

UNIVERZITA KARLOVA

FARMACEUTICKÁ FAKULTA V HRADCI KRÁLOVÉ

KATEDRA BIOLOGICKÝCH A LÉKAŘSKÝCH VĚD



DIPLOMOVÁ PRÁCE

**KLIDOVÁ ENERGETICKÁ POTŘEBA U TĚHOTNÝCH
ŽEN**

PAVEL VOLAVKA

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

HRADEC KRÁLOVÉ, 2022

Poděkování

Chtěl bych velmi poděkovat mému školiteli doc. PharmDr. Miloslavu Hronkovi, Ph.D. za vedení, ochotu, pomoc a cenné rady, které mi při zpracovávání diplomové práce poskytoval. Dále bych rád poděkoval Mgr. Simoně Najpaverové, Ph.D. za podporu a pomoc při vyšetřování těhotných žen a sběru dat.

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

V Hradci Králové 1. 4. 2022

Pavel Volavka

OBSAH

1.	ABSTRAKT	6
2.	ABSTRACT	7
3.	ÚVOD	8
4.	ZADÁNÍ – CÍL PRÁCE	9
5.	TEORETICKÁ ČÁST	10
5.1	Antropometrie	10
5.1.1	BMI	10
5.1.2	Kaliperace	11
5.1.3	Bioelektrická impedanční analýza (BIA)	11
5.1.4	FFM	11
5.1.5	Tělesný tuk	13
5.1.6	Viscerální tuk	13
5.1.7	Tělesná hmotnost	13
5.1.8	BSA	14
5.2	Energie	15
5.2.1	Energetická potřeba	15
5.2.2	Hodnocení bazálního energetického výdeje (BEE)	16
5.2.3	Aktuální energetický výdej (AEE)	17
5.2.4	Stanovení energetického výdeje kalorimetrií	19
5.2.5	Oxidace živin	22
5.2.6	Výpočet klidového energetického výdeje	23
5.2.7	Výpočet oxidace nutričních substrátů	25
5.3	Fyziologické změny v těhotenství	28
5.3.1	Těhotenství	28
5.3.2	Kardiovaskulární systém	29
5.3.3	Respirační systém	29
5.3.4	Gastrointestinální systém	29
5.3.5	Metabolizmus	30
5.3.6	Ledviny	30

5.3.7	Kožní změny	30
5.3.8	Strava	31
5.4	Studie	33
6.	EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	46
6.1	Metodika	46
6.1.1	Nepřímá kalorimetrie	46
6.1.2	Statistické vyhodnocování výsledků	47
6.1.3	Charakteristika těhotných žen	47
6.2	Výsledky	53
6.3	Korelace	66
7.	DISKUZE	72
8.	ZÁVĚR	75
9.	POUŽITÉ ZKRATKY	76
10.	SEZNAM TABULEK	79
11.	SEZNAM OBRÁZKŮ	80
12.	SEZNAM GRAFŮ	81
13.	POUŽITÁ LITERATURA	82

1. ABSTRAKT

Cíl práce

Cílem této diplomové práce bylo stanovit klidový energetický výdej (REE) těhotných žen s využitím nepřímé kalorimetrie, nalézt souvislosti s ostatními sledovanými parametry a výsledek porovnat s podobnými studiemi.

Metodika

Klidový energetický výdej byl vypočítán spotřebou kyslíku a produkcí oxidu uhličitého metodou nepřímé kalorimetrie. Nepřímá kalorimetrie byla prováděna pod kanopou v klidu na lůžku, bez rušivých elementů, po dvanáctihodinovém lačnění. Studie se zúčastnilo 10 zdravých těhotných žen. Vyšetření probíhalo celkem ve třech obdobích gestace (21.–27., 31.–32., 36.–37. týden).

Výsledky

Zjistili jsme, že klidový energetický výdej byl zvyšován s délkou těhotenství. Medián REE byl při jednotlivých vyšetření následující: 1412 kcal/den při prvním vyšetření, 1697 kcal/den při druhém a při posledním vyšetření 1902 kcal/den. Prokázali jsme statisticky významné korelace REE s tělesnou hmotností a REE s netučnou tělesnou hmotou (FFM).

