



Zdravotně
sociální fakulta
Faculty of Health
and Social Sciences

Jihočeská univerzita
v Českých Budějovicích
University of South Bohemia
in České Budějovice

**Stanovení klidového energetického výdeje metodou
nepřímé kalorimetrie**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Studijní program: **SPECIALIZACE VE ZDRAVOTNICTVÍ**

Autor: Roman Postl

Vedoucí práce: Mgr. Ing. Simona Šimková

České Budějovice 2022

Prohlášení

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci s názvem *Stanovení klidového energetického výdeje metodou nepřímé kalorimetrie* jsem vypracoval samostatně pouze s použitím pramenů v seznamu citované literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce, a to v nezkrácené podobě elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby bakalářské práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé bakalářské práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

V Českých Budějovicích dne 4.5.2022

Poděkování

Chtěl bych poděkovat své vedoucí bakalářské práce Mgr. Ing. Simoně Šimkové za odborné vedení, za pomoc a rady poskytnuté při zpracování této práce. Velké díky patří také všem respondentům za účast ve výzkumu.

Stanovení klidového energetického výdeje metodou nepřímé kalorimetrie

Abstrakt

Téma bakalářské práce je „Stanovení klidového energetického výdeje metodou nepřímé kalorimetrie“. Metoda nepřímé kalorimetrie se považuje za zlatý standard při určování klidového energetického výdeje, který může dále sloužit jako východisko k nastavení optimálního energetického příjmu pro sestavení léčebných diet, a často se porovnává s prediktivními rovnicemi, se kterými je určení klidového energetického výdeje jednodušší a méně časově náročné.

Sběr dat byl uskutečněn kvantitativní metodou měření na nepřímé kalorimetrii, hodnocením zápisů stravy a vyplněných dotazníků a získáním antropometrických údajů. Výzkumný soubor se skládá z 10 respondentů oslovených přes hromadnou e-mailovou korespondenci nebo osobně.

Hlavním cílem práce je srovnání výsledků měření metodou nepřímé kalorimetrie s přepočtenými výsledky prediktivní rovnice Harris-Benedicta na hodnoty klidového energetického výdeje. Dílčím cílem je zmapování odlišnosti výsledků měření na základě složení stravy respondentů. Společně s tímto cílem je zmapovaná odlišnost příjmu energie oproti vypočtené energetické potřebě a jako poslední je zmapovaná odlišnost výsledků měření vlivem tělesného složení respondentů.

Výsledkem výzkumu práce je potvrzení odchylky $\pm 10\%$ mezi měřenými a vypočtenými hodnotami klidového energetického výdeje, kterou uvádí také autoři publikací na podobné téma. Dále je ve výzkumu patrná odchylka $18,34\%$ mezi zapsaným příjmem energie a energetickou potřebou s tendencí podhodnocování příjmu stravy. Z práce vyplývají také vztahy mezi výsledky měření a procentuálním složením stravy i tělesným složením respondentů. Vztahy vycházejí z lineárních spojnic trendu, které naznačují, zaprvé – růst měřených hodnot při větším podílu bílkovin a sacharidů ve stravě a vyšším zastoupením svalové hmoty v těle, a zadruhé – klesání měřených hodnot při větším podílu tuků ve stravě a vyšším zastoupením tukové tkáně v těle.

Klíčová slova

nepřímá kalorimetrie; Harris-Benedictova rovnice; energetický metabolismus; klidový energetický výdej

Determination of resting energy expenditure by indirect calorimetry

Abstract

The topic of the bachelor thesis is "Determination of resting energy expenditure by indirect calorimetry". The method of indirect calorimetry is considered the gold standard for determining resting energy expenditure, which can further serve as a basis for setting optimal energy intake for the design of therapeutic diets, and is often compared with predictive equations, with which the determination of resting energy expenditure is simpler and less time-consuming.

Data collection was performed by quantitative methods by measuring on indirect calorimetry, assessing dietary records and completed questionnaires, and obtaining anthropometric data. The research population consisted of 10 respondents approached through mass email correspondence or in person.

The main aim of the study is to compare the results of the indirect calorimetry method with the recalculated results of the Harris-Benedict predictive equation on resting energy expenditure values. A sub-objective is to map the differences in measurement results based on the diet composition of the respondents. Together with this objective, the dissimilarity of energy intake versus calculated energy requirement is mapped, and lastly, the dissimilarity of measurement results due to respondents' body composition is mapped.

As a result of the research, the deviation of $\pm 10\%$ between the measured and calculated values of resting energy expenditure is confirmed, which is also reported by authors of publications on a similar topic. Furthermore, the research shows a deviation of 18.34% between the recorded energy intake and energy requirement with a tendency to underestimate dietary intake. The study also shows relationships between the measurement results and the percentage of diet and body composition of the respondents. The relationships are based on linear trend lines, which indicate, first – an increase in measured values with a higher proportion of protein and carbohydrate in the diet and a higher proportion of lean body mass, and second – a decrease in measured values with a higher proportion of fat in the diet and a higher proportion of adipose tissue in the body.

Key words

indirect calorimetry; Harris-Benedict equation; energy balance; resting energy expenditure

OBSAH

ÚVOD.....	8
1 SOUČASNÝ STAV	9
1.1 Energetická bilance organismu.....	9
1.1.1 Energie	10
1.1.2 Spalné teplo.....	10
1.2 Metabolismus v mitochondriích	10
1.2.1 Krebsův cyklus	11
1.2.2 Dýchací řetězec.....	12
1.2.3 Beta-oxidace	13
1.2.4 Degradace aminokyselin.....	14
1.3 Energetický příjem.....	15
1.3.1 Sacharidy	15
1.3.2 Tuky	16
1.3.3 Bílkoviny	17
1.3.4 Alkohol	18
1.3.5 Sledování energetického příjmu	18
1.4 Energetický výdej	19
1.4.1 Bazální energetický výdej.....	19
1.4.2 Klidový energetický výdej.....	20
1.4.3 Výdej energie fyzickou aktivitou.....	20
1.4.4 Termický efekt potravy.....	21
1.4.5 Ovlivnění energetického výdeje	21
1.5 Stanovení energetické potřeby.....	22
1.5.1 Harris-Benedictova rovnice	23
1.5.2 Nepřímá kalorimetrie.....	24
1.5.2.1 Historie.....	25

1.5.2.2	Výpočty oxidace energetických substrátů	25
1.5.3	Dusíková bilance.....	27
2	CÍL PRÁCE	29
2.1	Cíl práce.....	29
2.2	Výzkumné otázky	29
2.3	Operacionalizace.....	29
3	METODIKA	30
3.1	Metodika práce	30
3.2	Charakteristika výzkumného souboru	30
3.3	Sběr a analýza dat	31
3.3.1	Dotazník.....	32
3.3.2	Měření tělesné výšky	32
3.3.3	Měření tělesné hmotnosti pomocí váhy s bioimpedancí.....	32
3.3.4	Nepřímá kalorimetrie.....	33
3.3.5	Prediktivní Harris-Benedictova rovnice	34
3.3.6	Stanovení energetické potřeby.....	34
3.3.7	Zápis stravy.....	35
4	VÝSLEDKY	36
4.1	Hlavní cíl.....	36
4.2	Vedlejší cíl	38
5	DISKUSE.....	45
6	ZÁVĚR.....	52
7	SEZNAM LITERATURY	54
8	SEZNAM PŘÍLOH A OBRÁZKŮ	58
9	SEZNAM ZKRATEK.....	59

ÚVOD

Tato bakalářská práce se zabývá problematikou nepřímé kalorimetrie a stanovování klidového energetického výdeje. Téma jsem si vybral z témat vypsaných fakultou. Rozhodoval jsem se mezi tímto tématem a měřením bioimpedance, které mi bylo známější. Nicméně jsem se rozhodl pro rozšíření svých znalostí vypracováním práce na téma nepřímé kalorimetrie. Zprvu mi byla tato problematika celkem cizí, ale postupným studováním a zpracováváním materiálů s ní související jsem se dozvěděl velké množství informací o energetickém metabolismu člověka, měření energie a určování energetické potřeby.

Energetická bilance organismu není pro většinu lidí podstatným tématem k řešení, jsme jí ale všichni neustále ovlivňováni. Každou chvíli našeho života se v našem těle syntetizují a degradují látky to znamená, že se zároveň uskládňuje nebo uvolňuje energie. Z hlediska výživy a praxe nutričního terapeuta je často nutné znát množství potřebné a vydané energie ke správnému nastavení příjmu stravy, případnému doplnění energie a živin pomocí orální nutriční podpory anebo zajistit výživu jinými cestami. Nepřímá kalorimetrie se považuje za nejpřesnější metodu použitelnou v praxi ke stanovení klidové energetické potřeby a mohla by tedy sloužit jako cenný nástroj nutričního terapeuta.

Teoretická část práce se zabývá energetickou bilancí organismu, metabolismem energie na buněčné úrovni, stanovováním energetické potřeby, energetickým příjmem a výdejem. Rozebrány jsou také některé energetické metabolické procesy a jednotlivé makroživiny. Podrobně byla rozebrána metoda stanovení energetické potřeby pomocí nepřímé kalorimetrie a prediktivní rovnice Harrise-Benedicta.

V praktické části jsem hodnotil získaná data z nepřímé kalorimetrie a porovnával je s hodnotami z prediktivní rovnice, procentuálním složením těla a zápisem jídelníčků vyhodnocených v programu Nutriservis Professional u deseti respondentů. Statisticky jsem hodnotil odchylky metod a zkoumal spojitost mezi výslednými hodnotami.

1 SOUČASNÝ STAV

1.1 *Energetická bilance organismu*

V lidském těle probíhá přeměna látek nepřetržitě, jedná se o charakteristickou vlastnost a základní rys života. Jednotlivé živiny obsahují energii, kterou umí organismus díky oxidačním a fosforylačním mechanismům uvolnit a využít. Tyto procesy se zakládají na opačném procesu fotosyntézy, kdy je kyslík z prostředí odebírán a je uvolňovaný oxid uhličitý (CO₂). Obsah energie je závislý na obsahu vodíku (H), protože oxidace není jen adice kyslíku, ale také odebrání vodíku. (Mourek et al., 2013)

Lidský organismus je na příjmu energie závislý, avšak nemusí být přijímána kontinuálně. Organismus má totiž schopnost energii ukládat a v případě potřeby také zpětně štěpit na využitelnou energii. (Beneš et al., 2015)

Rozlišujeme procesy anabolické, kdy tělo syntetizuje složitější molekuly, které je schopné ukládat, a katabolické, kdy jsou látky štěpeny zpět na jednodušší využitelné formy (Mourek et al., 2013). V těle se energie nijak nevyrábí ani nezaniká, pouze se přeměňuje v jinou formu (Beneš et al., 2015). Anabolické i katabolické děje probíhají neustále paralelně, můžeme pouze rozlišovat převahu anabolických procesů (např. těhotenství, růst, regenerace tkání) nebo katabolických procesů (např. hladovění, vypjatý výkon) (Mourek et al., 2013).

Počítání energetické bilance u člověka a hledání korelace mezi příjmem a výdejem energie je velmi náročné. Předpokládá se, že u většiny lidí je vyrovnaná energetická bilance každých 7–10 dní. (Kasper, 2015)

Energetická bilance vychází z poměru mezi příjmem a výdejem energie (Beneš et al., 2015). V závislosti na jejich hodnotách je energetická bilance proměnlivá a měla by být tedy i přepočítávána a kontrolována pravidelně nebo v závislosti na aktivitě nebo akutním stavu (např. nemoc nebo léčba) (Wierdsma et al., 2017). V případě, že je příjem a výdej energie v nerovnováze, dochází ke změně tělesné hmotnosti i tělesné stavby jedince, která může být nežádoucí (Křížová, 2019).

1.1.1 Energie

Energie je potřebná pro všechny fyziologické procesy, jako jsou pohybová aktivita, udržování stálého vnitřního prostředí organismu (homeostázy), metabolické procesy, transport látek, ale také růst, těhotenství nebo kojení (Zadák, 2008; Stránský et al., 2019).

Udává se v kilokaloriích (kcal) nebo kilojoulech (kJ). Z definice vyplývá, že kalorie (cal) je množství tepla, které je potřebné k ohřátí 1 gramu vody o 1 °C, a to ze 14,5 na 15,5 °C. Používaná jednotka kilokalorie (kcal) je tisíckrát větší, tedy ohřátí 1 litru vody o jeden stupeň. Jednotka joul (J) je definována jako síla jednoho newtonu působící po dráze 1 metru. V počítání energetické hodnoty se používají kilojouly (kJ), které mají také tisíckrát větší hodnotu. (Mourek et al., 2013)

Na konci minulého století bylo doporučeno, aby se hlavní jednotkou měrné energie stal joul a nahradil tak kalorii, ta se ale i nadále rozšířeně používá, zejména kvůli odborné literatuře z USA. V praxi je důležitý vzájemný vztah mezi kalorií a joulem, kde 1 cal je rovna 4,185 J. (Mourek et al., 2013)

1.1.2 Spalné teplo

Obsažené množství energie a její dostupnost z jednotlivých substrátů se liší (Zadák, 2008). Spalné teplo je celkové množství energie, které je obsažené v jednotlivých živinách (potravinách) a je efektivně využitelné lidským organismem. Měření spalného tepla se provádí v kyslíkové atmosféře v tzv. „kalorické bombě“. Výsledkem je množství uvolněné energie z 1 gramu substrátu. Sacharidy obsahují 4,1 kcal (17 kJ) spalného tepla, přibližně dvojnásobnou hodnotu 9,1 kcal (38 kJ) mají tuky. U bílkovin je hodnota spalného tepla 5,5 kcal (23 kJ), která se liší od fyziologického spalného tepla. Tato skutečnost je zapříčiněna vylučováním dusíku z těla ve formě močoviny, ta obsahuje ještě určité množství energie. Bílkoviny tedy, poskytují 4 kcal (16,8 kJ), podobně jako sacharidy. (Mourek et al., 2013)

1.2 Metabolismus v mitochondriích

Součástí buněk lidského těla jsou orgány zvané mitochondrie. Jsou kryté membránou a jsou velmi metabolicky aktivní. K metabolickým dějům, které se odehrávají v mitochondriích patří, např. Krebsův cyklus, beta-oxidace, ketogeneze, močovinový cyklus, syntéza hemu a další. Základní a hlavní funkcí je tvorba energie z glukózy,

oxidací na vodu a oxid uhličitý, na organismem využitelnou formu ATP (adenosintrifosfát). (Kohout, 2019)

1.2.1 Krebsův cyklus

Krebsův cyklus (známý také jako citrátový cyklus, obr. 1) je významný proces oxidace živin a probíhá v matrix mitochondrie (tj. roztok uvnitř vnitřní membrány mitochondrií, obsahující enzymatický systém, který podmiňuje funkci Krebsova cyklu) (Wierdsma et al., 2017; Kohout, 2019). Napojují se na něj téměř všechny metabolické dráhy (např. dýchací řetězec, glukoneogeneze apod.) (Kohout, 2019). Krebsův cyklus má katabolickou i anabolickou funkci, proto se označuje jako amfibolická metabolická dráha (Štěpánková, 2020).

Před vstupem do cyklu musí glukóza nejprve projít anaerobním procesem glykolýzy, při které dochází ke štěpení z původní šestiuhlíkaté molekuly (glukózy) na trojuhlíkatou molekulu (kyselinu pyrohroznovou, tzv. pyruvát) (Wierdsma et al., 2017; Kohout, 2019). Zároveň se tímto procesem uvolňují dvě molekuly ATP z jedné molekuly glukózy (Kohout et al., 2021).

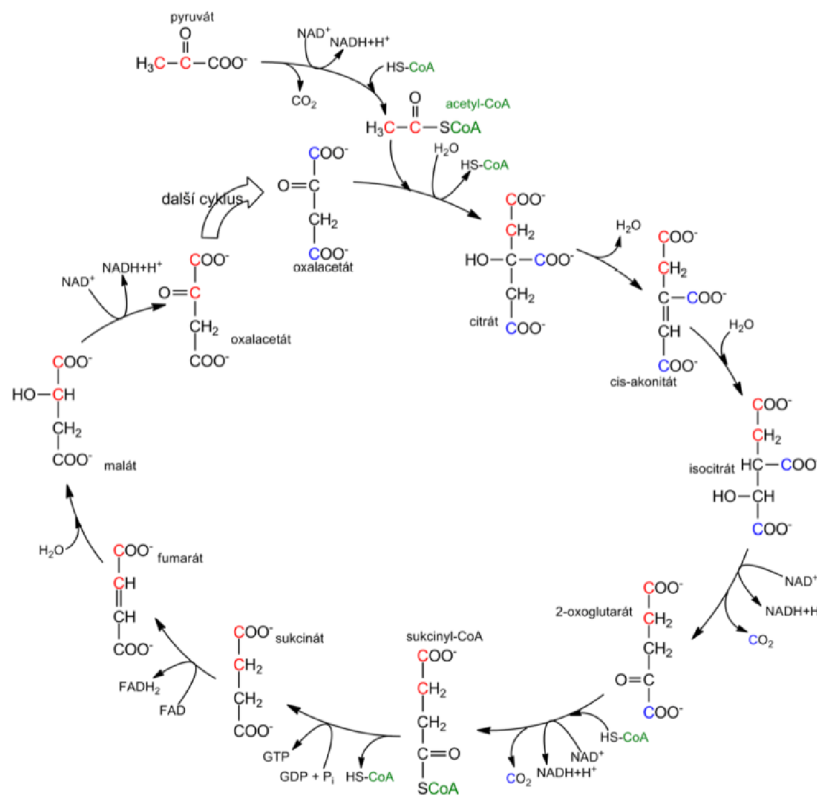
Za aerobních podmínek vstupuje molekula pyruvátu do mitochondrie, kde dochází k její dekarboxylaci na dvouuhlíkatou molekulu (acetyl). Acetyl se navázáním na koenzym A (obsahující kyselinu pantotenovou) aktivuje na dvouuhlíkatý acetyl-CoA a vstupuje do Krebsova cyklu. (Wierdsma et al., 2017)

Acetyl-CoA se oxiduje na oxid uhličitý a vodu, přičemž vznikají redukované formy kofaktorů $\text{NADH}+\text{H}^+$ (nikotinamidadenindinukleotid) a FADH_2 (flavinadenindinukleotid) (Štěpánková, 2020).

Hlavními produkty Krebsova cyklu jsou tedy kationy vodíku (H^+) ve formě redukovaných kofaktorů, které se v dýchacím řetězci reoxidují a poskytují energii pro syntézu ATP (Wierdsma et al., 2017; Kohout, 2019).

Jeden cyklus vyprodukuje tři molekuly $\text{NADH}+\text{H}^+$ a jednu molekulu FADH_2 , které se využijí v dýchacím řetězci na tvorbu ATP, a jednu molekulu GTP (guanosintrifosfát), který lze směnit za ATP (Štěpánková, 2020). Atomy uhlíku jsou uvolňovány jako dvě molekuly oxidu uhličitého (CO_2), který je vyloučen v plicích (Wierdsma et al., 2017).

