *Clinical Nutrition* **37**:2198-2205.

Oshima T, Berger MM, De Waele E, Guttormsen AB, Heidegger CP, Hiesmayr M, Singer P, Wernerman J, Pichard C. 2017. Indirect calorimetry in nutritional therapy. A position paper by the ICALIC study group. *Clinical Nutrition* **36**:651-662.

Owen OE, Holup JL, D'Alessio DA, Craig ES, Polansky M, Smalley KJ, Kavle EC, Bushman MC, Owen LR, Mozzoli MA. 1987. A reappraisal of the caloric requirements of men. *The American Journal of Clinical Nutrition* **46**:875-885.

Owen OE, Kavle E, Owen RS, Polansky M, Caprio S, Mozzoli MA, Kendrick ZV, Bushman MC, Boden G. 1986. A reappraisal of caloric requirements in healthy women. *The American Journal of Clinical Nutrition* **44**:1-19.

Park J, Kazuko IT, Kim E, Kim J, Yoon J. 2014. Estimating free-living human energy expenditure: Practical aspects of the doubly labeled water method and its applications. *Nutrition Research and Practice* **8**:241-248.

Pinheiro Volp AC, de Oliveira FC, Duarte Moreira Alves R, Esteves EA, Bressan J. 2011. Energy expenditure: components and evaluation methods. *Nutricion hospitalaria* **26**:430-440.

Psota T, Chen KY. 2013. Measuring energy expenditure in clinical populations: rewards and challenges. *European Journal of Clinical Nutrition* **67**:436-442.

Purcell SA, Elliott SA, Baracos VE, Chu QSC, Prado CM. 2016. Key determinants of energy expenditure in cancer and implications for clinical practice. *European Journal of Clinical Nutrition* **70**:1230-1238.

Rattanachaiwong S, Singer P. 2019. Indirect calorimetry as point of care testing. *Clinical Nutrition* **38**:2531-2544.

Roza AM, Shizgal HM. 1984. The Harris Benedict equation reevaluated: resting energy requirements and the body cell mass. *The American Journal of Clinical Nutrition* **40**:168-182.

Segura-Badilla O, Kammar-García A, Vera-López O, Aguilar-Alonso P, Lazcano-Hernández M, Avila-Sosa R, Navarro-Cruz AR. 2018. Simplified equation for resting energy expenditure in a population of elderly chileans compared to indirect calorimetry. *NFS Journal* **13**:23-29.

Schusdziarra V, Wolfschläger K, Hausmann M, Wagenpfeil S, Erdmann J. 2014. Accuracy of Resting Energy Expenditure Calculations in Unselected Overweight and Obese Patients. *Annals of Nutrition and Metabolism* **65**:299-309.

Společnost pro výživu . 2019. Referenční hodnoty pro příjem živin, 2. vyd. Výživa servis s. r. o., Praha.

Steinemann N, Grize L, Ziesemer K, Kauf P, Probst-Hensch N, Brombach C. 2017. Relative validation of a food frequency questionnaire to estimate food intake in an adult population. *Food & Nutrition Research* **61**. (1305193) DOI: 10.1080/16546628.2017.1305193

Terrien J, Perret M, Aujard F. 2011. Behavioral thermoregulation in mammals: a review. *Frontiers in Bioscience* **16**:1428-1444.

Timon CM, van den Barg R, Blain RJ, Kehoe L, Evans K, Walton J, Flynn A, Gibney ER. 2016. A review of the design and validation of web- and computer-based 24-h dietary recall tools. *Nutrition Research Reviews* **29**:268-280.

Torun B. 2005. Energy requirements of children and adolescents. *Public Health Nutrition* **8**:968-993.

Toubro S, Sørensen TIA, Hindsberger C, Christensen NJ, Astrup A. 1998. Twenty-Four-Hour Respiratory Quotient: The Role of Diet and Familial Resemblance¹. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism* **83**:2758-2764.

van Rossum C, Nelis K, Wilson C, Ocké M. 2018. National dietary survey in 2012-2016 on the general population aged 1-79 years in the Netherlands. *EFSA Supporting Publications* **15** (EN-1488) DOI: 10.2903/sp.efsa.2018.EN-1488

Vilela S, Severo M, Moreira T, Ramos E, Lopes C. 2019. Evaluation of a short food frequency questionnaire for dietary intake assessment among children. *European Journal of Clinical Nutrition* **73**:679-691.

Walker RN, Heuberger R. 2009. Predictive Equations for Energy Needs for the Critically Ill. *Respiratory care* **54**:509-521.

Weijts PJM. 2008. 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* **88**:959-970.

Weir JB. 1949. New methods for calculating metabolic rate with special reference to protein metabolism. *The Journal of Physiology* **109**:1-9.

Westerterp KR. 2009. Assessment of physical activity: a critical appraisal. *European Journal of Applied Physiology* **105**:823-828.

Westerterp KR. 2017. Doubly labelled water assessment of energy expenditure: principle, practice, and promise. *European Journal of Applied Physiology* **117**:1277-1285.

Westerterp KR. 2018. Exercise, energy expenditure and energy balance, as measured with doubly labelled water. *Proceedings of the Nutrition Society* **77**:4-10.

World Health Organization. 1985. Energy and protein requirements: report of a Joint FAO/WHO/UNU Expert Consultation. WHO Publications, Geneva.

Yang YJ, Kim MK, Hwang SH, Ahn Y, Shim JE, Kim DH. 2010. Relative validities of 3-day food records and the food frequency questionnaire. *Nutrition Research and Practice* **4**:142-148.

6 Seznam použitých zkratek

- a (age) – věk v letech
ADP – adenosindifosfát
AEE (active energy expenditure) – aktivní energetický výdej
AMP – adenosinmonofosfát
ATP – adenosintrifosfát
b – diagnostika popálení
BMI (body mass index) – index tělesné hmotnosti
BMR (basal metabolic rate) – bazální metabolická rychlost
DLW (doubly labelled water) – dvojitě značená voda
dm – diabetes mellitus
EU (European Union) – Evropská unie
FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) – Organizace pro výživu a zemědělství
FFM (fat free mass) – beztuková (tukuprostá) tělesná hmota
FFQ (food frequency questionnaire) – dotazník o frekvenci potravin
FM (fat mass) – tuková tělesná hmota
FPG (fasting plasma glucose) – obsah glukózy v plazmě na lačno
FQ (food quotient) – kvocient potravy
FR (food records) – záznamy o příjmu potravy
g (gender) – pohlaví
NEQ (new equation)
o (obesity) - obezita
PAL (physical activity level) – úroveň fyzické aktivity
rCO₂ – produkce CO₂ v mol/den
REE (resting energy expenditure) – klidový energetický výdej
rH₂O – produkce vody v mol/den
RMR (resting metabolic rate) – klidová metabolická rychlost
RQ (respiratory quotient) – respirační kvocient
s (stature) – tělesná výška v cm
t – diagnostika traumatu
TBW (total body water) – celková tělesná voda
TEE (total energy expenditure) – celkový energetický výdej
TEF (thermic effect of food) – termický efekt potravy
UNU (United Nations University) – Univerzita OSN
VCO₂ – objem produkovaného oxidu uhličitého
VO₂ – objem spotřebovaného kyslíku
w (weight) – tělesná hmotnost v kg
WHO (World Health Organization) – Světová zdravotnická organizace
24HDR (24 hours dietary recalls) – 24hodinový dietní „recall“