Závěr

Těhotenství je náročný proces, při kterém dochází v ženském těle k mnoha změnám. Studií jsme potvrdili nárůst REE s maximem na konci těhotenství. Z výsledků je patrné, že odhadované hodnoty REE a naměřené hodnoty REE jsou odlišné.

Klíčová slova: klidová energetická potřeba, gravidita

2. ABSTRACT

Background

The aim of this work was to determine the resting energy expenditure (REE) of pregnant women using indirect calorimetry. Find connections with other monitored parameters and compare the result with similar studies.

Methods

The resting energy expenditure was calculated by oxygen consumption and carbon dioxide production by indirect calorimetry. Indirect calorimetry was performed under a canopy at rest in bed, without disturbing elements, and after 12 hours of fasting. The study involved 10 healthy pregnant women. The measurements during pregnancy were taken three times (21.–27., 31.–32., 36.–37. week).

Results

We found that resting energy expenditure increased with the length of pregnancy. The median of the REE on each examination was on the first measurement 1412 kcal/day, on the second measurement 1697 kcal/day, and the last measurement 1902 kcal/day. We found a statistically significant correlation of REE with body weight and REE with fat-free mass (FFM).

Conclusion

Pregnancy is a difficult process with many changes in a woman's body. The study confirmed an increase of the REE with a maximum at the end of pregnancy. The results show that the estimated values of the REE and the measured values of the REE were different.

Key words: Resting energy need, Pregnancy

3. ÚVOD

Těhotenství je velmi složitý a náročný proces pro celé tělo matky. Netrvá ani rok, ale změn, které musí tělo těhotné ženy zvládnout, je mnoho. Dochází ke změnám hormonálním, antropometrickým, ve využití a potřebách energie a nutričních substrátů.

Předmětem naší studie bylo získat informace o změnách na těle těhotných žen, především o změnách energetického výdeje.

Ve studii jsme se zaměřili na sledování změn klidového energetického výdeje (REE). REE lze odhadovat několika predikčními rovnicemi a také měřit nepřímou kalorimetrií. Odhady a výsledky měření jsme porovnali.

Měření REE probíhalo nepřímou kalorimetrií na základě spotřeby kyslíku a výdeje oxidu uhličitého. Nepřímá kalorimetrie byla vhodnou metodou, nicméně poměrně finančně náročnou na přístrojové vybavení.

Při měření byla sledována a hodnocena oxidace nutričních substrátů (sacharidů, proteinů, lipidů).

4. ZADÁNÍ – CÍL PRÁCE

Cílem této diplomové práce bylo zjistit změny klidového energetického výdeje v těhotenství s využitím nepřímé kalorimetrie. Dále zjistit souvislosti s ostatními sledovanými parametry a výsledky porovnat se studii zabývajícími se stejným tématem.

5. TEORETICKÁ ČÁST

5.1 Antropometrie

Antropometrie je vědní obor, který se zabývá charakteristikou růstu. Využívá k tomu měření, popis a rozbor tělesných znaků typických pro růst. K měření antropometrických parametrů se používají antropometrická měřidla, posuvná měřítka, antropometrické váhy, kalipery, dynamometry. (Hronek et al, 2013)

5.1.1 BMI

Body mass index neboli index tělesné hmotnosti je jeden z nejčastěji používaných antropometrických parametrů, známý také pod označením váhově-výškový index či Queteletův index (Frisancho, 1990; Hronek et al, 2013). Pro výpočet BMI je potřeba znát tělesnou hmotnost a výšku. Výpočtem BMI určujeme kategorii obezity, viz tabulka č. 1 (Hronek, 2013). S vyšší hodnotou BMI roste riziko vzniku komorbidit. Výhodou je dobrá korelace s množstvím tělesného tuku, čímž lze dobře posuzovat nárůst tělesné hmotnosti u dospělých. Nicméně neodráží podíl svalové a tukové hmoty (Hronek et al, 2013; WHO Consultation, 2000).