Na konci Krebsova cyklu je znovu vytvářen oxalacetát a další molekula acetyl-CoA vstupuje do dalšího cyklu (Kohout, 2019).



Obrázek 1 Krebsův cyklus (zdroj: Štěpánková, 2020, str. 182)

Hlavní úlohou citrátového cyklu tedy není „výroba“ ATP, ale vytvoření redukovaných kofaktorů, které pak sytí dýchací řetězec. (Štěpánková, 2020, str. 179)

Mastné kyseliny se odbourávají procesem beta-oxidace na acetyl-CoA, který vstupuje do Krebsova cyklu (Wierdsma et al., 2017). Glycerol vstupuje do glykolýzy nebo se využívá v glukoneogenezi, případně k syntéze triacylglycerolů (Štěpánková, 2020).

Aminokyseliny se rozkládají na různé intermediární produkty Krebsova cyklu (Wierdsma et al., 2017).

1.2.2 Dýchací řetězec

Dalším krokem a závěrečnou fází pro získání energie je dýchací řetězec, jinak nazývaný jako oxidativní fosforylace. Jeho podstatou je přenesení vodíku z redukovaných koenzymů na elementární kyslík, kdy přenesením dochází k uvolnění energie, která je spotřebována

fosforylací ADP (adenosindifosfát) na ATP. Působením oxidativní fosforylace vzniká 34 molekul ATP z produktů jedné molekuly glukózy. (Kohout, 2019)

Redukované kofaktory jsou reoxidovány na vnitřní mitochondriální membráně souborem čtyř enzymových komplexů. Mezi komplexy, které se označují jako komplexy I–IV, jsou transportovány elektrony. Tento tok je spojený s přečerpáním protonů (H^+) přes vnitřní mitochondriální membránu do mezimembránového prostoru, kde se hromadí. (Štěpánková, 2020)

Zpětný průchod protonů je umožněn enzymem ATP-ázou (označovaný jako komplex V), který využívá jejich energii (elektrochemický gradient na mitochondriální membráně) k syntéze ATP z ADP. Předpokládá se, že pro vznik jedné molekuly ATP je zapotřebí přenosu tří až čtyř protonů H^+ . (Štěpánková, 2020; Čermáková, 2021)

Při dostatku kyslíku se NADH využívá k produkci ATP (adenosintrifosfát) přes proces oxidativní fosforylace. Aerobním spalováním glukózy se produkuje 38 molekul ATP. (Wierdsma et al., 2017)

Skutečný výtěžek, z důvodu spotřeby dvou molekul ATP k přenosu pyruvátu na mitochondrie, je 36 molekul ATP (Kohout, 2019).

V případě nedostatku kyslíku se ATP nemůže tvořit z NADH skrze oxidativní fosforylací, nahromadí se a inhibuje Krebsův cyklus (Wierdsma et al., 2017). Pyruvát se anaerobně pomocí enzymu laktátdehydrogenázy metabolizuje na kyselinu mléčnou (laktát), přičemž dochází k okyselení organismu (Kohout et al., 2021). Tento proces poskytuje pouze dvě molekuly ATP z jedné molekuly glukózy a vlivem kyseliny mléčné dochází k okyselení organismu (Wierdsma et al., 2017).

Laktát se může v játrech přeměnit na další využitelný zdroj energie, dle Wierdsmové et al. (2017) na glukózu, dle Kohouta et al. (2021) na produkt glykolýzy – pyruvát. Nebo se jako samotný může stát zdrojem energie např. pro buňky ledvin nebo společně s ketolátkami pro neurony (Kohout et al., 2021).

1.2.3 Beta-oxidace

Beta-oxidace je hlavní katabolickou drahou mastných kyselin, která probíhá v matrix mitochondrií. Před transportem se musí mastné kyseliny, spotřebou dvou energetických jednotek ATP, změnit v jinou formu a překonat dvě mitochondriální membrány. Zde se

uplatňuje karnitin, který transportuje mastné kyseliny s 12–18 atomy uhlíku. Kratší řetězce jsou transportovány volnou difuzí, delší neprocházejí a musejí se nejprve zkrátit. (Štěpánková, 2020)

Po aktivaci a transportu mastné kyseliny do matrix mitochondrie začíná na beta-uhlíku oxidace (Štěpánková, 2020). Principem je zkracování řetězce mastné kyseliny vždy o dva uhlíky. (Kohout et al., 2021). Zkracováním mastných kyselin vznikají molekuly acetyl-CoA, které vstupují do Krebsova cyklu a jsou oxidovány na CO_2 a H_2O (Kohout, 2019, Štěpánková, 2020).

U mastných kyselin se sudým počtem atomů uhlíku zahrnuje čtyři kroky – dehydrogenace, hydratace, dehydrogenace a thiolýza. Tyto kroky se opakují, dokud se celá mastná kyselina neodbourá na acetyl-CoA. Mastné kyseliny s lichým počtem uhlíků se odbourávají stejným mechanismem, ale na konci vzniká tříuhlíkatý propionyl-CoA, který může sloužit jako výchozí látka k syntéze hemu nebo se zapojit do glukoneogeneze skrze přeměnu na oxalacetát. (Štěpánková, 2020)

Beta-oxidace je velmi energeticky významný metabolický proces, kdy postupně odštěpované molekuly acetyl-CoA vstupují do Krebsova cyklu a vzniklé redukované kofaktory mohou být reoxidovány v dýchacím řetězci. (Štěpánková, 2020)

Výtěžek je přibližně 6 molekul ATP na jeden uhlík z mastné kyseliny (Kohout et al., 2021).

1.2.4 Degradace aminokyselin

Pro využití aminokyselin jako energetického substrátu je nejprve nutné odstranit aminoskupinu. Ta obsahuje dusík, který je nevyužitelný pro produkci energie a je nutné jej z organismu vyloučit. (Štěpánková, 2020)

Deaminace vede ke vzniku amoniaku (NH_3), který je pro organismus silně toxický. Organismus se amoniaku zbavuje pomocí močovinového cyklu tvorbou močoviny, ta se filtruje ledvinami do moči, která je vylučována. (Kohout, 2019)

Po odstranění aminoskupiny se může degradovat uhlíkatý řetězec aminokyseliny na sloučeniny, které mohou být metabolizovány na CO_2 a H_2O , nebo mohou být převedeny na glukózu, acetyl-CoA nebo ketolátky. Podle toho, na co se aminokyseliny odbourávají, se dělí do tří skupin. (Štěpánková, 2020)

Glukogenní aminokyseliny se odbourávají na pyruvát a oxalacetát nebo meziproducty Krebsova cyklu (2-oxoglutarát, succinyl-CoA a fumarát), které se v něm přeměňují na oxalacetát (Štěpánková, 2020).

Ketogenní aminokyseliny se odbourávají na prekurzory syntézy ketolátek (acetyl-CoA a acetoacetát) (Štěpánková, 2020).

Aminokyseliny **gluko- i ketogenní zároveň**. Ty se odbourávají na dva produkty. Prvním je acetyl-CoA nebo acetoacetát a druhým produktem je pyruvát, succinyl-CoA nebo fumarát. (Štěpánková, 2020)

1.3 Energetický příjem

Energii získáváme z potravy, která obsahuje základní živiny, jejichž metabolizací vzniká organismem využitelná energie ve formě adenosintrifosfátu (ATP) (Křížová, 2019). Štěpení začíná již v dutině ústní, pokračuje vlivem kyselého pH v žaludku a v tenkém střevě v zásaditém prostředí trávicími šťávami (Naňka a Elišková, 2019; Stránský et al., 2019). Zásoba ATP v těle je omezená a vystačí jen na krátkou dobu, dle Zadáka (2008) je obnova tak rychlá, že se každý den cyklicky vytvoří a rozpadne 70 kg molekul ATP.

V potravě jsou různě zastoupeny sacharidy, tuky a bílkoviny, které se vstřebávají v různých částech zažívacího traktu (Křížová, 2019). Dle Kohouta (2019) je vhodné složení stravy, její správný příjem a zpracování podmínkou zdravého života. Jednotlivé složky jsou dále specificky metabolizované na energetické substráty a teplo a ukládány v zásobní formě (Křížová, 2019).

Již výše zmiňované nejvyšší množství energie je obsažené v tucích, 9,1 kcal/g, což je téměř dvojnásobná hodnota oproti bílkovinám a sacharidům. Navíc tuky na sebe neváží vodu a mají vysokou hodnotu energie ku objemu, proto je výhodné je ukládat jako zásobu energie. Sacharidy a bílkoviny mají stejným organismem využitelné množství energie, tj. 4,1 kcal/g. (Stránský et al., 2019; Kohout et al., 2021)

1.3.1 Sacharidy

Sacharidy jsou hlavním energetickým zdrojem (cca 50 až 60 % denního příjmu) a jsou přijímány v několika formách. Většina forem se pomocí specifických enzymů štěpí a vstřebává ve formě jednoduchých cukrů – monosacharidů (především glukóza). Po vstřebání putují portální krví do jater, kde jsou metabolizovány na zásobní formu

(glykogen), která se v játrech ukládá a slouží jako zdroj rychle štěpitelné energie, nebo putují do cílových tkání, kde jsou dále využívány. (Kohout, 2019; Křížová, 2019; Stránský et al., 2019)

Fruktóza a galaktóza, jakožto monosacharidy jsou v játrech také metabolizovány na glukózu, která se účastní Krebsova cyklu v mitochondriích buněk (Kohout, 2019). Dále Kohout et al. (2021) uvádí, že fruktóza se z části přeměňuje na glukózu již v enterocytech, ve svalech se pomocí hexokinázy vřazuje do glykolýzy, v játrech je fosforylována a štěpena na meziprodukty glykolýzy.

Glukózu umí oxidovat všechny buňky organismu. Z jedné molekuly glukózy vzniká šest molekul CO_2 a šest molekul H_2O . Při aerobní oxidaci jednoho molu glukózy vzniká třicet šest molů ATP a dva moly GTP (guanositrifostátu). Pokud zpracování probíhá za anaerobních podmínek, vznikají pouze dvě molekuly ATP a proces se tak stává značně energeticky nevýhodným, ale i tak je významným, protože glukóza je jediný substrát, který je využitelný i za anaerobních podmínek. (Křížová, 2019, s. 54)

Součástí sacharidů je také vláknina, která se dělí na nerozpustnou a rozpustnou a obsahuje určité množství energie, která je využívána především buňkami tlustého střeva. Jelikož doporučený denní příjem vlákniny je 30 g a v mnoha případech se nesplní, není z hlediska energetické bilance podstatná. (Kohout et al., 2021)

1.3.2 Tuky

Tuky jsou štěpené na mastné kyseliny a glycerol, které se následně vstřebávají. V krvi jsou ve formě chylomikronů (lipoproteinů) transportovány do cílových tkání nebo ukládány do tukových buněk v tukové tkáni. (Kohout, 2019; Křížová, 2019)

Kromě energetického využití jsou tuky potřebné k rozpouštění vitaminů rozpustných v tucích, jako substrát pro další syntézu a mají také izolační a ochranné vlastnosti. (Kohout, 2019; Stránský et al., 2019)

Mastné kyseliny se dělí na nasycené (SFA – saturated fatty acids), mononenasycené (MUFA – monounsaturated fatty acids), obsahující jednu dvojnou vazbu, a polynenasycené (PUFA – polyunsaturated fatty acids), které obsahují dvě a více dvojných vazeb. Organismus je schopen mastné kyseliny syntetizovat, výjimkou jsou

PUFA s cis-konfigurací a určitou pozicí dvojných vazeb, které se tedy stávají závislé na příjmu (esenciálními). (Stránský et al., 2019)

Při potřebě jsou z tuků uvolňované volné mastné kyseliny, které dokážou téměř všechny buňky oxidovat. Při hladovění vznikají z mastných kyselin ketolátky, které mohou využít všechny buňky organismu. Důležité jsou zejména pro buňky CNS, které nedokážou využít samotné volné mastné kyseliny. (Křížová, 2019)

1.3.3 Bílkoviny

Bílkoviny se v trávicím traktu štěpí na jednotlivé aminokyseliny (AMK), které se vstřebávají v tenkém střevě. Aminokyseliny jsou poté transportovány do cílových tkání, především jater (hlavní orgán syntetizující bílkoviny), kde se stávají součástí tkání, enzymů, transportních bílkovin a mnohých dalších. (Křížová, 2019)

V těle probíhá nepřetržitě degradace a resyntéza bílkovin. Tento pojem se označuje jako proteinový obrat. Jeho hodnota se mění s věkem, kdy u kojenců se pohybuje okolo 17,4 g/kg, v dospělém věku 3–4 g/kg a u starších dospělých již jen 1,9 g/kg tělesné hmotnosti. Rovnováha je řízena hormonálně a ovlivňuje ji celá řada faktorů. (Svačina et al., 2008)

Minimální příjem u zdravého jedince by měl být 0,8 g/kg tělesné hmotnosti (lze tedy počítat s příjmem 1 g/kg tělesné hmotnosti), výše příjmu se ale také odvíjí podle několika faktorů, např. pohlaví, fyzická aktivita, akutní onemocnění apod. Potřeba bílkovin na 1 kg tělesné hmotnosti se bude lišit také u podvyživeného jedince (reálně podhodnocený příjem) a jedince s nadváhou (reálně nadhodnocený příjem), proto je vhodnější vyjadřovat potřebu bílkovin na tukuprostou tělesnou hmotnost (Wierdsma et al., 2017). Dostatečný příjem bílkovin zajistí udržení svalové hmoty a správné fungování a vývoj organismu. (Kohout, 2019)

Bílkoviny lidského organismu se skládají z 20 základních aminokyselin. Osm z nich je pro organismus nezbytných (esenciálních), neumí si je syntetizovat, tudíž musí být přijímány stravou. Jedná se o aminokyseliny: leucin, izoleucin, valin, lyzin, methionin, fenylalanin, threonin a tryptofan. Jako jediný substrát nejsou bílkoviny ukládány v zásobní formě, proto v případě vyšší potřeby organismus štěpí strukturální bílkoviny (především svalovinu), čímž dochází k jeho poškození. (Kohout, 2019; Křížová, 2019; Stránský et al., 2019)

1.3.4 Alkohol

Alkohol (ethanol) je čirá tekutina vznikající anaerobním kvašením pomocí kvasinek, má specifickou vůni a chuť. Výroba alkoholu se rozlišuje podle koncentrace, kdy u vysokoprocentních alkoholických nápojů se navíc využívá metody destilování, kterou se koncentrace alkoholu v nápoji zvyšuje. Běžné hodnoty koncentrací alkoholu jsou u piva 4–5 %, u vína 8–13 % a u destilátů a likérů 15–40 %. (Zlatohlávek, 2019)

Alkohol se, spíše než jako energetický zdroj, vyhledává pro své psychotropní, hypnosedativní a trankvilizující účinky na organismus (Zlatohlávek, 2019). Zlatohlávek (2019) také uvádí, že se alkohol po požití rychle vstřebává již v dutině ústní a poté v žaludku. Dle Stránského et al. (2019) se vstřebává z malé části v dutině ústní, poté z 20 % v žaludku, zbytek (cca 80 %) se ve střevě z malé části štěpí a z velké míry vstřebává a je transportován do jater, kde se metabolizuje.

Hladina alkoholu v krvi závisí na jeho zkonsumovaném množství, tělesné hmotnosti jedince, rychlosti absorpce a rychlosti odbourávání (Zlatohlávek, 2019). Rychlost absorpce zpomaluje těžko stravitelná strava (např. tučná jídla) a naopak zrychluje prázdný žaludek, přítomnost CO₂, vyšší teplota, obsah cukru v nápoji a rychlá konzumace (Stránský et al., 2019).

Rychlost odbourávání je nezávislá na koncentraci alkoholu v krvi (Stránský et al., 2019). Alkohol se odbourává v játrech na acetaldehyd a následně na acetát, který se může účastnit metabolických dějů (např. syntéze cholesterolu, mastných kyselin a jejich esterů) a odbourává se cca 0,1 g alkoholu na 1 kg hmotnosti a hodinu (Zlatohlávek, 2019).

V organismu je alkohol z 95 % metabolizován a využitý jako zdroj energie, jen 5–10 % se vylučuje v nezměněné formě močí, potem, dechem nebo ledvinami (Stránský et al., 2019). Jeden gram alkoholu obsahuje 7 kcal (29 kJ), představuje tak vysokoenergetický zdroj chudý na významné esenciální živiny a může také narušovat vstřebávání některých látek (např. B₆, B₁₂, B₂, kyselina listová, vitaminy A, D, E, magnézium a zinek) (Zlatohlávek, 2019).

1.3.5 Sledování energetického příjmu

Nutriční terapeut využívá různé metody k hodnocení příjmu stravy. Nejčastěji využívané pro zjištění stávajícího denního příjmu jsou jídelní deník nebo 24hodinový recall (zpětné

zaznamenávání stravy během dne). Do jídelního deníku by měl být zaznamenáván veškerý příjem potravy v jednotlivých dnech, ideálně zvážené množství a přesný popis nebo receptura. (Wierdsma et al., 2017)

V praxi nutričního terapeuta se využívají i metody (např. nutriční screening) na zjištění aktuálních informací o stavu výživy, stravovacích zvyklostech, zažívacích obtížích, alergiích nebo intolerancích a také na zjištění případných možných komplikací s příjmem potravy. (Wierdsma et al., 2017)

Vedle sledování energetického příjmu je také důležité sledovat složení stravy, zda je pestrá a vyvážená, na to může mít vliv sociální zázemí a finanční možnosti. Lze tedy také zohledňovat rodinnou, sociální anamnézu. (Kleinwächterová a Brázdová, 2005)

1.4 Energetický výdej

Celkový energetický výdej (TEE – total energy expenditure) se skládá z několika složek – bazální metabolismus, fyzická aktivita, termický efekt potravy (Společnost pro výživu, 2011). V průběhu života jedince je energetický výdej závislý na určitých ovlivnitelných nebo neovlivnitelných faktorech a také na aktuálním zdravotním stavu, který může omezit i jiné aktivity spojené s výdejem energie (Vágnerová, 2020).

1.4.1 Bazální energetický výdej

Bazální energetický výdej (BEE – basal energy expenditure; BMR – basal metabolic rate) je energie zajišťující fyziologické procesy organismu ve fyzickém i psychickém klidu, po 10hodinovém lačnění, ve stálém termickém prostředí a v bdělém stavu (Křížová, 2019). Vágnerová (2020) uvádí 12–14hodinové lačnění, a kromě bdění také mentální relaxaci. Fyziologické procesy jsou především činnost srdce, plic a jiných orgánů, termoregulace a transport a metabolismus látek (Stránský et al., 2019). Jednotlivé orgány se podílejí na spotřebě energie v závislosti na jejich zatížení (játra 27 %, střevo 20 %, mozek 19 %, kosterní sval 17 %, srdce 10 % a ledviny 7 %) (Zadák, 2008).