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

Tabulka č. 1 – Rozdělení populace do kategorií v závislosti na BMI

Kategorie	BMI	
	Ženy	Muži
Velká podváha	≤17,40	≤18,40
Podváha	17,50–18,40	18,50–19,90
Normální váha	18,50–23,90	20–24,90
Nadváha	24–28,90	25–29,90
Obezita 1. stupně	29–33,90	30–34,90
Obezita 2. stupně	34–38,90	35–39,90
Obezita 3. stupně	≥39	≥40

(Rovnice a tabulka převzaty z Hronek et al, 2013)

5.1.2 Kaliperace

Ke stanovení množství podkožního tuku se používá metoda kaliperace. Metoda je založena na měření kožních řas na různých místech těla např. na tváři, hrudníku, lýtku, ve kterých bývá zvýšené ukládání podkožního tuku a odráží tedy celkové množství tělesného tuku. Pozitivy této metody jsou rychlost a jednoduchost měření. Měření provádí vždy stejná osoba, čímž předcházíme vzniku subjektivních chyb. Příliš vysoké hodnoty kožních řas poukazují na vyšší pravděpodobnost kardiovaskulárního onemocnění a úmrtí na něj. Nízké hodnoty kožních řas mohou vést ke zvýšenému riziku respiračního onemocnění. (Hronek et al, 2013)

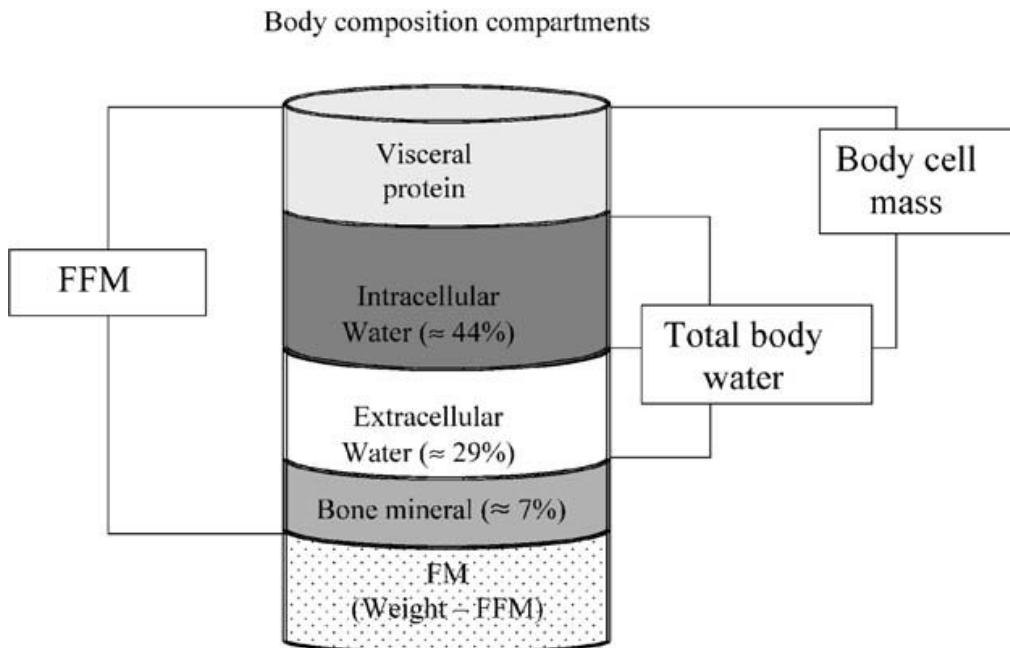
5.1.3 Bioelektrická impedanční analýza (BIA)

BIA se řadí mezi neinvazivní, bezpečné, rychlé, relativně levné a terénní metody hodnotící složení těla. Měření je založeno na principu rozdílného šíření střídavého proudu v tkáních. Tukové tkáně kladou větší odpor než tukuprosté tkáně (tkáně s vyšším obsahem vody). (Pastucha et al, 2014)