Hodnota bazálního energetického výdeje je také závislá na věku, pohlaví a množství beztukové tkáně, proto mají muži o cca 10 % vyšší hodnotu BEE. Vzhledem k věku dochází k největšímu poklesu v období puberty. Ve stáří je pokles spojen se změnou tělesného složení – náhrada svalové hmoty za tukovou (Svačina et al., 2010). U žen se mezi 20. a 40. rokem téměř nemění, ale po 40. roce života dochází vlivem hormonálních

změn k prudšímu poklesu. U mužů po pubertě zvolna klesá, asi o 2–3 % ročně, kdy je nejmenší pokles mezi 30. a 50. rokem. Z celkového energetického výdeje za běžných podmínek činí cca 60 %. (Křížová, 2019; Stránský et al., 2019)

Výši bazálního energetického výdeje lze buď vypočítat rovnicemi, které počítají s hmotností těla, výškou nebo také s beztukovou hmotou, nebo lze změřit několika metodami (např. nepřímá kalorimetrie nebo dvojitě značená voda) (Společnost pro výživu, 2011).

1.4.2 Klidový energetický výdej

V klinické praxi se pracuje s pojmem klidový energetický výdej, jelikož se jen obtížně dosahuje podmínek pro absolutně přesné měření bazálního energetického výdeje (Vágnerová, 2020). Klidový energetický výdej (REE – resting energy expenditure) je hodnota energie, kterou vydáváme v klidové poloze jako je sed nebo leh. Dle Křížové (2019) je asi o 5 % vyšší než hodnota BEE, Bernaciková et al. (2012) a Vágnerová (2020) uvádějí hodnotu o 10 % vyšší, než je hodnota BEE. Klidový energetický výdej je možné změřit pro kteroukoliv denní dobu 2 hodiny po jídle ve stálém prostředí a po 30 minutách klidu na lůžku (Svačina et al., 2010).

1.4.3 Výdej energie fyzickou aktivitou

Výdej energie fyzickou aktivitou je nejvíce proměnlivou složkou, kde závisí na trvání fyzické aktivity, její intenzitě a náročnosti, případně i na tělesné hmotnosti jedince (Křížová, 2019).

Výdej energie na různé činnosti v průběhu dne můžeme počítat podle koeficientu PAL (=physical activity level). Ten vychází ze vztahu celkového energetického výdeje děleného bazálním energetickým výdejem (TEE/BEE) a pohybuje se v hodnotách od 1,2 (ležící lidé) do 2,4 (výkonní sportovci). Svou hodnotou ukazuje míru aktivity jedince v průběhu dne. Aktivitám můžeme přiřadit různou hodnotu a stanovit průměrný denní koeficient pro výpočet celkové energetické potřeby jedince (tab. 4). (Společnost pro výživu, 2011)

Jiný používaný termín je NEAT (= non-exercise activity thermogenesis) a je to vydaná energie mimo bazální metabolismus, termický efekt potravy a sportovní aktivitu. Jedná se tedy především o chůzi, stání, domácí práce a jiné. (Levine, 2002)

1.4.4 Termický efekt potravy

Termický efekt potravy je nárůst energetického výdeje po konzumaci. K největšímu nárůstu dochází po 90 minutách po perorálním příjmu a normalizuje se v rozmezí 2–4 hodin po jídle. (Svačina et al., 2010)

Reakce organismu je na každou živinu odlišná podle množství a náročnosti na metabolizaci substrátů v potravě. Nejvyšší termický efekt mají bílkoviny – okolo 30 %, méně mají sacharidy – 4 % a nejmenší termický efekt mají tuky – 2 %. U smíšené stravy se proto uvádí průměrná hodnota 10 %. (Křížová, 2019)

1.4.5 Ovlivnění energetického výdeje

Ovlivnění energetického výdeje může nastat při změně energetických nároků (např. zánětlivá reakce) nebo při změně přísunu energie (např. prosté hladovění) (Kohout, 2019).

Na prosté hladovění organismus reaguje změnou metabolických procesů a ovlivněním energetického výdeje (Kohout, 2019). Kohout et al. (2021) udává, že ke spotřebování jaterního glykogenu dojde za 24 hodin.

Po spotřebování zásobního glykogenu se začínají postupně metabolizovat tukové zásoby nebo bílkoviny (Křížová, 2019; Kohout, 2021). Oxidace mastných kyselin zapříčiní vznik ketolátek, které jsou energií pro jiné tkáně (např. buňky CNS) (Kohout, 2019).

Pokud hladovění trvá déle než 3 dny, postupně se snižuje bazální a tím i celkový energetický výdej, klesne také syntéza stresových hormonů a hormonů štítné žlázy (Kohout, 2019). Plný rozvoj adaptace na hladovění nastává po 2 týdnech (Kohout et al., 2021).

Při prostém hladovění se nezvyšuje oxidace bílkovin, ale naopak se snižuje z obvyklých 70 g/den až na 20 g/den (Kohout, 2019). Energetické zásoby u zdravého jedince vystačí zhruba na dva až tři měsíce (Kohout et al., 2021).

Při akutních stavech (např. sepse, polytrauma, popáleniny) se aktivuje systémová zánětlivá odpověď, zvýší se hladina kortizolu, glukagonu a katecholaminů, naopak se sníží hladina inzulínu. Může docházet k navýšení bazálního metabolického výdeje, jehož délka i intenzita závisí na závažnosti onemocnění (Wierdsma et al., 2017).

Dochází k mobilizaci energie a substrátů, především aminokyselin, které jsou potřebné pro imunitní a regenerační procesy. Nejprve dochází k odbourávání sérových bílkovin (albuminu) a snižuje se jejich syntéza, poté dochází k degradaci aktivní tělesné hmoty. Nejpresnější informaci o energetickém výdeji organismu v akutním stavu lze získat právě metodou nepřímé kalorimetrie a pomocí dusíkové bilance stanovit i ztráty a potřebný příjem bílkovin. (Kohout, 2019, Křížová, 2019)

1.5 Stanovení energetické potřeby

První termodynamická věta říká, že energie přijatá se rovná energii vydané. Tento zákon platí jak pro neživé objekty, tak i pro živé organismy. Ve výživě člověka se musí zohledňovat celkový výdej energie. (Kohout et al., 2021)

Existuje řada metod pro stanovení energetické potřeby jedince. Prvním je hrubý odhad denní energetické potřeby, který počítá ± 30 kcal/kg, ale je nevhodné se jím řídit kvůli špatnému odhadu u jedinců s příliš nízkou nebo vysokou tělesnou hmotností. (Wierdsma et. al, 2017)

Některé metody (přímá kalorimetrie, dvojitě značená voda) jsou spíše pro výzkumné účely v laboratořích a pro praktické účely nejsou použitelné. Namísto nich se v praxi využívá nejčastěji indirektní energometrie (nepřímá kalorimetrie), Harris-Benedictova (HB) nebo Fickova rovnice. (Zadák, 2008)

Wierdsma (2017) uvádí ještě rovnici WHO (Světové zdravotnické organizace) z roku 1985, která je jiná pro skupiny dle pohlaví a věku, tedy muže a ženy ve věkovém rozmezí 18–30, 30–60 a >60 let, avšak autorka ukazuje na nedostatky odhadů pro stanovení energetické potřeby jedince.

Přesnost těchto výpočtů je však velmi omezená. Pouze u poloviny pacientů, jejichž energetická potřeba byla odhadnuta pomocí těchto rovnic, se odhad lišil do ± 10 % od jejich změřeného klidového energetického výdeje. (Wierdsma et al., 2017, s. 49)

Jelikož potřeba energie je čistě individuální, je tedy vždy vhodnější ji změřit (Wierdsma et al., 2017). Nejčastěji používaná u stabilizovaných i kritických pacientů je nepřímá kalorimetrie (Zadák, 2008).

V případě, že měření pomocí nepřímé kalorimetrie není k dispozici, musí se celkový energetický výdej dopočítávat na základě výpočtu bazálního metabolismu (nejčastěji HB

rovnici) a pomocí faktorů zohledňující stav pacienta. Faktory mohou být v rozmezí hodnot 0,4 až 2,0 a jsou to např. faktor postižení (umělá plicní ventilace, sepse, popáleniny a další), faktor aktivity a teplotní faktor. (Křížová, 2019)

Celkový energetický výdej se vypočítá násobením bazálního energetického výdeje jednotlivými faktory:

$$\text{TEE [kcal]} = \text{BEE} \times \text{IF} \times \text{AF} \times \text{TF}$$

(TEE – celkový energetický výdej (total energy expenditure), BEE – bazální energetický výdej z HB rovnice, IF – faktor postižení (injury factor), AF – faktor aktivity (activity factor), TF – teplotní faktor) (Křížová, 2019)

„Při jakémkoli propočtu energetické potřeby je nezbytně nutné mít na paměti, že kalkulovaná hodnota je pouze odhadem a s takovým je třeba pracovat.“ (Vágnerová, 2020, s. 116)

1.5.1 Harris-Benedictova rovnice

Na základě nepřímé kalorimetrie byla vytvořena tato rovnice pro výpočet bazální energetické potřeby (tab. 1) (Zadák, 2008). Ačkoliv se jedná o nejstarší rovnici pro výpočet bazální energetické potřeby, používá se dodnes (Tomíška, 2018). Rovnice počítá s tělesnou hmotností, výškou a věkem jedince a rozlišuje pohlaví (Křížová, 2019).

Původně byl vztah kritizován kvůli nepoměrově zastoupené výzkumné skupině (nedostatek jedinců vyššího věku a obézních). Opakovaným měřením a porovnáváním s výpočty, na skupině se širším rozsahem hmotnosti i věku, se zjistila u 15 % měřených mužů a u 19 % měřených žen odchylka, která byla větší než 10 %. (Zadák, 2008)

Dle Zadáka (2008) je i přes odchylky rovnice pro klinické účely dobře použitelná. Wierdsma (2017) dodává, že její využití je nejvhodnější u obézních pacientů. Tomíška (2018) ve své publikaci o onkologických pacientech udává, že by nepřímá kalorimetrie měla mít přednost před HB rovnicí při malnutrici a u nemocných jedinců.

Tabulka 1 Harris-Benedictova rovnice

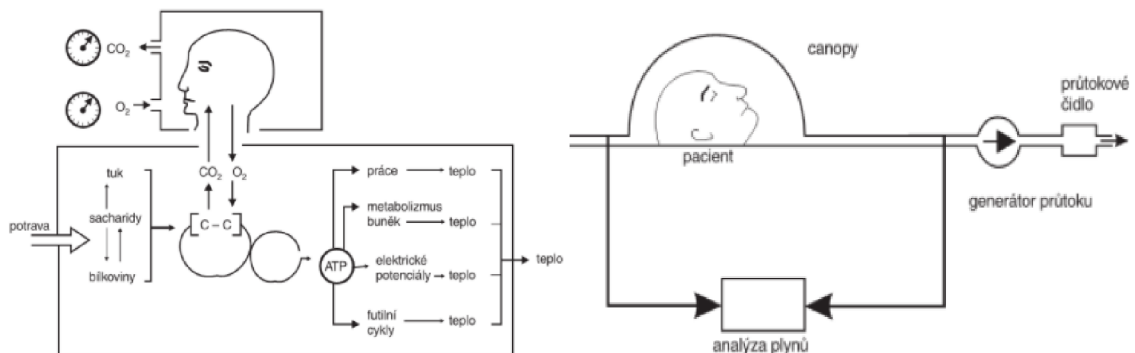
Původní rovnice z roku 1919	
pro ženy	$66,5 + 13,75 \times \text{hmotnost (kg)} + 5 \times \text{výška (cm)} - 6,8 \times \text{věk (roky)}$
pro muže	$655 + 9,6 \times \text{hmotnost (kg)} + 1,85 \times \text{výška (cm)} - 4,7 \times \text{věk (roky)}$
Revidovaná rovnice z roku 1984	
pro ženy	$447,6 + 9,25 \times \text{hmotnost (kg)} + 3,1 \times \text{výška (cm)} - 4,3 \times \text{věk (roky)}$
pro muže	$88,4 + 13,4 \times \text{hmotnost (kg)} + 4,8 \times \text{výška (cm)} - 5,7 \times \text{věk (roky)}$

Zdroj: Tomiška, 2018

I přes odlišnost jednotlivých rovnic jsou výsledky obou téměř totožné a je možné predikovat BEE s přesností přibližně 14 % (Tomáška, 2018).

1.5.2 Nepřímá kalorimetrie

Nepřímá kalorimetrie (obr. 2) se používá ke stanovení klidového energetického výdeje (REE) z naměřených hodnot spotřebovaného objemu kyslíku (O_2) a vyprodukovaného objemu oxidu uhličitého (CO_2) (Křížová, 2019). Kyslík je přítomen při oxidaci energetických substrátů, která produkuje oxid uhličitý, vodu a teplo (Wierdsma et al., 2017).



Obrázek 2 Schéma principu nepřímé kalorimetrie a měření s využitím kanopy (zdroj: Zadák, 2008)

Vdechovaný vzduch proudí skrze kanopu nebo dýchací masku, kde se kontroluje jeho průtok, a vydechovaný vzduch je odváděn do analyzátoru (Křížová, 2019).

Základní předpoklady metody nepřímé kalorimetrie dle Zadáka (2008) jsou:

- 1) Spotřebovaný kyslík a vyprodukovaný oxid uhličitý závisí na množství utilizovaných substrátů.
- 2) Všechn spotřebovaný kyslík a vyprodukovaný oxid uhličitý přecházejí výhradně do dechu.
- 3) Plyny se chovají jako „ideální plyny“.
- 4) Kyslík ani oxid uhličitý se nehromadí v organismu.

Z toho vyplývá hned několik nepřesností, protože O_2 a CO_2 nejsou ideálními plyny, spotřeba kyslíku se nedá odlišit na spotřebovaný kyslík k tvorbě ATP a spotřebovaný kyslík na tvorbu volných kyslíkových radikálů a poslední, že vylučování oxidu uhličitého může být v krátkém časovém úseku nerovnoměrné. (Zadák, 2008)

Problém nastává také u oběhově nestabilních pacientů a pacientů, kteří potřebují vysokou koncentraci kyslíku ve vdechovaném vzduchu. Metoda také ztrácí přesnost, pokud v organismu probíhají ketogeneze, glukoneogeneze nebo při tvorbě laktátu z glukózy při anaerobních podmínkách. (Rušavý, 2010)

1.5.2.1 Historie

Že živočichové produkují teplo, se prokázalo v 18. století. Zároveň s tímto objevem se zjistila přítomnost kyslíku, jeho spotřeba při dýchání a hoření. První kalorimetr vznikl začátkem 19. století u dvou německých fyziologů Carl von Voit a Max Joseph von Pettenkofer. Tento kalorimetr dokázal měřit rozdíly v produkci CO_2 a spotřebu O_2 při konzumaci různých potravin. Nejdříve byla nepřímá kalorimetrie používána k výzkumům, v 70. letech 20. století s vývojem první tzv. kanopy (canopy – ventilovaný box z plastické hmoty) se začala používat pro stanovení nutriční potřeby nemocných a stala se součástí klinické praxe. (Kohout et al., 2021)

1.5.2.2 Výpočty oxidace energetických substrátů

Výsledky měření na nepřímé kalorimetrii jsou vypočítávány z naměřené spotřeby kyslíku (VO_2) a produkce oxidu uhličitého (VCO_2), které jsou součástí oxidace energetických substrátů (Kohout et al., 2021). Vypočítává se respirační kvocient (RQ), což je poměr mezi produkcí CO_2 a spotřebou O_2 , který udává množství spotřebovaných jednotlivých

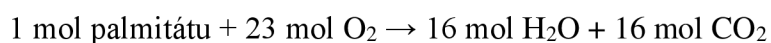
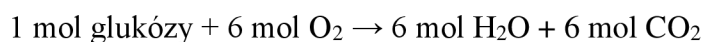
substrátů (Wierdsma et al., 2017). Hodnota RQ při hladovění klesá a po jídle naopak stoupá (Rušavý, 2010).

Tabulka 2 Spotřeba kyslíku, produkce oxidu uhličitého a respirační kvocient při úplné oxidaci základních energetických substrátů

Substrát	Spotřeba O ₂ (l/g)	Produkce O ₂ (l/g)	RQ
cukry (glukóza)	0,829	0,829	1,0
tuky (palmitát)	2,010	1,430	0,7
bílkoviny (smíšené)	0,966	0,774	0,8

Zdroj: Kohout et al., 2021

Ve výpočtech jsou používány tyto známé vztahy a hodnoty uvedené v tabulce (tab. 2).



1 g dusíku v moči = 6,25 g oxidovaných bílkovin

Z výše uvedených vztahů a tabulky č. 2 vyplývá:

Spotřeba kyslíku

$$\text{VO}_2 [\text{l}] = 0,829 \times \text{cukry} [\text{g}] + 2,01 \times \text{tuky} [\text{g}] + 6,04 \times \text{dusík v moči} [\text{g}]$$

Produkce oxidu uhličitého

$$\text{VCO}_2 [\text{l}] = 0,829 \times \text{cukry} [\text{g}] + 1,43 \times \text{tuky} [\text{g}] + 4,84 \times \text{dusík v moči} [\text{g}]$$

Množství oxidovaných energetických substrátů lze vypočítat jako:

$$\text{Cukry} [\text{g}] = 4,59 \times \text{VCO}_2 [\text{l}] - 3,25 \times \text{VO}_2 [\text{l}] - 3,68 \times \text{dusík v moči} [\text{g}]$$

$$\text{Tuky} [\text{g}] = 1,69 \times \text{VCO}_2 [\text{l}] - 1,69 \times \text{VO}_2 [\text{l}] - 1,72 \times \text{dusík v moči} [\text{g}]$$

$$\text{Bílkoviny} [\text{g}] = 6,25 \times \text{dusík v moči} [\text{g}]$$

Celkový energetický výdej lze tedy vypočítat jako:

$$\text{TEE} [\text{kcal}] = 3,87 \times \text{VO}_2 [\text{l}] + 1,19 \times \text{VCO}_2 [\text{l}] - 5,99 \times \text{dusík v moči} [\text{g}]$$

Na základě tří sledovaných veličin (VO_2 , VCO_2 a odpadu dusíku v moči) lze stanovit celkový energetický výdej za sledované období a poměrové zastoupení oxidací cukrů, tuků a bílkovin (Kohout et al., 2021).

Pokud chceme vypočítat pouze celkový energetický výdej, není potřebné znát hodnotu odpadu dusíku v moči, jelikož ovlivnění celkového energetického výdeje touto hodnotou je zanedbatelné (Kohout et al., 2021). Také dle Zadáka (2008) vzniká zanedbáním oxidace proteinů pouze 1% chyba. Výpočet můžeme tedy dle Kohouta (2021) provádět pouze s hodnotami VO_2 a VCO_2 , použitím Brouweova vzorce:

$$TEE [kcal] = 3,84 \times VO_2 [l] + 1,12 \times VCO_2 [l]$$

Ale dle Zadáka (2008) je u kritických pacientů podíl oxidovaných bílkovin velmi rozdílný oproti stabilnímu jedinci a nedoporučuje jeho zanedbávání. Ten pro výpočty použil Weirovu rovnici, která vypadá takto:

$$TEE [kcal] = 3,94 \times VO_2 [l] + 1,11 \times VCO_2 [l] - 2,17 \times \text{odpad urey [g]}$$

Energetický výdej je možné také měřit pouze na základě spotřeby kyslíku nebo produkce oxidu uhličitého. Je ale zapotřebí hodnota respiračního kvocientu (RQ).

Rovnice pro výpočet energetického výdeje na podkladě sledování spotřeby kyslíku nebo produkce oxidu uhličitého:

$$TEE [kcal] = (3,84 + 1,12 \times RQ) \times VO_2 [l] = (1,12 + 3,84 / RQ) \times VCO_2 [l]$$

Pokud hodnotu RQ neznáme, stanovujeme energetický výdej s různě velkou chybou (Kohout et al., 2021). Při sledování spotřeby kyslíku stanovujeme RQ 0,85 pro výpočet klidového energetického výdeje (Wierdsma et al., 2017). Při metodě sledování spotřeby kyslíku vzniká menší odchylka asi 7 %, při využití hodnoty produkce oxidu uhličitého se tato odchylka může dostat až na 30 % (Kohout et al., 2021).

1.5.3 Dusíková bilance

Dusíková bilance se stanovuje z příjmu bílkovin stravou a odpadem dusíku (především v moči) (Křížová, 2019). Odráží tedy celkový metabolismus bílkovin a aminokyselin v těle (Kohout et al., 2021).

Přesně stanovit hodnoty příjmu i ztrát bílkovinného dusíku je náročné a v praxi nedostupné, využívá se tedy zjednodušených odhadů (Kohout et al., 2021). V praxi se příjem dusíku stanovuje sledováním příjmu bílkovin a vypočítává se pomocí vztahu, že 1 g dusíku je obsažen v 6,25 g bílkovin (Křížová, 2019). Odpad dusíku se odhaduje z nasbíraného množství moči za sledovaný čas pomocí vztahu, že 1 mmol močoviny obsahuje 0,0336 g dusíku (z toho je 84 % močovina, zbylých 16 % amonný kation a ostatní formy dusíku) (Kohout et al., 2021).

Ztráty dusíku jinými cestami (stolicí, kůží nebo v podobě jiných dusíkatých látek) jsou dle Křížové (2019) průměrně 1,5 g za den a při průjmech mohou dosahovat až 4 g za den, Kohout et al. (2021) uvádí výši těchto ztrát kolem 2–4 gramů za den. Ve výpočtech Křížová (2019) s těmito ztrátami vůbec nepočítá, naopak Kohout et al. (2021) počítá se ztrátami 4 g dusíku.

Celková dusíková bilance se tedy dle Kohouta et al. (2021) vypočítá pomocí rovnice:

Dusíková bilance [g] = příjem bílkovin [g] / 6,25 – (koncentrace močoviny v moči [mmol/l] x objem moči [l] x 0,0336 + 4)

Limitací jsou zmíněné neměřitelné ztráty dusíku kůží a stolicí nebo ztráty dusíku do ascitu, odvod drény aj. Při katabolickém stavu se zvyšuje podíl amonného kationtu, který může falešně ovlivňovat dusíkovou bilanci na příznivější hodnoty. (Kohout et al., 2021)

Průměrné ztráty dusíku močí ve stabilním stavu bez katabolismu se pohybují okolo 10 až 12 g za den. Ztráty dusíku močí jsou potřebné pro výpočet REE spolu s naměřenými hodnotami na nepřímé kalorimetrii. (Křížová, 2019)

Pokud přívod dusíku vázaného v přijímaných bílkovinách převyšuje odpad dusíku v močovině, převažuje také nová tvorba bílkovin z jednotlivých aminokyselin nad jejich katabolismem. Vztah platí i obráceně, při odpadu dusíku v močovině vyšším, než je jeho příjem, převažuje katabolismus bílkovin nad anabolismem. (Kohout et al., 2021)

Část aminokyselin se využívá k syntéze jiných látek, než jsou bílkoviny, nebo se jiným způsobem odbourávají, ale při fyziologických podmínkách jsou tyto hodnoty oproti metabolismu zanedbatelné (Kohout et al., 2021).

2 CÍL PRÁCE

2.1 Cíl práce

Hlavní cíl práce (C1) je porovnání výsledků měření na nepřímé kalorimetrii s výpočtem klidového metabolismu pomocí prediktivní Harris-Benedictovy rovnice, kterou využívá k predikci výsledků také přístroj nepřímé kalorimetrie.

Vedlejší cíl práce (C2) je zmapování odlišnosti výsledků měření na nepřímé kalorimetrii na základě složení stravy respondentů a poměrovém zastoupení jednotlivých substrátů.

2.2 Výzkumné otázky

Pro splnění cílů práce jsem stanovil jednotlivé výzkumné otázky:

O1: Jak se liší data získaná pomocí nepřímé kalorimetrie a data získaná pomocí výpočtu?

O2: Jak aktuální celkový energetický příjem odpovídá energetické potřebě respondentů?

O3: Jak může složení stravy ovlivňovat výsledky měření nepřímou kalorimetrií? (Jakým způsobem může souviset zastoupení makroživin v jídelníčku s výsledky měření?)

2.3 Operacionalizace

Nepřímá kalorimetrie – přístroj používaný ke stanovení klidového energetického výdeje (REE) z naměřených hodnot spotřebovaného objemu kyslíku (VO_2) a vyprodukovaného objemu oxidu uhličitého (VCO_2) (Tatucu-Babet a Ridley, 2019).

Harris-Benedictova rovnice – prediktivní rovnice pro výpočet bazální energetické potřeby z údajů o tělesné hmotnosti a výšce, věku a pohlaví jedince (Schofield et al., 2019).

Referenční hodnota – nejnižší nebo nejvyšší hodnota určité veličiny, která se považuje za normální, respektive přípustnou (Vokurka a Hugo, 2006).

Prediktivní – předpovídající nebo výpovědní způsob zjišťování hodnot (Vokurka a Hugo, 2006).

Substráty/makroživiny – látky (sacharidy, tuky a bílkoviny) přeměnitelné pomocí specifických enzymů (Vokurka a Hugo, 2006).

3 METODIKA

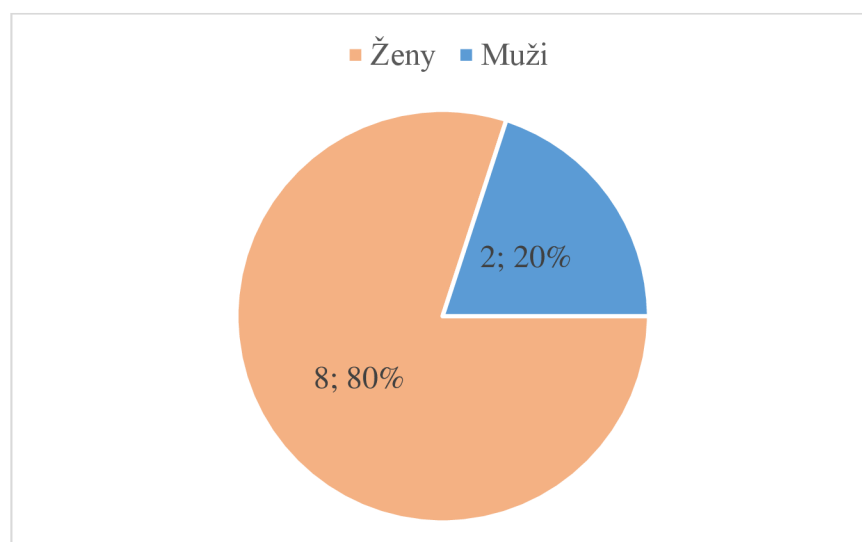
3.1 Metodika práce

Praktická část této práce, s názvem „Stanovení klidového energetického výdeje metodou nepřímé kalorimetrie“, byla zpracovávána pomocí kvantitativní výzkumného šetření. Seznámení s obsluhou přístroje pro nepřímou kalorimetrii a cvičné měření proběhlo v říjnu 2021, kdy byla zjištěna závada na přístroji, která výrazně nadhodnocovala výsledky měření. Z toho důvodu se měření respondentů muselo odložit na březen 2022 kdy, po opravě zařízení odpovídaly měřené hodnoty predikovaným.

Respondenti byli sháněni v září 2021 rozesláním hromadné e-mailové korespondence studentům Zdravotně sociální fakulty Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích studující obor Nutriční terapie anebo slovním nabídnutím účasti ve výzkumu. Podmínkami k zařazení do výzkumného souboru byly plnoletost, absence akutních a chronických onemocnění, schopnost zapisovat jídelníček a splnit kritéria před měřením na nepřímé kalorimetrii. Tato kritéria byla součástí e-mailu společně s požadavky pro správný zápis stravy. Informovaný souhlas k zařazení do výzkumu (příloha 1) podepsali všichni respondenti, kteří se výzkumu zúčastnili. Bylo jim také přiřazené náhodné ID.

3.2 Charakteristika výzkumného souboru

Výzkumný soubor zahrnuje 10 respondentů, z nichž je 8 žen a 2 muži (graf 1).



Graf 1 Zastoupení žen a mužů ve výzkumném souboru (*zdroj: vlastní*)

Tabulka 3 Charakteristika výzkumného souboru (SD – směrodatná odchylka, MED – medián, MIN – minimální hodnota souboru, MAX – maximální hodnota souboru)

	Průměr	SD	MED	MIN	MAX
Věk [roky]	29,4	14,4	22,5	20	65
Váha [kg]	69,2	11,1	65,9	58	93
Výška [cm]	170,6	7,2	172	155	184
BMI [kg/m ²]	23,8	4,1	21,6	19,9	32,9
Podíl svalů [%]	41,0	5,9	42,0	29,4	49,7
Podíl tuku [%]	26,6	9,5	24,2	13,8	46,1
PAL [-]	1,42	0,1	1,4	1,3	1,6

(zdroj: vlastní)

Charakteristika výzkumného souboru je uvedena v tabulce (tab. 3). Průměrný věk respondentů je 29,4 let (MED 22,5 let; SD 14,4 let; MIN 20 let a MAX 65 let), s průměrnou tělesnou hmotností 69,2 kg (MED 65,9 kg; SD 11,1 kg; MIN 58 kg a MAX 93 kg), s průměrnou tělesnou výškou 170,6 cm (MED 172 cm; SD 7,2 cm; MIN 155 cm a MAX 184 cm), průměrným BMI 23,8 kg/m² (MED 21,6 kg/m²; SD 4,1 kg/m²; MIN 19,9 kg/m² a MAX 32,9 kg/m²), procentuální zastoupení svalové hmoty je u výzkumného souboru průměrně 41 % (MED 42 %; SD 5,9 %; MIN 29,4 % a MAX 49,7 %), procentuální zastoupení tukové tkáně z celkového složení těla je průměrně 26,6 % (MED 24,2 %; SD 9,5 %; MIN 13,8 % a MAX 46,1 %) a průměrný pohybový koeficient PAL 1,42 (MED 1,4; SD 0,1; MIN 1,3 a MAX 1,6).

3.3 Sběr a analýza dat

Data byla získávána na místě měření. Respondenti byli zváni na termíny ve skupinách dvakrát po třech a jednou po čtyřech, každý s minimální časovou rezervou 15 minut před plánovaným začátkem doby určené k relaxaci před měřením. V tomto čase byl respondentům předán dotazník k vyplnění pro získání klíčových údajů.

Po vyplnění dotazníku byla u respondentů změřena tělesná výška pomocí výškoměru a tělesná hmotnost na váze s bioimpedancí pro měření tělesného složení, které bylo, původně neplánovaně, v práci využito k porovnání s výsledky měření nepřímé kalorimetrie. Samotné měření na nepřímé kalorimetrii probíhalo po splnění podmínek

před měřením v klidu na lůžku. Celkový čas potřebný na změření jednoho respondenta odpovídal přibližně 1 hodině. Ihned po měření mohl respondent odejít.

Analýza dat probíhala v programu Microsoft Excel. V programu jsem vypočítal predikovaný klidový energetický pomocí HB rovnice s připočtením rozdílu mezi bazálním a klidovým energetickým výdejem. Dále jsem data shrnul do tabulek a vytvořil přehledné grafy pro interpretaci výsledků.

Vyplněné dotazníky, výsledky měření tělesné výšky a váhy, bioimpedance a nepřímé kalorimetrie a zápisy jídelníčků jsou uchovány v archivu autora.

3.3.1 *Dotazník*

Vyplnění dotazníku probíhalo na místě před samotným měřením nepřímé kalorimetrie. Respondentům byl podán dotazník v písemné podobě k vyplnění (příloha 4). V dotazníku bylo klíčové zjistit základní údaje o věku, zaměstnání (s určením fyzické a psychické náročnosti), dále informace o denní fyzické aktivitě a sportovní aktivitě se specifikováním její úrovně.

3.3.2 *Měření tělesné výšky*

Měření tělesné výšky probíhalo v Institutu aplikovaných sociálních věd – pracoviště praxe Centrum prevence civilizačních chorob v Českých Budějovicích spadající pod Jihočeskou univerzitu. Výška byla měřena na stadiometru SECA 213. Respondenti byli dle pokynů pro měření stanovených výrobcem – ve stoje, bez bot, zády k přístroji a v napřímeném postavení těla s pohledem před sebe.

3.3.3 *Měření tělesné hmotnosti pomocí váhy s bioimpedancí*

Před měřením na nepřímé kalorimetrii proběhlo měření tělesné hmotnosti na váze s bioimpedancí pro měření tělesného složení. Toto měření probíhalo na stejném místě jako měření tělesné výšky a byl použitý přístroj InBody 370S. Jedinci z výzkumného souboru byli měřeni v běžném oděvu bez bot a ponožek. Respondenti byli také požádáni o odložení osobních věcí a hodinek kvůli možnému zkreslení hodnot. Po každém vážení byly elektrody a části zařízení, kterých se respondent dotýkal, očištěny pomocí dezinfekčního přípravku.

3.3.4 *Nepřímá kalorimetrie*

Všem respondentům byla jednou změřena hodnota klidového energetického výdeje pomocí nepřímé kalorimetrie. Měření probíhalo na stejném místě jako ostatní měření. Měřilo se pomocí přístroje Cosmed Quark RMR s použitím kanopy (příloha 2) podle schématu (obr. 2). Pro vypovídající a nezkrácené hodnoty měření byly stanovené následující podmínky před měřením, které museli respondenti splnit:

- 24 hodin bez náročnější fyzické aktivity (běh, trénink apod.);
- 12 hodin lačnění s vynecháním kávy, černého i zeleného čaje a nápojů s obsahem energie;
- 12 hodin bez nikotinových výrobků a alkoholu a pokud je to možné, odložit užívání léků;
- 30 minut ve fyzickém klidu a alespoň 5 minut v klidu na lůžku.

Pro přesnost výsledků byly stanovené následující podmínky měření, které musely být splněné:

- provedení kalibrace průtokoměru kalibračním válcem a kalibrace analyzátoru kalibračním plynem alespoň 30 minut po spuštění přístroje (příloha 3);
- vyvětrání místnosti před měřením, ale po dobu měření mít okna zavřená;
- mírně zatemněná místnost – v průběhu měření se intenzita osvětlení nesmí měnit;
- stálá teplota prostředí v rozmezí 20–25 °C;
- klid v místnosti – bez hluku a pohybu osob;
- respondent v bdělém stavu, v psychickém i fyzickém klidu na lůžku;
- správně nasazená kanopa s dostatečným utěsněním proti okolnímu proudění vzduchu pomocí umělohmotné folie, která je součástí kanopy.

Délka samotného měření se pohybovala v rozmezí 16–19 minut. Prvních pět minut měření se nezapočítává do výsledků kvůli času, který je potřebný na úplné zklidnění měřeného jedince, kontrolu nasazení a zapojení kanopy. V tomto čase se také nastavuje rychlost pumpy podle koncentrace CO₂ ve vydechovaném vzduchu, která by měla být ideálně ustálená v rozmezí hodnot 0,75–1,1 % (příloha 6).

3.3.5 *Prediktivní Harris-Benedictova rovnice*

Všem jedincům výzkumného souboru byla vypočtena hodnota klidového energetického výdeje pomocí HB rovnice pro výpočet bazální energetické potřeby a započtení 5 % zvýšení na hodnotu klidového metabolismus (Křížová, 2019). Harris-Benedictova rovnice počítá s údaji o pohlaví, věku, hmotnosti a výšce (tab. 1). Údaje o výšce i hmotnost respondentů byly změřené, věk byl získán z vyplněného dotazníku.

3.3.6 *Stanovení energetické potřeby*

Pro stanovení energetické potřeby respondentů byly klíčové výsledky měření klidového energetického výdeje pomocí nepřímé kalorimetrie společně s údaji uvedenými v dotazníku, díky kterým byl určen koeficient pohybové aktivity (tab. 4).

Výpočet energetické potřeby proběhl pomocí rovnice s použitím 10% termického efektu stravy, jejíž výsledná hodnota vychází v kilokaloriích (Křížová, 2019):

$$\text{TEE [kcal]} = \text{BEE [kcal]} \times \text{PAL [-]} \times \text{TEF [-]}$$

(TEE – celkový energetický výdej; BEE – bazální energetický výdej; PAL – koeficient pohybové aktivity; TEF – termický efekt potravy)

Rovnice počítá s hodnotou BEE. Z toho důvodu jsem musel od výsledků měřeného REE pomocí nepřímé kalorimetrie odečíst 5% rozdíl, který jsem zmiňoval v

Tabulka 4 – Hodnoty koeficientu pohybové aktivity

PAL	Tělesná aktivita
1,2	Ležící, sedící, bez pohybu.
1,3–1,4	Sedavé zaměstnání bez pohybu, malá nebo žádná náročnější pohybová aktivitou.
1,4–1,5	Sedavé zaměstnání nebo studium s menší pohybovou aktivitou a malá nebo nenáročnější volnočasová aktivita.
1,6–1,7	Práce ve stoje nebo v chůzi, aktivní trávení volného času.
1,8–2,4	Manuálně těžká práce, vysoce aktivní trávení volného času.

(zdroj: Levine, 2002)

3.3.7 Zázpis stravy

Respondenti byly požádáni o 14denní zázpis stravy ve fyzické či elektronické podobě. K fyzickému zázpisu na papír byl vytvořen formulář (příloha 5), následně byl zázpis vyhodnocen v programu Nutriservis Professional. Pro elektronický zázpis stravy byly využity programy Nutriservis Professional. Hodnoty z programů jsem použil v tabulkách a grafech pro porovnávání s vypočtenými hodnotami energetické potřeby.