5.1.4 FFM

FFM (fat free mass – tukuprostá hmota) zahrnuje základní tělní komponenty (svaly, kosti, pojiva, orgány) mimo tělesný tuk. Složení FFM představuje obr. č. 1. Konkrétněji 72–74 % vody a 50–60 mmol/kg draslíku u žen, 60–70 mmol/kg draslíku u mužů. Tuková část oproti tomu neobsahuje vodu ani draslík. (Pastucha et al, 2014)

Obrázek č. 1 – Složení tukuprosté hmoty (obr. převzat z Kyle et al, 2004)



FFM – fat free mass (tukuprostá hmoty), **FM** – fat mass (tělesný tuk), **Total body water** – celková tělesná voda, **Body cell mass** – hmota tělesné hmoty, **Visceral protein** – viscerální protein, **Intracellular Water** – vnitrobuněčná voda, **Extracellular Water** – mimobuněčná voda, **Bone mineral** – kostní minerál

Pro výpočet existuje několik predikčních rovnic, lišící se zahrnutými parametry. Pro přesnější predikci je v rovnicích zahrnuto více antropometrických údajů (Kyle, 2004). Při známém množství tuku nebo tělesné hmotnosti lze podíl FFM spočítat dle následujících rovnic.

$$\text{FFM [\%]} = 100 - \text{tuk [\%]}$$

$$\text{FFM [kg]} = W - \text{tuk [kg]}$$

$$\text{Tuk [kg]} = W * \text{tuk [\%]} / 100$$

FFM – fat free mass (tukuprostá hmoty), **W** – weight (tělesná hmotnost) [kg]

(Pastucha et al, 2014)

Mezi metody měřící netučnou hmotu patří duální rentgenová absorpciometrie, stanovení celkového množství draslíku (Pastucha et al, 2014) a při běžné hydrataci měření metodou BIA (Kyle et al, 2004).

5.1.5 Tělesný tuk

Měření tělesného tuku (FM) sehrává významnou roli pro zjištění zdravotního a výživového stavu jedince. Množství tělesného tuku je způsobeno ovlivnitelnými (výživa, fyzická aktivita) i neovlivnitelnými faktory (genetika) (Bužga et al, 2012). Množstvím tělesného tuku lze posuzovat riziko kardiovaskulárního onemocnění. Změnu hmotnosti tukové a netukové hmoty lze pozorovat při držení dietního režimu. Tělesný tuk může ubývat, i když se celková tělesná hmotnost ještě nemění. To může být dobrou motivací na začátku dodržování dietního opatření. Tělesný tuk lze měřit BIA, kaliperem, metodou celotělové denzitometrie (Větrovská et al, 2009).

5.1.6 Viscerální tuk

Viscerální tuk, označován také jako orgánový tuk, se kumuluje v břišní oblasti. Při jeho nadbytku mluvíme o tzv. androidním typu obezity, což je spojováno s onemocněním metabolického syndromu (diabetes mellitus 2. typu, inzulinová rezistence, hypertenze, hyperlipidémie, ischemická choroba srdeční). Má vyšší metabolickou aktivitu než podkožní tuk. Množství stanovujeme měřením obvodu pasu, počítačovou tomografií, magnetickou rezonancí. (Vokurka et al, 2018)

5.1.7 Tělesná hmotnost

Měření tělesné hmotnosti probíhá především na moderních digitálních vahách. Měřená osoba stojí na váze v klidu a pouze ve spodním prádle. (Zadák et Hronek, 2011)

5.1.8 BSA

BSA (body surface area – plocha tělesného povrchu) souvisí s rychlostí metabolismu, spotřebou kyslíku, srdečním výdejem, rychlostí glomerulární filtrace. Je to veličina, která nám v mnohém poskytuje konkrétnější znalosti o těle než jiné fyzikální měření (váha). Používá se pro diagnostické i terapeutické účely. Důležité uplatnění v praxi nalézá při dávkování léčiv (Wang et al, 1992). V roce 1916 bratři Du Bois představili rovnici pro výpočet BSA:

$$BSA [m^2] = 0.007184 * H^{0,725} * W^{0,425}$$

BSA – *body surface area* (plocha tělesného povrchu) [m²], **H** – *hight* (výška) [cm],
W – *weight* (tělesná hmotnost) [kg]