Respondentům byly předané informace o požadované přesnosti zázpisu pomocí emailové korespondence. Informace o zázpisu obsahovali, že je nutné uvádět přesný název potravin, popřípadě blíže specifikovat informace o výrobku (obsah masa nebo tuku) poskytované výrobcem. Určit hmotnost potravin vážením (v syrovém nebo zpracovaném stavu, a stav také zapsat), podílem z balení nebo odhadem hmotnosti potravin. Respondenti byli požádáni také o zázpisování konzumace všech kalorických nápojů. Byli informováni, že u složených pokrmů je nutné uvádět jednotlivé potraviny zvlášť a že by neměli zapomínat na dochucovadla a tuky přidané do pokrmu při jeho přípravě.

4 VÝSLEDKY

4.1 Hlavní cíl

Hlavní cíl (C1): Porovnat výsledky měření na nepřímé kalorimetrii (IC – indirect calorimetry) s výpočtem klidového metabolismu pomocí prediktivní Harris-Benedictovy rovnice, kterou využívá k predikci výsledků také použitý přístroj nepřímé kalorimetrie.

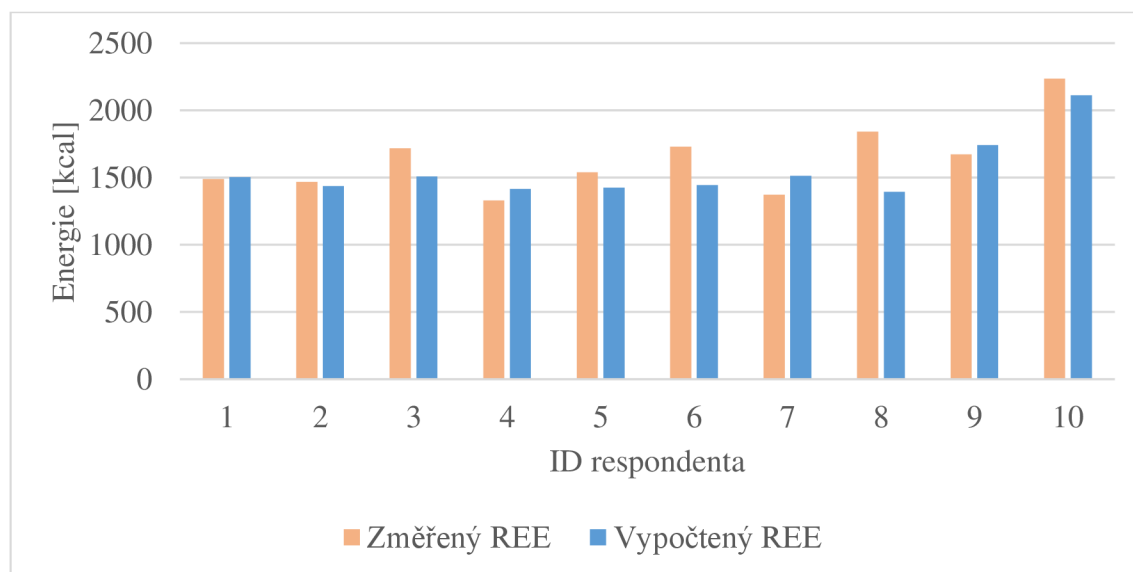
O1: Jak se liší data získaná pomocí nepřímé kalorimetrie a data získaná pomocí výpočtu?

Tabulka 5 Hodnoty změřeného a vypočteného klidového energetického výdeje (D – odchylka, PD – procentuální odchylka)

ID	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Změřený REE [kcal]	1488	1467	1716	1328	1538	1729	1373	1841	1671	2237
Vypočtený REE [kcal]	1503	1435	1508	1415	1424	1444	1511	1393	1741	2112
D [kcal]	15,4	-31,7	-208,3	87,0	-113,8	-285,0	138,4	-447,6	70,0	-124,7
PD [%]	1,0	-2,2	-12,1	6,5	-7,4	-16,5	10,1	-24,3	4,2	-5,6

(zdroj: vlastní)

Hodnota BMR, vypočtená pomocí HB rovnice, je vynásobena koeficientem 1,05 pro zjištění REE, který je o 5 % vyšší než BMR (Křížová, 2019). Hodnoty jsou srovnávané s hodnotami REE změřenými pomocí IC znázorněné v grafu (graf 2) a tabulce (tab. 5), která ukazuje také odchylku (D) a procentuální odchylku (PD) obou výsledků.



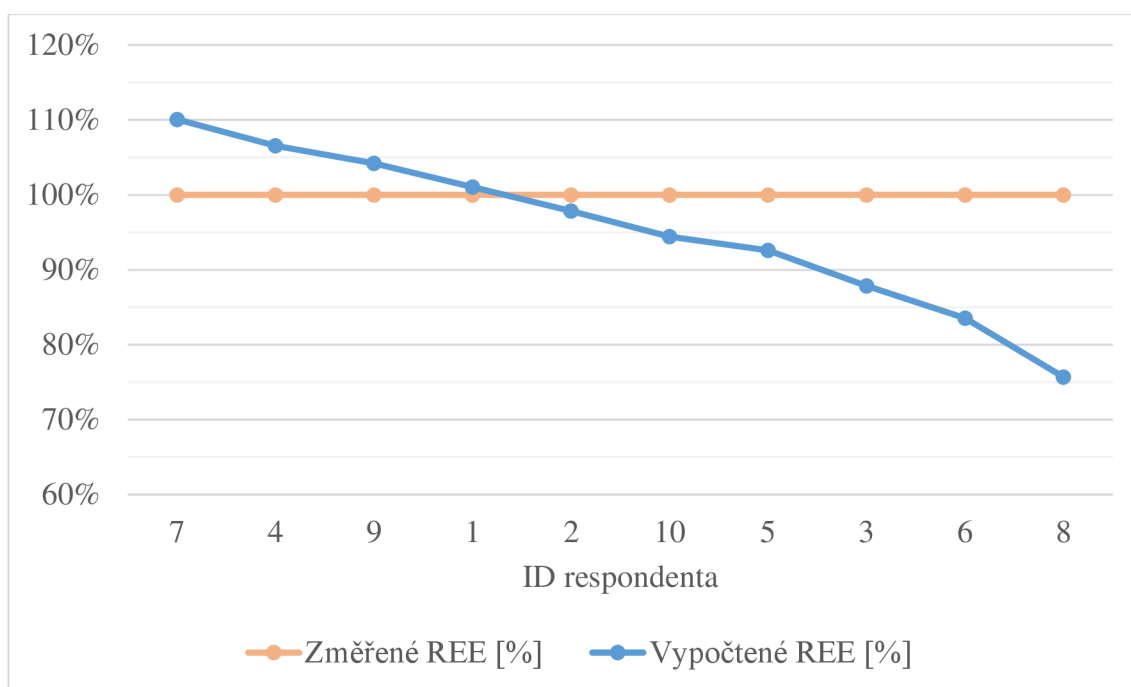
Graf 2 Hodnoty změřeného a vypočteného REE (zdroj: vlastní)

Tabulka 6 Průměrné hodnoty AD a RD mezi vypočteným a změřeným REE

	Průměr	MED	MIN	MAX
AD [kcal]	152,19	119,26	15,37	447,61
RD [%]	8,99	6,97	1,03	24,31

(zdroj: vlastní)

Tabulka (tab. 6) ukazuje průměrné hodnoty absolutních (AD) a relativních odchylek (RD). Průměrná AD je 152,19 kcal (MED 119,26 kcal; MIN 15,37 kcal a MAX 447,61 kcal). Relativní odchylka je v průměru 8,99 % (MED 6,97 %; MIN 1,03 % a MAX 24,31 %).



Graf 3 Procentuální odchylka vypočtené hodnoty REE od referenční změřené hodnoty REE (zdroj: vlastní)

Graf (graf 3) ukazuje procentuální odchylku vypočtené hodnoty REE pomocí HB rovnice a změřeného REE na nepřímé kalorimetrii, který jsem určil jako referenční hodnotu. Hodnoty jsem také seřadil od nejvíc nadhodnocené po nejvíc podhodnocené a k nim přiřadil ID respondenta.

Tabulka 7 Procentní podíl vypočteného REE z referenčního měřeného REE

	Průměr	SD	MED	MIN	MAX
Procentní podíl vypočteného REE z referenčního měřeného REE [%]	95,4	10,2	96,1	75,7	110,1

(zdroj: vlastní)

Tabulka (tab. 7) ukazuje procentní podíl vypočtené hodnoty z referenční měřené hodnoty REE na IC. Ten je průměrně 95,4 % (MED 96,1 %, SD 10,2 %). Nejmenší podíl (75,7 %) ukazuje podhodnocení REE stanoveného výpočtem o 24,3 %, naopak největší podíl (110,1 %) ukazuje nadhodnocení o 10,1 % oproti referenčním měřeným hodnotám REE.

4.2 Vedlejší cíl

Vedlejší cíl práce (C2): zmapovat odlišnosti výsledků měření na nepřímé kalorimetrii na základě složení stravy respondentů a poměrovém zastoupení jednotlivých substrátů.

O2: Jak aktuální celkový energetický příjem odpovídá energetické potřebě respondentů?

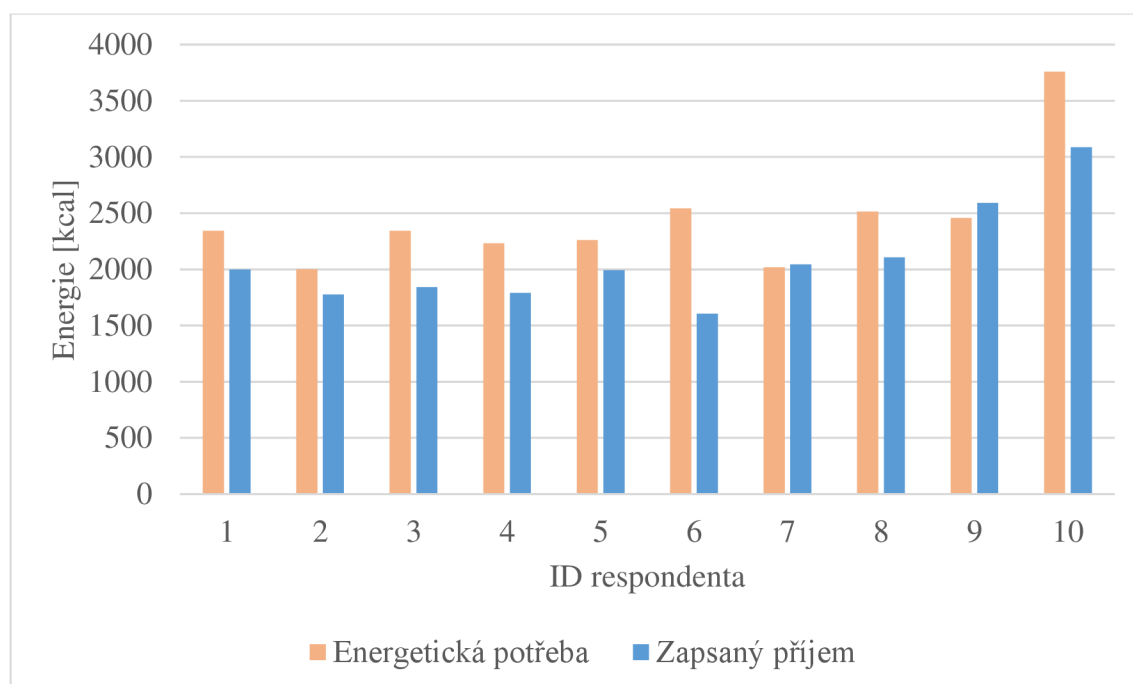
Tabulka 8 Vypočítaná energetická potřeba a zapsaný příjem energie

ID	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Změřený REE [kcal]	1488	1467	1716	1328	1538	1729	1373	1841	1671	2237
PAL [-]	1,5	1,3	1,3	1,6	1,4	1,4	1,4	1,3	1,4	1,6
Celková energetická potřeba [kcal]	2344	2002	2342	2231	2261	2542	2018	2513	2456	3758
Průměrný denní příjem energie [kcal]	1999	1775	1843	1791	1992	1605	2045	2107	2591	3086
D [kcal]	-344	-227	-500	-440	-268	-937	27	-406	134	-672
PD [%]	-14,7	-11,3	-21,3	-19,7	-11,9	-36,9	1,3	-16,1	5,5	-17,9

(zdroj: vlastní)

V tabulce (tab. 8) jsou hodnoty – změřený REE na IC, koeficient PAL, vypočítaná celková energetická potřeba (pomocí rovnice viz 3.3.6), zapsaný průměrný denní příjem energie, odchylka a procentuální odchylka, která je v průměru -14,3 %. Hodnoty

energetické potřeby a příjmu energie jsou graficky znázorněné v grafu (graf 4), který ukazuje také jejich odlišnost.



Graf 4 Vypočítaná energetická potřeba a zapsaný příjem energie (*zdroj: vlastní*)

Tabulka 9 Průměrné hodnoty AD a RD celkové energetické potřeby a průměrného denního příjmu energie

	Průměr	MED	MIN	MAX
AD [kcal]	396	375	27	937
RD [%]	15,67	15,42	1,34	36,87

(*zdroj: vlastní*)

V tabulce (tab. 9) jsou údaje o absolutní a relativní odchylce mezi celkovou energetickou potřebou a průměrným denním příjmem energie. Průměrná absolutní odchylka je 396 kcal (MED 375 kcal; MIN 27 kcal a MAX 937 kcal). Z těchto hodnot vychází hodnoty relativní odchylky, jejichž průměr je 15,67 % (MED 15,42 %; MIN 1,34 % a MAX 36,87 %).

O3: Jak může složení stravy ovlivňovat výsledky měření na nepřímé kalorimetrii? (Jakým způsobem může souviset zastoupení makroživin v jídelníčku s výsledky měření?)

Tabulka 10 Zastoupení makroživin ve stravě a hodnota RQ (CHO – sacharidy, FAT – tuky, PRO – bílkoviny)

ID	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
CHO [%]	49,1	47,1	47,4	54,1	49,4	44,7	54,1	44,2	51,7	47,9
FAT [%]	28,7	31,3	32,5	26,8	29,3	34,7	34,0	37,5	31,4	28,9
PRO [%]	22,2	21,6	20,1	19,1	21,3	20,6	11,9	18,3	16,9	23,1
RQ [-]	0,88	0,97	0,69	0,68	0,69	0,67	0,79	0,65	0,77	0,78

(zdroj: vlastní)

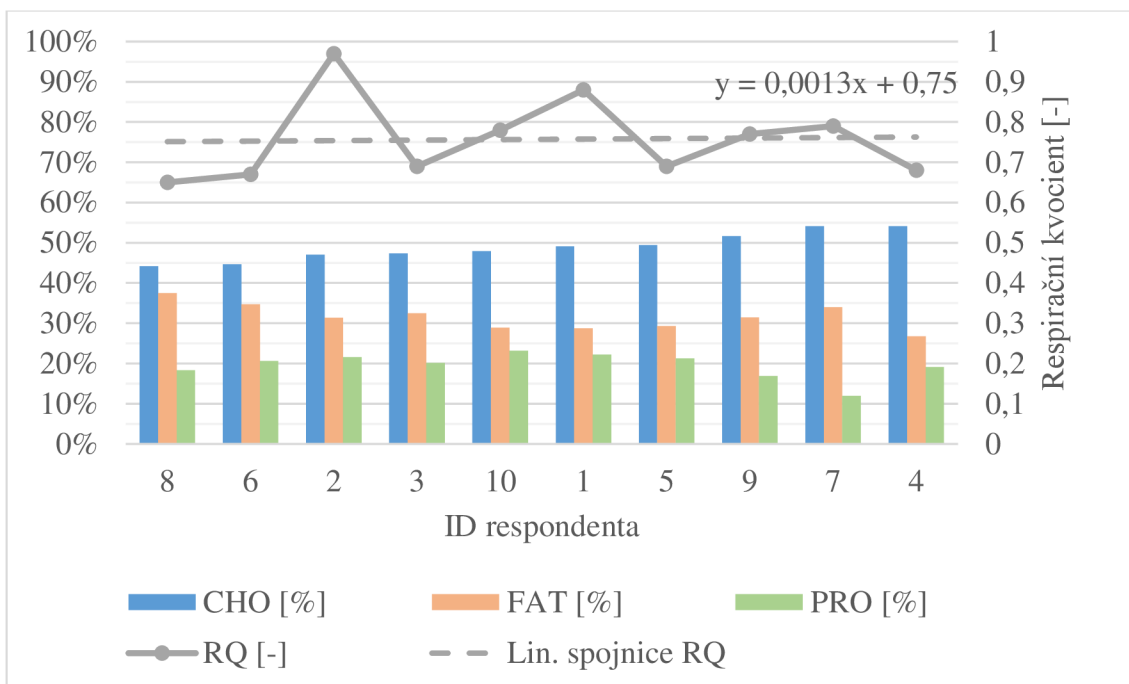
Tabulka 11 Popisná statistika zastoupení makroživin ve stravě a hodnota RQ

	Průměr	SD	MED	MIN	MAX
CHO [%]	49,0	3,3	48,5	44,2	54,1
FAT [%]	31,5	3,1	31,4	26,8	37,5
PRO [%]	19,5	3,1	20,4	11,9	23,1
RQ [-]	0,76	0,1	0,73	0,65	0,97

(zdroj: vlastní)

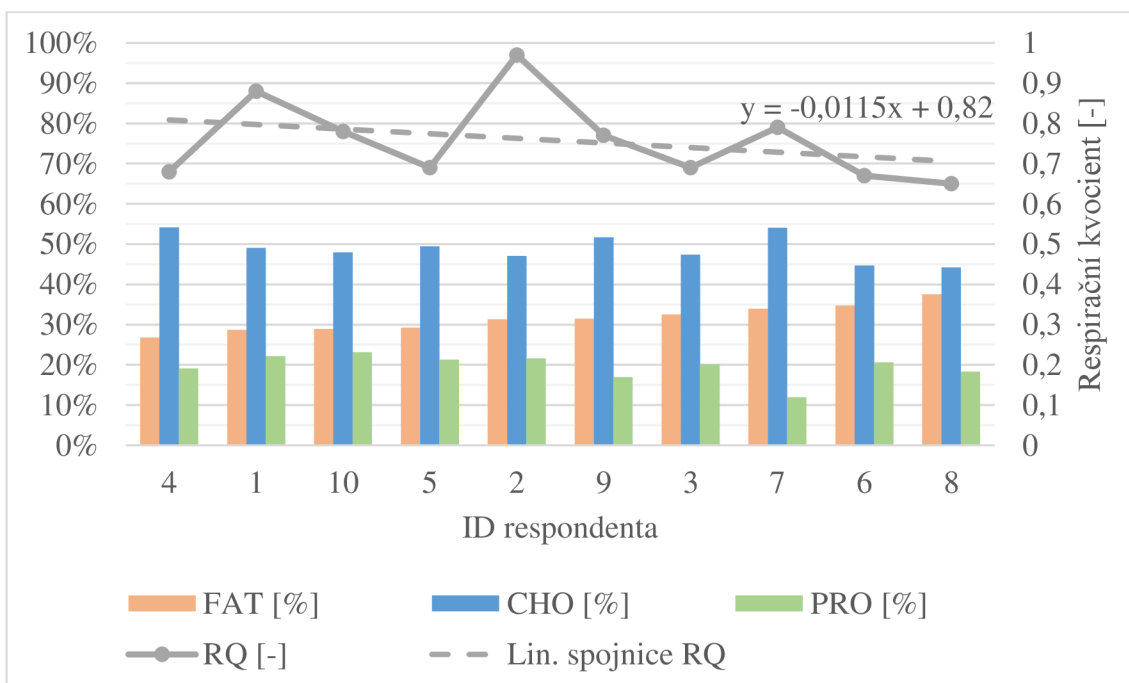
V tabulce (tab. 10) je zastoupení makroživin v jídelníčku jednotlivých respondentů a změřený RQ pomocí nepřímé kalorimetrie. Následná shrnující tabulka (tab. 11) ukazuje průměrné hodnoty pro jednotlivé makroživiny s minimálními a maximálními hodnotami. Sacharidy jsou v jídelníčcích zastoupeny průměrně 49 % (MED 48,5 %; SD 3,3 %; MIN 44,2 % a MAX 54,1 %). Tuky jsou zastoupeny v průměru 31,5 % (MED 31,4 %; SD 3,1 %; MIN 26,8 % a MAX 37,5 %). Bílkoviny jsou v jídelníčcích zastoupeny průměrně 19,5 % (MED 20,4 %; SD 3,1 %; MIN 11,9 % a MAX 23,1 %). Hodnota respiračního kvocientu byla průměrně 0,76 (MED 0,73; SD 0,1; MIN 0,65 a MAX 0,97).

V závislosti na hodnotách (tab. 10) jsem vytvořil grafy (graf 5, 6 a 7), které ukazují závislost změřeného RQ respondentů na zastoupení jednotlivých makroživin.



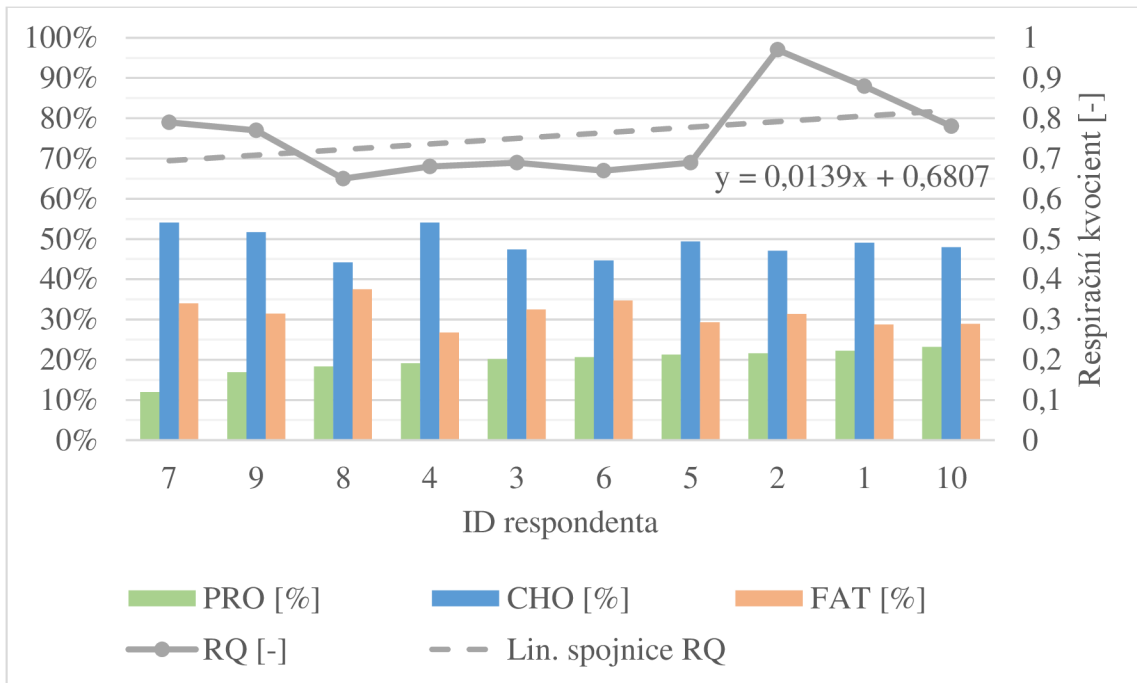
Graf 5 Závislost RQ na zastoupení sacharidů ve stravě (zdroj: vlastní)

Na grafu (graf 5) je zobrazena hodnota RQ pro jednotlivé respondenty, kteří jsou řazeni dle zastoupení sacharidů ve stravě od nejmenší po největší. Pro hodnotu RQ byla vytvořena lineární spojnice, která vychází z rovnice $y = 0,0013x + 0,75$ a udává její trend.



Graf 6 Závislost RQ na zastoupení tuků ve stravě (zdroj: vlastní)

Na grafu (graf 6) je zobrazena hodnota RQ pro jednotlivé respondenty, kteří jsou řazeni dle zastoupení tuků ve stravě od nejmenší po největší. Pro hodnotu RQ byla vytvořena lineární spojnice, která vychází z rovnice $y = -0,0115x + 0,82$ a udává její trend.



Graf 7 Závislost RQ na zastoupení bílkovin ve stravě (zdroj: vlastní)

Na grafu (graf 7) je zobrazena hodnota RQ pro jednotlivé respondenty, kteří jsou řazeni dle zastoupení bílkovin ve stravě od nejmenší po největší. Pro hodnotu RQ byla vytvořena lineární spojnice, která vychází z rovnice $y = 0,0139x + 0,6807$ a udává její trend.

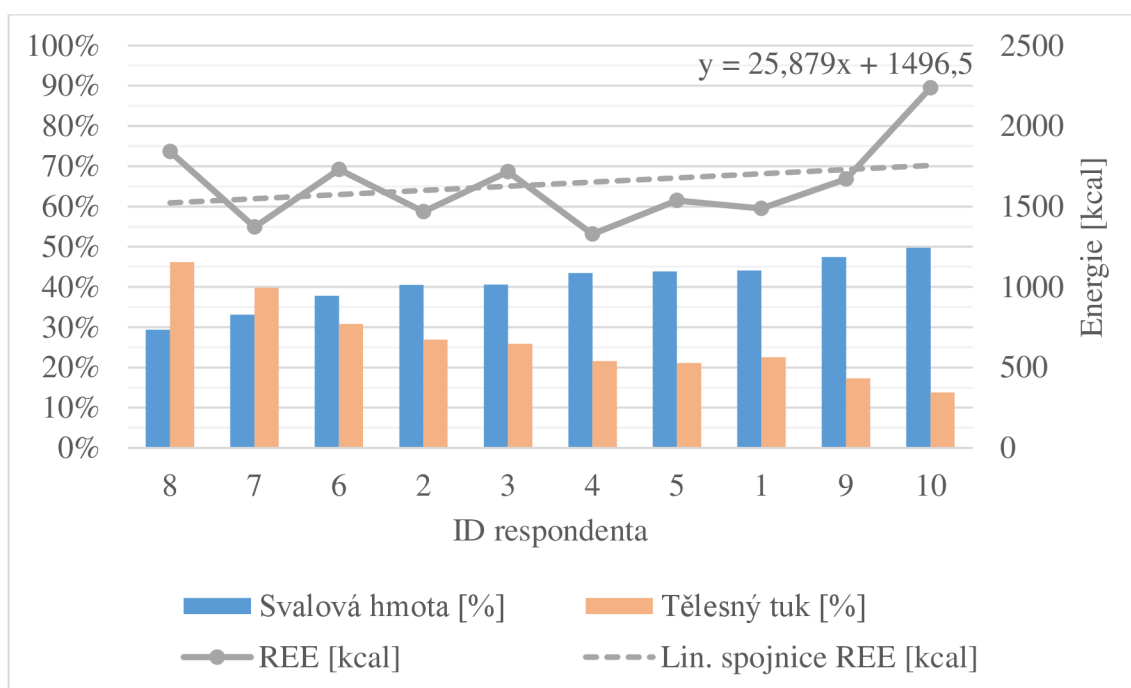
Při získávání údajů pro plnění cílů práce byl pro zjištění tělesné hmotnosti respondentů použitý přístroj na měření bioimpedance. Tímto způsobem byla získána data o tělesném složení, která jsem mohl srovnávat s výsledky měření na IC.

Tabulka 12 Závislost měřeného REE na tělesném složení

ID	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Svalová hmota [%]	44,1	40,5	40,6	43,4	43,8	37,8	33,1	29,4	47,4	49,7
Tělesný tuk [%]	22,5	26,9	25,9	21,6	21,1	30,8	39,8	46,1	17,3	13,8
Měřený REE [kcal]	1488	1467	1716	1328	1538	1729	1373	1841	1671	2237

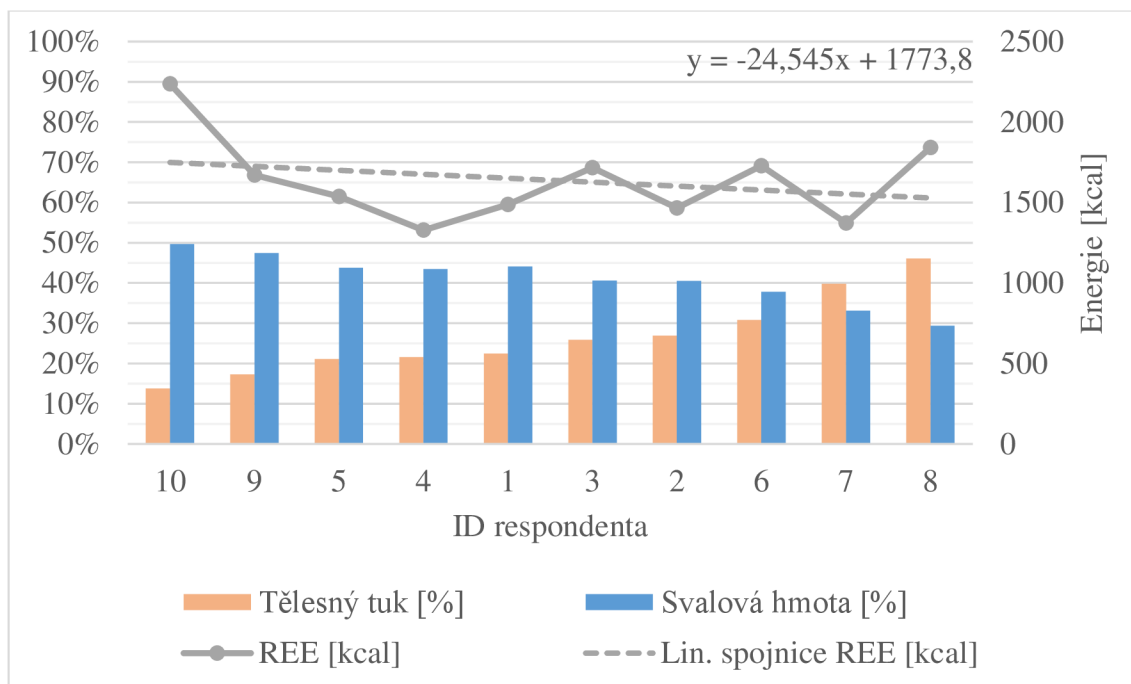
(zdroj: vlastní)

V tabulce (tab. 12) jsou hodnoty tělesného složení společně s výsledky měření REE na IC, hodnoty zastoupení svalové hmoty a tělesného tuku. Složení těla bylo popsáno u charakteristiky výzkumného souboru (viz 3.2).



Graf 8 Závislost měřeného REE na množství svalové hmoty (zdroj: vlastní)

Na grafu (graf 8) je závislost měřeného REE na zastoupení svalové hmoty v těle u jednotlivých respondentů. Hodnoty jsou seřazené od nejmenší po největší a u každé je uvedena hodnota změřeného REE na IC. Pro změřené REE byla vytvořena lineární spojnice, která vychází z rovnice $y = 25,879x + 1496,5$ a udává její trend.



Graf 9 Závislost měřeného REE na množství tělesného tuku (*zdroj: vlastní*)

Na grafu (graf 9) je závislost měřeného REE na procentuálním množství tělesného tuku u jednotlivých respondentů. Hodnoty jsou seřazené od nejmenší po největší a u každé je uvedena hodnota změřeného REE na IC. Pro změřené REE byla vytvořena lineární spojnice, která vychází z rovnice $y = -24,545x + 1773,8$ a udává její trend.

5 DISKUSE

Energie potřebná k životu je u lidí zajišťována příjmem potravy. Tato skutečnost je jistě dobře známá. Důležitý z hlediska vyspělých států je fakt, že většina populace žije v dostatku, ne-li nadbytku stravy. Ačkoli se zdá tento stav přínosný, může být vnímán opačně. Nadbytek stravy často vede k neřízeně vysokému přísunu energie, který lidský organismus ukládá ve formě tuku. Překročení určitých hodnot tukových zásob v těle vede k patologickým stavům (obezitě) a výskytu přidružených onemocnění, které nepříznivě ovlivňují zdravotní stav a míru dožití. S obezitou jsou spojena mnohá onemocnění jako např. diabetes mellitus, hypertenze, dyslipidemie a další (Rippe a Angelopoulos, 2012). Z průzkumů populace z roku 2019 vyplývá, že v České republice je 40 % obyvatel (s BMI 25–29,9 kg/m²) v nadváze a 19,8 % obyvatel (s BMI nad 30 kg/m²) je obézních (Eurostat, 2022). Stanovení energetické potřeby, ve kterém by mohla hrát nepřímá kalorimetrie svou roli, by mohla této problematice výrazně pomoci.

Složení výzkumného souboru, skládajícího se z 8 žen a 2 mužů (graf 1), zřejmě souvisí s mou volbou oslovení respondentů formou e-mailové korespondence, která byla rozeslána mezi studenty Zdravotně sociální fakulty Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích, oboru Nutriční terapeut. Tomu odpovídá také průměrný věk výzkumného souboru 29,4 let, s mediánem 22,5 let (tab. 3). Průměrné BMI výzkumného souboru je 23,85 kg/m², tudíž spadá do skupiny s normální hmotností. Je ovšem nutno podotknout, že 90 % respondentů studovalo nebo studuje nutriční terapii, tudíž lze předpokládat, že jsou v oboru výživy znalí a je pravděpodobné, že udržují svou hmotnost v rozmezí normálních hodnot. Tuto úvahu podporuje také zjištěný fakt, že průměrná hodnota koeficientu PAL (tab. 3) je 1,42 a řadí se podle Levine (2002) mezi mírně aktivní, nikoli sedavý styl života. Stanovení hodnoty koeficientu PAL může být velmi zkreslující, protože jeho výši určuje pozorovatel. V mé bakalářské práci jsem vycházel z údajů vyplněných v dotazníku (příloha 4) o životním stylu, pravidelné pohybové aktivitě a sportu, u kterého mě zajímala také jeho úroveň, frekvence a trvání (=celkový čas) a náročnost dané pohybové aktivity.

Hlavním cílem mé práce bylo porovnat výsledky měření na nepřímé kalorimetrii s výpočty klidového energetického výdeje pomocí prediktivní rovnice Harrise-Benedicta. Pro tento cíl jsem si stanovil otázku (O1), jak se liší data získaná pomocí IC a data získaná pomocí výpočtu. U rovnice HB bylo potřeba výsledné hodnoty přepočítat z bazálního na

klidový energetický výdej. Ačkoli Sadílková (2019) ve svém článku pracuje s výsledky HB rovnice jako s hodnotami klidového energetického výdeje a argumentuje tím, že k vyvinutí rovnice se pracovalo s hodnotami z nepřímé kalorimetrie, která měří klidový nikoli bazální energetický výdej a odkazuje se na autory Gropper a Smith (2013). S hodnotami HB rovnice jako s bazálním energetickým výdejem přitom pracují Bajnárek a Sobotka (2007), Zadák (2008), Wierdsma et al. (2017), Kohout et al. (2021) a další autoři. Bernaciková et al. (2012) a Vágnerová (2020) uvádí rozdíl mezi hodnotami BEE a REE 10 %. Zvolil jsem tedy 5% rozdíl a počítal s koeficientem 1,05, který ve své publikaci udává Křížová (2019). Zajímavé je, že se autoři v tomto tématu tolik liší. Přitom zvolením jednoho z extrémů (0 % nebo 10 %) vychází zcela rozdílné hodnoty a je tak možné dosáhnout odlišných závěrů.

Práce s průměrnými hodnotami měřeného REE metodou nepřímé kalorimetrie mi nepřišla jako vypovídající kvůli různorodé skupině jedinců výzkumného souboru, např. pohlaví, hmotnost, věk, tělesná aktivita. Pro porovnání výsledků jsem tedy vypočítal absolutní odchylku, která sama o sobě ukazuje pouze průměrnou odlišnost hodnot měřeného REE a vypočteného REE o 152,19 kcal. Největší výpovědní hodnotu má relativní odchylka, jejíž průměrná hodnota je 8,99 % s mediánem 6,97 %. Z toho vyplývá, že hodnota rozdílu výpočtu HB rovnice od nepřímé kalorimetrie u mého výzkumného souboru je v rozmezí stanovené odchylky $\pm 10\%$, kterou udává ve své publikaci Frankenfield et al. (2005).

Porovnáním vypočtených hodnot REE pomocí HB rovnice s hodnotami měřeného REE pomocí IC (tab. 7), které jsem určil jako referenční, jsem se dopracoval k závěru, kde je u výzkumného souboru v průměru o 4,6 % podhodnocena hodnota vypočteného REE oproti změřenému REE, z toho 40 % respondentů je nadhodnoceno a zbylých 60 % podhodnoceno (graf 3). Maximální podhodnocení je u respondenta č. 8, a to o 24,31 %, což odpovídá 447,61 kcal. Při bližším prozkoumání jsem došel k závěru, že tento výsledek může být ovlivněn hned několika faktory. Například neúplná relaxace a psychický stres, by mohly zvyšovat výsledky měření na IC ovlivněním objemu dýchacích plynů. Míra relaxace by se mohla, dle Borgese et al. (2019), s délkou měření zvyšovat, jelikož některým jedincům nemusí délka nepočítaných 5 minut na začátku měření stačit na úplnou relaxaci. Pro přesnější údaje by tedy bylo vhodnější u všech respondentů volit celkem alespoň 30 minut měření na IC. Dalším faktorem mohl být také věk respondenta (65 let), který mohl ovlivnit výsledek výpočtu HB rovnicí. Ta má, jak uvádí Cioffi et al. (2021), trend nadhodnocovat hodnotu REE u celkové populace, kdežto

u starší populace je více přesná a nejméně zkreslujícím výpočtem. Nadhodnocování výsledků HB i jiných rovnic oproti měření na IC u adolescentů vychází také v publikaci Loureiro et al. (2015). To by mohlo poukazovat na skutečnost, že HB rovnice může obecně nadhodnocovat mladší jedince a podhodnocovat starší jedince. K tomuto závěru by však musely být provedeny další studie s podobným zaměřením. Marra et al. (2021) říká, že užití prediktivních výpočtů je vhodné u jedinců, kteří spadají do skupin populace, ze kterých se daný vztah odvozoval. Vhodnější by tedy mohly být specifické rovnice pro jednotlivé skupiny populace.