(Goněc et al, 2015)

5.2 Energie

5.2.1 Energetická potřeba

Energetická potřeba je množství energie, které potřebujeme k udržení energetické rovnováhy při fyziologickém stavu. Energie ve formě adenosintrifosfátu (ATP) je v těle získávána dvěma cestami. Jednou z nich je příjem potravy, tedy kontinuální příjem energie (Zadák et Hronek, 2011). Druhou cestou pro získání energie ATP je oxidace nutričních substrátů – cukrů, tuků, aminokyselin. Potřeba a využitelnost energie je nezbytná pro přežití organismu. Využití nacházíme při membránovém transportu, tvorbě tepla, práce, elektrické energie. Energetický výdej můžeme určit prediktivními rovnicemi nebo podrobnějším stanovením kalorimetrie (Zadák, 2008). Je nezbytné sledovat příjem a výdej energie k udržení ideálního stavu výživy. Tím snižujeme riziko podvýživy a obezity. Vyšší energetický příjem fyziologicky naměříme v období růstu, rekonvalescence a reparace tkání. Nízký energetický příjem je způsobený nízkým příjmem potravy, zhoršenou motilitou gastrointestinálního traktu (GITu), průjmovým onemocněním, chirurgickými zákroky. Pokud je energetický příjem nízký, zvyšuje se náchylnost k infekčnímu onemocnění, může dojít ke zhoršenému dýchání a prodloužení hospitalizace pacientů na JIP. Používanou jednotkou energie je kalorie [cal] (Hronek et al, 2013; Singer et al, 2011).

Energetický výdej se skládá z bazální energetické potřeby (BEE), práce, termogeneze, výdeje na tělesný růst, výdeje na zvládnání životních událostí (Kasper, 2015). BEE udává množství potřebné energie k udržení základních metabolických dějů v těle. Je to hodnota naměřena ideálně ihned po probuzení, v psychickém i fyzickém klidu a dvanáctihodinovém lačnění. Všechny podmínky pro měření nejdou vždy dodržet, proto se z praktického důvodu zavedla jednotka klidového energetického výdeje (REE), kterou lze měřit u zdravých i nemocných subjektů po tří hodinovém lačnění a hodinovém klidu na lůžku (Zadák, 2008). REE dosahuje o něco vyšších hodnot než BEE (Zadák et Hronek, 2011).

5.2.2 Hodnocení bazálního energetického výdeje (BEE)

Pro určení bazálního energetického výdeje má v klinické praxi široké uplatnění **Harris Benedictova rovnice (HB)**, která pro výpočet využívá znalosti antropometrických údajů (váhu, výšku, věk, pohlaví). Bazální metabolismus je ovlivňován několika faktory. Některé z nich uvádím v tabulce č. 2. Tuto rovnici lze využít u všech zdravých dospělých lidí. Aby se při měření eliminovaly odchylky, není vhodné měření provádět u dětí, gravidních a kojících žen, obézních, u lidí s nadváhou. V závislosti na pohlaví má HB rovnice následující tvar:

Pro ženy [kcal/24hod.]

$$BEE = 655,0955 + 9,5634 * W + 1,8496 * H - 4,6756 * A$$

Pro muže [kcal/24hod.]

$$BEE = 66,473 + 13,7516 * W + 5,0033 * H - 6,755 * A$$

BEE – *Basal energy expenditure* (bazální energetický výdej) [kcal/24hod.],
W – *weight* (tělesná hmotnost) [kg], **A** – *age* (věk) [roky], **H** – *height* (výška) [cm]

(Zadák et Hronek, 2011)

Tabulka č. 2 – Faktory ovlivňující bazální metabolismus (BM)

Faktor zvyšující BM	Mužské pohlaví	Faktor snižující BM	Horké podnebí
	Horečnaté onemocnění		Hladovění
	Nervové vypětí		Spánek
	Mentální činnost		
	Těhotenství		

(Tabulka vytvořena na základě textového zdroje: Zadák et Hronek, 2011)

K faktoru hladovění uvádím malou poznámku. Jedná-li se o krátkodobé hladovění, dochází k nárůstu REE z důvodu převažujícího katabolismu substrátů. Opačný jev nastává při dlouhotrvajícím hladovění. V tomto případě se tělo na situaci adaptuje a REE klesá (Svačina et al, 2008).