Druhým cílem práce bylo zmapovat odlišnosti výsledků měření na IC na základě složení stravy a poměrovým zastoupením jednotlivých substrátů ve stravě respondentů. U tohoto cíle jsem si položil dvě výzkumné otázky. První (O2), zda energetický příjem výzkumného souboru odpovídá energetickému výdeji a druhou (O3), jak může složení stravy ovlivňovat výsledky měření na nepřímé kalorimetrii.

Ke zodpovězení první otázky druhého cíle (O2) bylo důležité vypočítat průměrný energetický příjem a celkovou energetickou potřebu respondentů. Při stanovení energetického příjmu jsem vycházel ze zápisů jídelníčku. Čtrnáctidenní příjem stravy respondenti zapisovali každý den buď ručně do předem připravené tabulky (příloha 5) nebo měli možnost zapisovat stravu v programu Nutriservis Professional. Údaje ze zápisů jsem zhodnotil, příp. dotazem na respondenta upřesnil, a následně jsem z nich získal data z každého dne zápisu jídelníčku, ze kterých jsem udělal aritmetický průměr denního příjmu energie a jednotlivých živin u každého respondenta.

Zápis stravy je z mého pohledu jeden z nejméně důvěryhodných údajů. Je zde hned několik problémů, které mohou přesnost získaných hodnot značně ovlivnit. Prvním problémem by mohl být fakt, že strava je zapisována člověkem, který z podstaty své existence dělá chyby. U zápisu stravy jsou také důležité detaily, je nutné dbát na obsah jednotlivých živin a energie v potravině, kde se i zdánlivě stejné výrobky mohou podstatně lišit. Z toho důvodu jsem respondentům v e-mailu zaslal určitá doporučení, která by mohla míru chyby zápisů zmenšit (např. zapisovat čas konzumace a přesnou hmotnost konzumovaných potravin, zapisovat nápoje a další), podobná doporučení uvádí také Sadílková (2019) ve své publikaci. Důležitým faktorem je také doba mezi konzumací a zápisem. Pokud je zápis proveden těsně před nebo po konzumaci jídla, je většinou přesněji uvedená velikost porce (ideálně zvážená). Pokud je zápis proveden zpětně

po celém dni, může dojít k velkému zkreslení. Nicméně pokud není možné příjem stravy sledovat jinak, je zápis stravy respondentem jedinou dostupnou metodou ke zjištění celkového příjmu energie a živin.

Respondenti z 80 % využívali zmiňovaný program. Domnívám se, že hlavním důvodem byla praktičnost, kdy většina respondentů mohla uskutečnit zápis okamžitě. U papírové formy může docházet k častějšímu odkládání nebo přepisování zapsaných údajů, a tím i k jejich většímu zkreslení, nemluvě o nutnosti nosit s sebou formulář nebo papír pro zápis spolu s psacími potřebami.

Nevýhodou programů pro zápis stravy může být funkce průběžného propočítávání množství přijaté energie při zadávání jídel v průběhu dne, příp. i grafickým znázorněním. Na základě tohoto propočítávání může respondent příjem cíleně omezit tak, aby subjektivně nevycházely příliš velké hodnoty energie nebo živin. Dalším problémem je také nevážení jednotlivých složek samotného jídla, kdy se následně musí jejich množství odhadovat. U odhadu může docházet k podhodnocení hmotnosti potravin a celkově i příjmu energie a živin. Obecné podhodnocování příjmu energie ukazuje také publikace od Livingstone a Black (2003) postavená na rozdílu zápis stravy a měření příjmu energie pomocí metody dvojitě značené vody. Dle Lafaye (2000) dochází k častějšímu podhodnocování „zdraví škodlivých“ potravin, které mají většinou vyšší obsah tuků, tudíž i větší obsah energie.

Celková energetická potřeba respondentů byla získána dosazením vypočítané hodnoty BEE (z měřeného REE pomocí IC), koeficientu PAL a TEF do rovnice (viz 3.3.6). Průměrná AD těchto hodnot je 396 kcal s mediánem 375 kcal a RD je průměrně 15,67 %.

U mého výzkumného souboru je průměrný denní příjem energie v 80 % menší než vypočítaná energetická potřeba. Průměr procentuální odchylky ukazuje teoretickou nedostatečnost průměrného příjmu stravy o 14,3 %. To může souviset s již zmiňovaným podhodnocováním příjmu energie v zápise stravy nebo chybou ve výpočtu celkové energetické potřeby. U výpočtu jsem pracoval s hodnotou termického efektu stravy 10 %, která odpovídá smíšené stravě člověka dle Křížové (2019). Hlavní zkreslení by mohlo být v hodnotě koeficientu PAL, která udává průměrnou pohybovou aktivitu respondentů. Zde by bylo vhodné získat větší množství údajů, např. podrobný zápis denních pohybových aktivit se zapsáním intenzity a doby trvání. Zhodnocením a přepočtením údajů na základě tělesné hmotnosti jedince by mohlo být dosaženo validnějších dat o výdeji energie.

Odpověď na druhou otázku druhého cíle (O3), jak může složení stravy ovlivňovat výsledky měření na nepřímé kalorimetrii, vychází z naměřených hodnot RQ (tab. 10) a vypočteným zastoupením jednotlivých makroživin ve stravě respondentů (tab. 11). Průměrná hodnota RQ u výzkumného souboru 0,76 poukazuje na vyšší zastoupení tuků ve stravě, které bylo průměrně 31,5 %. To nespĺňuje obecná doporučení pro příjem tuků, který by měl být dle Stránského et al. (2019) a Zlatohlávka et al. (2019) do 30 % z celkového energetického příjmu. Dle Kohouta et al. (2021) je doporučení pro příjem tuků v rozmezí 30–35 %, což by splňovalo 90 % respondentů.

Na základě vytvořených grafů vyplývá souvislost mezi příjmem jednotlivých substrátů a hodnotou RQ. Údaje mého výzkumu z grafu (graf 5) naznačují, že s vyšším zastoupením sacharidů ve stravě trendově roste také změřená hodnota RQ. Pro toto tvrzení jsem využil lineární trendovou spojnicí hodnot RQ, která lze vyjádřit rovnicí $y = 0,0013x + 0,764$. Strmost trendu je dána násobkem hodnoty x , který je u sacharidů nižší, to může být kvůli obecně vyššímu procentuálnímu zastoupení ve stravě oproti bílkovinám a tukům. Stejný náznak vychází také v publikaci Miles-Chan et al. (2015), ale jak dodává, je velmi obtížné těchto hodnot dosáhnout, jelikož hodnota RQ je velmi citlivá na chyby způsobené hodnotami VCO_2 a VO_2 .

Přímý poměr mezi zastoupením substrátu ve stravě a hodnotou RQ naznačují také hodnoty příjmu bílkovin a tuků u výzkumného souboru, pro které jsem v grafu (graf 7) použil stejné znázornění pomocí lineární spojnice trendu hodnot RQ. U bílkovin je trend o něco vyšší, což ukazuje také rovnice $y = 0,0139x + 0,8333$, kde je vyšší strmost znázorněná násobkem hodnoty x . Opačný trend vyplývá z grafu (graf 6) pro zastoupení tuků ve stravě výzkumného souboru, který jsem znázornil sestavením grafu a použitím lineární spojnice trendu vyjádřené rovnicí $y = -0,0115x + 0,694$, kde je podobná strmost jako u bílkovin.

Hodnocení údajů získaných měření mého výzkumného souboru naznačuje možnou souvislost procentuálního zastoupení jednotlivých substrátů ve stravě člověka s hodnotami RQ. Z této souvislosti vyplývá, že u stravy s vysokým zastoupením tuků (např. ketodieta) může být nižší potřeba kyslíku k utilizaci substrátů, než je tomu u běžné stravy, příp. u stravy více založené na bílkovinách anebo sacharidech. To by mohlo být využito u pacientů s omezenou funkcí plic, např. napojených na umělou plicní ventilaci. Na tuto problematiku poukazuje také publikace od Barazzoni et al. (2020), týkající se

ventilovaných pacientů s infekcí SARS-CoV-2, dle které by měl být poměr energie ze sacharidů a tuků ve stravě upraven při umělé plicní ventilaci na 50:50, tedy 1:1. Dalším možným ovlivněním by mohla být délka hladovění před samotným měřením, kdy u respondenta č. 2 byla délka menší (8 hodin) a zároveň nejvyšší hodnota RQ, pro tuto myšlenku jsem ovšem nedohledal žádnou oporu v odborné literatuře.

Při získávání údajů o tělesné hmotnosti na přístroji s elektrickou bioimpedancí jsem měl možnost posoudit také vztah mezi tělesným složením respondentů a naměřenými hodnotami klidového energetického výdeje IC. Skutečnost, že jsem ve výzkumu o IC mohl porovnat i hodnoty z elektrické bioimpedance, může poukazovat na menší časovou náročnost měření složení těla než u měření na IC. To může být důvodem menší frekvence využívání metody IC v praxi, obě metody přitom mohou poskytovat hodnotné informace nebo trend nutričního stavu měřeného jedince.

Skutečnost, že prvními dvěma respondenty s nejvyšším podílem svalové hmoty ve výzkumném souboru jsou muži, potvrzuje obecné tvrzení, že muži mají většinou více svalové hmoty než ženy, tím by měla být větší i hodnota BEE, vyplývající z publikace Lazzer et al. (2010), toto tvrzení u mého výzkumného souboru ale potvrzené nebylo.

Jako u složení stravy jsem i u tělesného složení seřadil údaje od nejmenší po největší společně s hodnotami pro REE a sestavil pro ně graf s lineární spojnicí trendu REE. Ta u procentuálního zastoupení svalové hmoty (graf 8) naznačuje u výzkumného souboru vzestupný trend vyjádřený rovnicí $y = 25,879x + 1496,5$, to vyplynulo také z publikace Olejníčkové et al. (2019), která řešila problematiku ovlivnění BEE (tím pádem i REE) u pracujících Čechů z jižní Moravy v produktivním věku.

U lineární spojnice trendu REE (graf 9) procentuálního zastoupení tělesného tuku je náznak sestupné tendence, jak ukazuje rovnice $y = -24,545x + 1773,8$. Oba trendy mají podobnou strmost, která je vyjádřena násobkem hodnoty x . Pro výzkumný soubor tedy mohou být stanoveny následující vztahy. Prvním je korelace procentuálního zastoupení svalové hmoty a hodnoty REE a druhým vztahem je nepřímá úměra procentuálního zastoupení tělesného tuku a hodnoty REE.

Měření REE na přístroji IC je časově náročnější než jiné metody pro zjištění REE, příp. BEE. Má také mnoho podmínek, které je nutné před měřením dodržet, jinak mohou být výsledky zkreslené. Pro správnost údajů je důležité dbát na předepsané postupy pro

získání dat a jejich vhodné zpracování pro získání co největší vypovídající hodnoty výzkumu, což vyplývá také z publikace od Tatucu-Babet a Ridley (2019), kteří zmiňují odborné znalosti a školení personálu jako nutnost pro práci s IC. V opačném případě uvádějí jako více vypovídající využití prediktivních rovnic, protože u nich jsou problémy s přesností lépe zdokumentovány. Z těchto informací je patrné, že využití laiky je nereálné a je na místě pro výpočet BEE/REE využití prediktivních rovnic.

6 ZÁVĚR

Klidový energetický metabolismus vychází ze základní energetické potřeby člověka a jeho hodnota je podstatná pro výpočet celkového energetického výdeje. Ačkoli se jedná o metodu časově i odborně náročnější než jiné, své využití v praxi nepochybně má a je považována za zlatý standard. V práci jsem si stanovil jako hlavní cíl srovnat změřené hodnoty na nepřímé kalorimetrii s výsledky prediktivní rovnice Harrise-Benedicta přepočtenými na hodnoty klidového energetického výdeje. Vedlejším cílem práce bylo zmapovat odlišnost energetického příjmu a energetické potřeby respondentů s dílčí otázkou na zmapování odlišnosti měření REE na základě zastoupení makroživin ve stravě respondentů.

U mého výzkumného souboru bylo dosaženo míry obecné chyby $\pm 10\%$ mezi vypočtenými a změřenými hodnotami REE, kterou uvádějí také ostatní autoři. Vypočtené hodnoty byly v průměru do 5% podhodnocené oproti změřeným hodnotám REE.

Plněním vedlejšího cíle jsem došel k závěru, že je velice obtížné stanovit v praxi TEE a dopracovat se k vypovídající hodnotě energetického příjmu ze zápisu stravy, u kterého je velká tendence k podhodnocování nebo chybě zapisování. Výsledkem je, že 90% respondentů má menší energetický příjem, než je vypočtená energetická potřeba. U zápisů stravy je nutné, aby byly respondenti co nejvíce proškoleni a zapisovali potraviny co nejpřesněji.

Odpovědí na druhou otázku vedlejšího cíle jsem dospěl k závěru, že procentuální složení stravy může ovlivňovat výsledky na IC. Hodnoty RQ s mírou zastoupení bílkovin a sacharidů ve stravě měly vzestupný trend, naopak se zastoupením tuků ve stravě měly sestupný trend. Tyto údaje jsem podložil matematickým znázorněním lineární spojnice trendu RQ, které vychází z grafů pro jednotlivé substráty. Vyplývající spojitost by mohlo mít také zastoupení substrátů ve stravě s výsledným objemem dýchacích plynů (VO_2 a VCO_2) k utilizaci substrátů.

V průběhu výzkumu jsem měl možnost také posoudit vztah mezi tělesným složením respondentů a změřeným REE. Pro můj výzkumný soubor z těchto údajů vyplývá, závislost hodnot zastoupení svalové hmoty a tělesného tuku a hodnot měřeného REE, obdobně jako u procentuálního zastoupení substrátů ve stravě. Se zastoupení svalové

hmoty měly vzestupný trend také hodnoty REE, kdežto se zvyšujícím se zastoupením tělesného tuku měly hodnoty REE sestupný trend.

V práci se mi podařilo odpovědět na všechny výzkumné otázky, tudíž splnit i stanovené cíle.

Je ovšem nutné podotknout, že pro závěry o souvislosti mezi složením stravy nebo tělesného složení spolu s výsledky IC je zapotřebí více studií s větším, ideálně homogenním, výzkumným souborem. Z těchto vztahů by mohly být odvozené rovnice pro jednotlivé skupiny pacientů, které by měly vyšší vypovídající hodnotu než rovnice HB používaná k výpočtu BEE/REE na celou populaci. Zajímavé údaje by mohly být zjištěny také porovnáním různých skupin populace s odlišnými způsoby stravování, resp. výrazně jiným procentuálním zastoupením substrátů ve stravě, a sledováním ovlivnění hodnot RQ.

Největší potenciál může mít IC ve zdravotnictví, např. na JIP nebo ARO, kde by byly dodržovány všechny podmínky a údaje by mohly pomoci při léčbě pacientů. Možné využití by mohla IC mít také v nutričních poradnách pro stanovení REE při nastavování optimálního příjmu energie pro léčebné diety.

7 SEZNAM LITERATURY

BAJNÁREK, J., SOBOTKA, L., 2007. Energetický výdej člověka a možnosti zhodnocení energetických potřeb organismu. *Praktický lékař*. 87(7), 399–404.

BARAZZONI, R. et al., 2020. ESPEN expert statements and practical guidance for nutritional management of individuals with SARS-CoV-2 infection. *Clinical Nutrition*. 39(6), 1631–1638. DOI: 10.1016/j.clnu.2020.03.022. ISSN 02615614.

BENEŠ, J., KYMPLOVÁ, J., VÍTEK, F., 2015. *Základy fyziky pro lékařské a zdravotnické obory: pro studium i praxi*. Praha: Grada. ISBN 978-80-247-4712-5.

BERNACIKOVÁ, M., NOVOTNÝ, J., BERNACIK, S., 2012. *Fyziologie*. Brno: Masarykova univerzita. ISBN 978-80-210-5841-5.

BORGES, J.H., GUERRA-JÚNIOR, G., GONÇALVES, E.M., 2019. Methods for data analysis of resting energy expenditure measured using indirect calorimetry. *Nutrition*. 59, 44–49. DOI: 10.1016/j.nut.2018.07.015. ISSN 08999007.

CIOFFI, I., MARRA, M., PASANISI, F., SCALFI, L., 2021. Prediction of resting energy expenditure in healthy older adults: A systematic review. *Clinical Nutrition*. 40(5), 3094–3103. DOI: 10.1016/j.clnu.2020.11.027. ISSN 02615614.

ČERMÁKOVÁ, V., 2021. *Biochemie – základní kapitoly: Dýchací řetězec*. TEPLÁ, M., KLÍMOVÁ, H. [online]. [Www.studiumbiochemie.cz](http://www.studiumbiochemie.cz). Praha: KUDCH, Přírodovědecká fakulta, Univerzita Karlova, 2021, 4.3.2022 [cit. 2022-3-26]. Dostupné z: <http://www.studiumbiochemie.cz/dr.html#8>

EUROSTAT, 2022. *Obesity rate by body mass index (BMI)*. Dostupné také z: https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/SDG_02_10/default/table?lang=en&category=sdg.sdg_02

FRANKENFIELD, D., ROTH-YOUSEY, L., COMPTON, C., 2005. Comparison of Predictive Equations for Resting Metabolic Rate in Healthy Nonobese and Obese Adults: A Systematic Review. *Journal of the American Dietetic Association*. 105(5), 775–789. DOI: 10.1016/j.jada.2005.02.005. ISSN 00028223.

GROPPER, S.S., SMITH, J.L., 2013. *Advanced nutrition and human metabolism*. 6th Ed. Belmont, OH: Cengage Learning. ISBN 978-1-133-10405-6.

KASPER, H., 2015. *Výživa v medicíně a dietetika*. Praha: Grada. ISBN 978-80-247-4533-6.

KLEINWÄCHTEROVÁ, H., BRÁZDOVÁ, Z., 2001. *Výživový stav člověka a způsoby jeho zjišťování*. 2. přepracované vydání. Brno: Národní centrum ošetrovatelství a nelékařských zdravotnických oborů v Brně. ISBN 80-7013-336-8.

KOHOUT, P., 2019. *Vybrané kapitoly z fyziologie, patofyziologie a klinické medicíny: pro studijní program Nutriční terapeut*. České Budějovice: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zdravotně sociální fakulta. ISBN 978-80-7394-727-9.

KOHOUT, P., HAVEL, E., MATĚJOVIČ, M., ŠENKYŘÍK, M., ed., 2021. *Klinická výživa*. Praha: Galén. ISBN 978-80-7492-555-9.

KŘÍŽOVÁ, J., 2019. Energetický metabolismus. In: ZLATOHLÁVEK, L. *Klinická dietologie a výživa*. Druhé rozšířené vydání. Praha: Current Media, s. 53–60. ISBN 978-80-88129-44-8.