Další alternativní rovnicí pro výpočet BEE je **Kleiberova rovnice**. Z důvodu své složitosti se v praxi moc nevyužívá.

Pro ženy [kJ/24hod.]

$$BEE = 275,3 * W^{0,75} [1 + 0,004 * (30 - A) + 0,018 (H/W^{1/3} - 42,1)]$$

Pro muže [kJ/24hod.]

$$BEE = 297,9 * W^{0,75} [1 + 0,004 * (30 - A) + 0,010 (H/W^{1/3} - 43,4)]$$

BEE – Basal energy expenditure (bazální energetický výdej) [kJ/24hod.],

W – weight (tělesná hmotnost) [kg], **A** – age (věk) [roky], **H** – height (výška) [cm]

(Zadák et Hronek, 2011)

5.2.3 Aktuální energetický výdej (AEE)

Abychom zjistili BEE v daný čas, zavedl se tzv. aktuální energetický výdej (AEE). Uvedená rovnice níže zahrnuje pro výpočet tři různé faktory (faktor poškození, aktivity a teploty). Pro výpočet rovnice potřebujeme znát jejich hodnoty, které uvádím v tabulkách č. 3, 4, 5.

$$AEE = BEE * IF * AF * TF$$

IF – injury factor (faktor poškození), **AF** – activity factor (faktor aktivity),
TF – thermic factor (faktor teploty)

(Zadák et Hronek, 2011)

Tabulka č. 3 – Faktor poškození

Pacient	Faktor
Bez poranění	1,00
Pooperační stav	1,10
Fraktura	1,20
Sepse	1,30
Mnohočetná poranění	1,40
Popáleniny v rozsahu 30–50 %	1,70
Popáleniny v rozsahu 50–70 %	1,80
Popáleniny v rozsahu 70–90 %	2,00

(Tabulka převzata ze: Zadák et Hronek, 2011)

Tabulka č. 4 – Faktor aktivity

Pacient	Faktor
Na respirátoru – v sedaci s analgezií	0,85
V bezvědomí	1,00
Ležící	1,10
Ležící, ale mobilní	1,20
Mobilní	1,30

(Tabulka převzata ze: Zadák et Hronek, 2011)

Tabulka č. 5 – Faktor teploty

Teplota	Faktor
38 °C	1,10
39 °C	1,20
40 °C	1,30
41 °C	1,40

(Tabulka převzata ze: Zadák et Hronek, 2011)

Jinou možností výpočtu AEE je **Ireton-Jonesova rovnice (IJR)**.

Pro spontánně dýchajícího pacienta je tvar rovnice:

$$\text{AEE [kcal/den]} = (629 - 11 * A) + 25 * W + 609 * O$$

Pro pacienta na respirátoru:

$$\text{AEE [kcal/den]} = (1784 - 11 * A) + 5 * W + 244 * S + 239 * I + 804 * B$$

AEE – *Actual energy expenditure* (aktuální energetický výdej) [kcal/den], **A** – *age* (věk) [rok], **W** – *weight* (tělesná hmotnost) [kg], **S** – *sex* (pohlaví) (muž = 1, žena = 0), **I** – *injury* (poranění) (přítomno I = 1, nepřítomno I = 0), **B** – *burns* (popáleniny) (přítomno B = 1, nepřítomno B = 0), **O** – *obesity* (přítomnost obezity BMI > 27) (je-li obezita, pak O = 1, je-li nepřítomna O = 0)

(Zadák et Hronek, 2011)

5.2.4 Stanovení energetického výdeje kalorimetrií

5.2.4.1 Přímá kalorimetrie

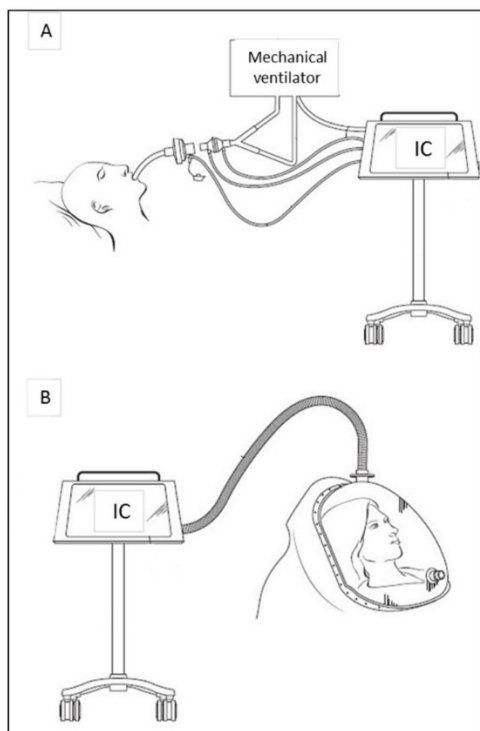
Metoda přímé kalorimetrie zaznamenává uvolněné teplo z organismu po dobu měření. Subjekt je při měření v hermeticky a termicky uzavřené komoře. Metoda nachází využití u experimentů s malými zvířaty. Z důvodu časové i nákladové náročnosti je využívána jen zřídka. (Zadák et Hronek, 2011)

5.2.4.2 Nepřímá kalorimetrie

Nepřímá kalorimetrie vychází z poznatku vědce Antoine Lavoisiera z druhé poloviny 18. století. Jedná se o technologii měřící energetický výdej skrze spotřebu kyslíku (VO_2) a produkci oxidu uhličitého (VCO_2). V klinické praxi je přístroj pro tuto technologii velmi oblíben a považován za zlatý standard. Využívá se pro měření klidového energetického výdeje a z hodnot můžeme určit i využití nutričních substrátů. Vyšetření je indikováno ke zlepšení nutričního hodnocení (Delsoglio et al, 2019; Haugen et al, 2007). Technologický vývoj nepřímých kalorimetrů umožňuje přesné, snadné a neinvazivní měření nejen u zdravé populace, ale i u pacientů na umělé ventilaci, což znázorňuje obrázek č. 2 (Delsoglio et al, 2019). Metoda umožňuje lékařům přizpůsobovat si předpis nutriční podpory metabolické potřeby a sledovat metabolickou reakci na nutriční terapii. Podporuje lepší klinický výsledek u akutně nemocných pacientů, a proto je o metodu zvýšený zájem. Starší systémy pracovaly s uzavřeným systémem, na principu dechové analýzy, diluční techniky nebo směšovacích komor (Haugen et al, 2007). Novější systémy pracují s otevřeným systémem s kontinuální cirkulací vzduchu nebo s dvoucestným ventilem.

Práce s kalorimetrem bývá v závislosti na typu víceméně podobná, přístroje využívají měření s otevřeným systémem. Zprvu je potřeba provést kalibraci, zahřátí přístroje a dezinfekce předmětů, které přichází do styku s pacientem (Zadák et Hronek, 2011).

Obrázek č. 2 – Nepřímá kalorimetrie u nemocného i zdravého pacienta (obr. převzat z Delsoglio et al, 2019)



A – nemocný pacient na umělé ventilaci, **B** – spontánně dýchající pacient pod kanopou

Měření probíhá za určitých podmínek, které jsou potřebné k dosažení co nejpřesnějších hodnot. Mezi kritéria patří předem vyvětraná místnost, dvanáctihodinové lačnění, vyšetření probíhá v leže a při fyzickém i psychickém klidu. Pacient při měření nesmí být vystavován stresu ani vyrušován okolním personálem, musí být v bdělém stavu a okolní teplota místnosti by měla být v rozmezí 20–25 °C. (Zadák et Hronek, 2011). Samotné měření pak probíhá do dosažení ustáleného stavu, zpravidla 15–30 minut (Delsoglio et al, 2019).