LAFAY, L. et al., 2000. Does energy intake underreporting involve all kinds of food or only specific food items? Results from the Fleurbaix Laventie Ville Santé (FLVS) study. *International Journal of Obesity*. 24(11), 1500–1506. DOI: 10.1038/sj.ijo.0801392. ISSN 0307-0565.

LAZZER, S. et al., 2010. Relationship Between Basal Metabolic Rate, Gender, Age, and Body Composition in 8,780 White Obese Subjects. *Obesity*. 18(1), 71–78. DOI: 10.1038/oby.2009.162. ISSN 19307381.

LEVINE, J.A., 2002. Non-exercise activity thermogenesis (NEAT). *Best Practice & Research Clinical Endocrinology & Metabolism*. 16(4), 679–702. DOI: 10.1053/beem.2002.0227. ISSN 1521690X.

LIVINGSTONE, M.B.E., BLACK, A.E., 2003. Markers of the Validity of Reported Energy Intake. *The Journal of Nutrition*. 133(3), 895S–920S. DOI: 10.1093/jn/133.3.895S. ISSN 0022-3166.

LOUREIRO, L.L. et al., 2015. Basal Metabolic Rate of Adolescent Modern Pentathlon Athletes: Agreement between Indirect Calorimetry and Predictive Equations and the Correlation with Body Parameters. *PLOS ONE*. 10(11). DOI: 10.1371/journal.pone.0142859. ISSN 1932-6203.

MARRA, M. et al., 2021. New predictive equations for estimating resting energy expenditure in subjects with normal weight and overweight. *Nutrition*. 84. DOI: 10.1016/j.nut.2020.111105. ISSN 08999007.

MILES-CHAN, J.L., DULLOO, A.G., SCHUTZ, Y., 2015. Fasting substrate oxidation at rest assessed by indirect calorimetry: is prior dietary macronutrient level and composition a confounder?. *International Journal of Obesity*. 39(7), 1114–1117. DOI: 10.1038/ijo.2015.29. ISSN 0307-0565.

MOUREK, J., VELEMÍNSKÝ, M., ZEMAN, M., 2013. *Fyziologie, biochemie a metabolismus pro nutriční terapii*. České Budějovice: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích. ISBN 978-80-7394-438-4.

NAŇKA, O., ELIŠKOVÁ, M., 2019. *Přehled anatomie*. Čtvrté vydání. Praha: Galén. ISBN 978-80-7492-450-7.

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(2), 135–140. DOI: 10.21101/cejph.a5103. ISSN 12107778.

RIPPE, J.M., ANGELOPOULOS, T.J., 2012. *Obesity: prevention and treatment*. Spojené státy americké: Taylor & Francis Group. ISBN 978-1-4398-3671-2.

RUŠAVÝ, Z., 2010. Energetická bilance a nepřímá kalorimetrie. In: KOHOUT, P., RUŠAVÝ, Z., ŠERCLOVÁ, Z. *Vybrané kapitoly z klinické výživy*. Praha: Forsapi, s. 13–31. ISBN 978-80-87250-08-2.

SCHOFIELD, K.L., THORPE, H., SIMS, S.T., 2019. Resting metabolic rate prediction equations and the validity to assess energy deficiency in the athlete population. *Experimental Physiology*. 104(4), 469–475. DOI: 10.1113/EP087512. ISSN 0958-0670.

SPOLEČNOST PRO VÝŽIVU, 2011. *Referenční hodnoty pro příjem živin*. Praha: Společnost pro výživu. ISBN 978-80-254-6987-3.

STRÁNSKÝ, M., PECHAN, L., RADOMSKÁ, V., 2019. *Výživa a dietetika v praxi: (fyziologie a epidemiologie výživy, dietetika)*. České Budějovice: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zdravotně sociální fakulta. ISBN 978-80-7394-766-8.

SVAČINA, Š. et al., 2008. *Klinická dietologie*. Praha: Grada. ISBN 978-80-247-2256-6.

SVAČINA, Š., MÜLLEROVÁ, D., RUŠAVÝ, Z., 2010. Fyziologie a hygiena výživy. In: SVAČINA, Š., et al. *Poruchy metabolismu a výživy*. Praha: Galén, s. 347–367. ISBN 978-80-7262-676-2.

ŠTĚPÁNKOVÁ, Š., 2020. *Obecná biochemie*. Pardubice: Univerzita Pardubice. ISBN 978-80-7560-342-0.

TATUCU-BABET, O.A., RIDLEY, E.J., 2019. Clinimetrics: Indirect calorimetry. *Journal of Physiotherapy*. 65(4). DOI: 10.1016/j.jphys.2019.07.002. ISSN 18369553.

TOMÍŠKA, M., 2018. *Výživa onkologických pacientů*. Praha: Mladá fronta. Edice postgraduální medicíny. ISBN 978-80-204-4064-8.

VÁGNEROVÁ, T., 2020. *Výživa v geriatрии a gerontologii*. Praha: Karolinum. ISBN 978-80-246-4620-6.

VOKURKA, M., HUGO, J., 2006. *Velký lékařský slovník*. 6., aktualiz. vyd. Praha: Maxdorf. Jessenius. ISBN 80-7345-105-0.

WIERDSMA, N., KRUIZENGA, H., STRATTON, R., 2017. *Kapesní průvodce dietologií - dospěli*. Holandsko: VU University Press. ISBN 978-90-8659-754-3.

ZADÁK, Z., 2008. *Výživa v intenzivní péči*. 2., rozš. a aktualiz. vyd. Praha: Grada. ISBN 978-80-247-2844-5.

ZLATOHLÁVEK, L., PEJŠOVÁ, H., SVAČINA, Š., 2019. Základní složky potravy. In: ZLATOHLÁVEK, L. *Klinická dietologie a výživa*. Druhé rozšířené vydání. Praha: Current Media, s. 31–52. ISBN 978-80-88129-44-8.

8 SEZNAM PŘÍLOH A OBRÁZKŮ

Příloha 1 Informovaný souhlas

Příloha 2 Kanopa

Příloha 3 Kalibrace přístroje

Příloha 4 Dotazník

Příloha 5 Formulář pro zápis stravy

Příloha 6 Kontrolní panel měření nepřímé kalorimetrie

Obrázek 1 Krebsův cyklus

Obrázek 2 Schéma principu nepřímé kalorimetrie a měření s využitím kanopy

9 SEZNAM ZKRATEK

AD	absolutní odchylka (z anglického <i>absolute deviation</i>)
ADP	adenosindifosfát
AF	faktor aktivity (z anglického <i>activity factor</i>)
AMK	aminokyseliny
ARO	anesteziologicko-resuscitační oddělení
ATP	adenosintrifosfát
BEE	bazální energetický výdej (z anglického <i>basal energy expenditure</i>)
BMI	index tělesné hmotnosti (z anglického <i>body mass index</i>)
BMR	bazální energetický výdej (z anglického <i>basal metabolic rate</i>)
CHO	sacharidy (z anglického <i>carbohydrates</i>)
CNS	centrální nervová soustava
D	odchylka (z anglického <i>deviation</i>)
FAT	tuky (z anglického <i>fats</i>)
GTP	guanosintrifostát
HB	Harris-Benedict
IC	nepřímá kalorimetrie (z anglického <i>indirect calorimetry</i>)
ID	identita (z anglického <i>identity</i>)
IF	faktor onemocnění (z anglického <i>injury factor</i>)
JIP	jednotka intenzivní péče
MUFA	mononenasycené mastné kyseliny (z anglického <i>monounsaturated fat acids</i>)
PAL	koeficient pohybové aktivity (z anglického <i>psychical activity level</i>)
PRO	bílkoviny (z anglického <i>proteins</i>) ^β

PUFA	polynenasycené mastné kyseliny (z anglického <i>polyunsaturated fat acids</i>)
REE	klidový energetický výdej (z anglického <i>resting energy expenditure</i>)
RD	relativní odchylka (z anglického <i>relative deviation</i>)
RQ	respirační kvocient (z anglického <i>respiratory quotient</i>)
SFA	nasyčené mastné kyseliny (z anglického <i>saturated fat acids</i>)
TEE	celkový energetický výdej (z anglického <i>total energy expenditure</i>)
TEF	termický efekt potravy (z anglického <i>thermic effect of food</i>)
TF	teplotní faktor
USA	Spojené státy americké (z anglického <i>United States of America</i>)
WHO	Světová zdravotnická organizace (z anglického <i>World Health Organization</i>)

Příloha 1 Informovaný souhlas

Informovaný souhlas

Název bakalářské práce:

Stanovení klidového energetického výdeje metodou nepřímé kalorimetrie

Jméno:

Datum narození:

Účastník byl do výzkumu zařazen pod číslem:

1. Já, níže podepsaný(á) souhlasím s mou účastí ve výzkumu k bakalářské práci. Je mi více než 18 let. Byl(a) jsem podrobně informován(a) o cíli výzkumu, o jejích postupech, a o tom, co se ode mě očekává. Porozuměl(a) jsem tomu, že svou účast ve výzkumu mohu kdykoliv přerušit či odstoupit. Moje účast ve výzkumu je dobrovolná.
2. Moje osobní data budou uchována s plnou ochranou důvěrnosti dle platných zákonů ČR. Při vlastním provádění výzkumu mohou být osobní údaje poskytnuty jiným než výše uvedeným subjektům pouze bez identifikačních údajů, tzn. anonymní data pod číselným kódem.
3. Porozuměl jsem tomu, že mé jméno se nebude nikdy vyskytovat v referátech o tomto výzkumu. Já naopak nebudu proti použití výsledků z tohoto výzkumu.

Podpis účastníka:

Datum:

(zdroj: vlastní)

Příloha 2 Kanopa



(zdroj: vlastní)

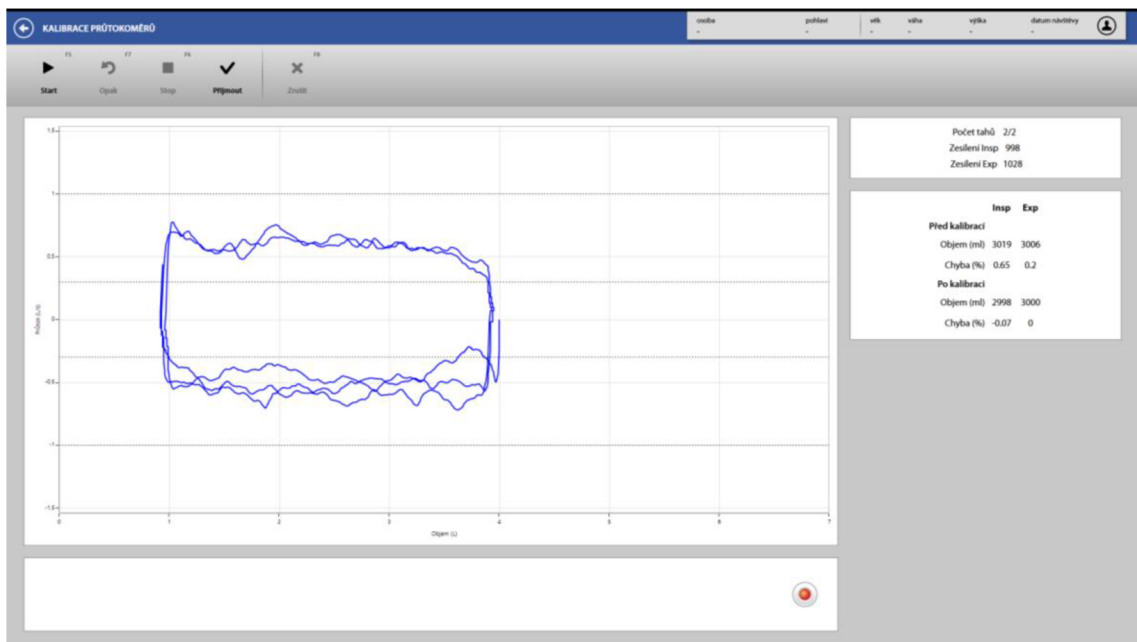
Příloha 3 Kalibrace přístroje

Kalibrace průtokoměru

- objemový válec v zapojení pro kalibraci průtokoměru

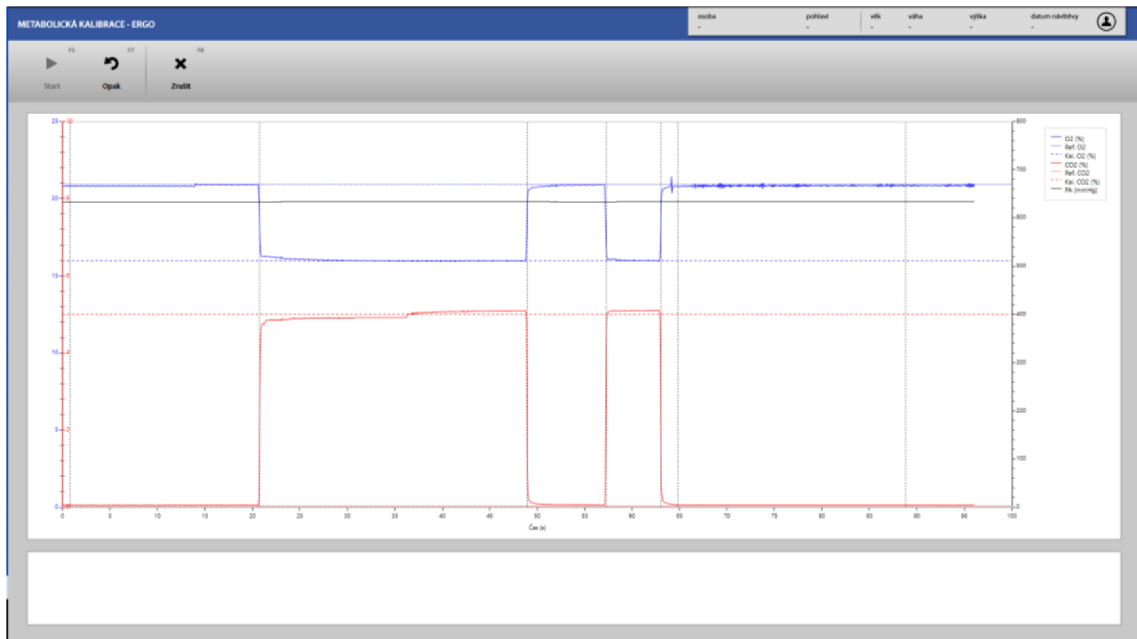


- graf a výsledná tabulka kalibrace průtokoměru

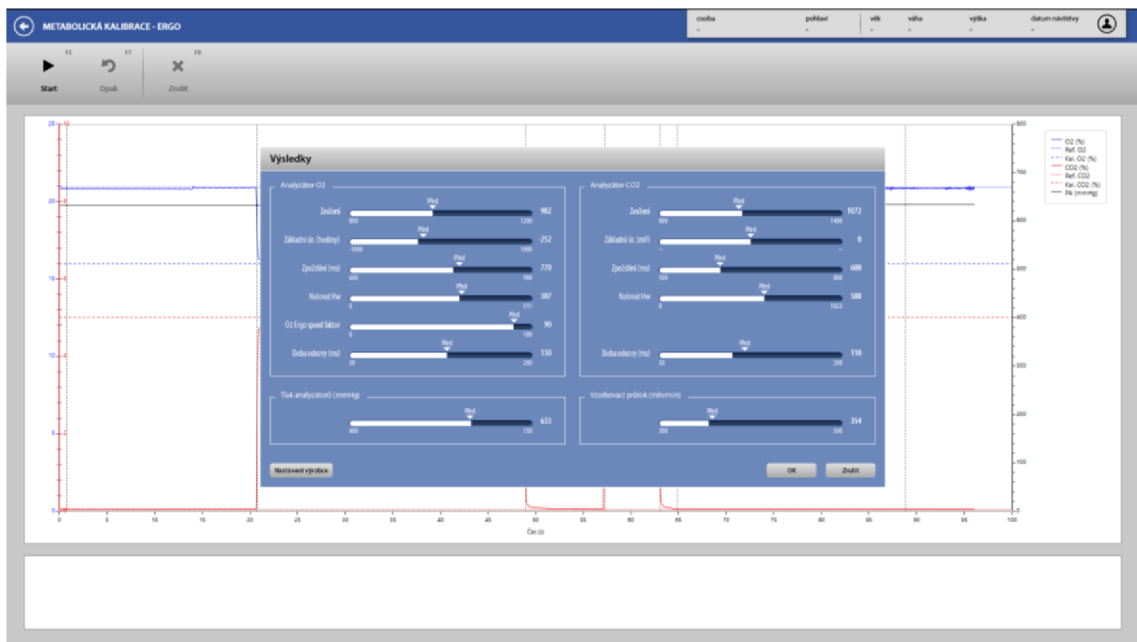


Kalibrace analyzátoru koncentrace plynu

- graf kalibrace analyzátoru



- výsledná tabulka kalibrace



(zdroj: vlastní; Cosmed Quark RMR)

Příloha 4 Dotazník

Dotazník na respondenty pro měření na nepřímé kalorimetrii

Základní údaje:

Jméno a příjmení: (v příloze nahrazeno ID)

Přidělené ID:

Datum narození:

Pohlaví: muž žena

Výška:

Výsledky měření na InBody

Váha:

% tělesného tuku:

BMI:

Splnil/a jste následující podmínky před měřením?

- 1) 24 hodin bez náročnější fyzické aktivity (běh, trénink apod.)?
 - 2) 12 hodin nalačno i bez nápojů s obsahem energie?
 - 3) 12 hodin bez kávy, čaje a alkoholu?
 - 4) 12 hodin bez kouření a výrobků s obsahem nikotinu?
 - 5) 12 hodin bez léků?
 - 6) 30 minut před měřením v klidu?
- Jak se nyní cítíte? (klid, nervozita, obavy apod.)

Pracovní anamnéza

Zaměstnání:

Jak byste ohodnotil/a fyzickou náročnost?

(nejméně) 1 – 2 – 3 – 4 – 5 – 6 – 7 – 8 – 9 – 10 (nejvíce)

Jak byste ohodnotil/a psychickou náročnost?

(nejméně) 1 – 2 – 3 – 4 – 5 – 6 – 7 – 8 – 9 – 10 (nejvíce)

Jakou dopravu běžně využíváte?

auto kolo chůze MHD

Volnočasové aktivity a sport

Jak trávíte volný čas?

Jak často sportujete?

Jaký sport děláte a na jaké úrovni?

Jiné pohybové aktivity?

(zdroj: vlastní)

Příloha 5 Formulář pro zápis stravy

MŮJ JÍDELNÍČEK - Denní zápis toho, co sním				Den a datum:
	Čas	Množství	Strava - druh, výrobce, množství (obsah masa/tuku)	Slazení, kalorické nápoje - druh a množství
Snídaně				
Přesnídávka				
Oběd (polévka)				
Svačina				
Večeře				
Druhá večeře				

(zdroj: vlastní)

Příloha 6 Kontrolní panel měření nepřímé kalorimetrie



(zdroj: vlastní; Cosmed Quark RMR)