Pacientům se na hlavu nasadí kanopa, ve které se shromažďuje vdechovaný a vydechovaný plyn. Vzduch je za pomoci vzduchového čerpadla hnán kanopou konstantní rychlostí viz obr. č. 3, 4. Vzduch z kanopy je odváděn do analyzátoru plynů, kde je stanoveno přesné množství VO_2 a VCO_2 . Následně počítačový program vyhodnotí energetický výdej a utilizaci substrátů (Oshima et al, 2017). Poměrem těchto dvou hodnot získáme respirační kvocient (RQ), který určuje rychlost oxidace substrátu (Fulmer et al, 2015). V případě, že $RQ = 1$, jedná se o úplnou oxidaci glukózy. Při $RQ = 0,7$ je oxidace smíšená (Delsoglio et al, 2019). „Vzhledem k neúplnému metabolismu

proteinů se výměna plynů koriguje na množství metabolizovaných proteinů a získá se tzv. nebílkovinný respirační kvocient (NRQ) za známého předpokladu, že 1 g dusíku v moči představuje oxidaci 6,25 g bílkovin za spotřeby 5,92 l O₂ za uvolnění 4,75 l CO₂.“ (Zadák et Hronek, 2011)

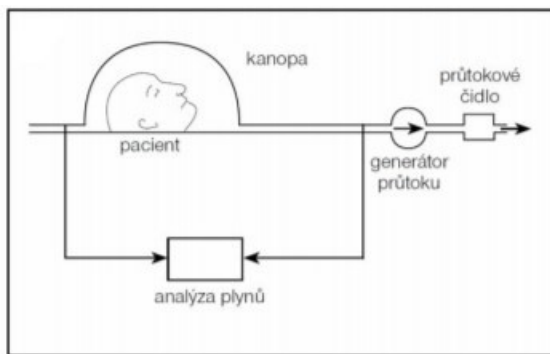
Nebílkovinný respirační kvocient vypočítáme rovnicí:

$$NRQ = VCO_2 * 4,8 UN / VO_2 * 5,9 UN$$

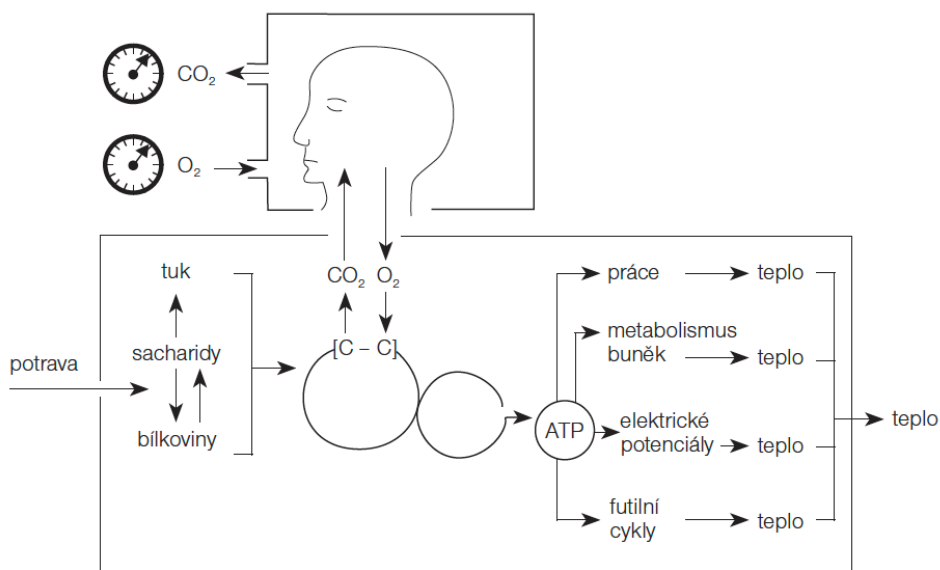
NRQ – non-protein respiratory quotient (nebílkovinný respirační kvocient), **VO₂** – spotřeba kyslíku [l/den], **VCO₂** – produkce oxidu uhličitého [l/den], **UN** – urea nitrogen (odpad dusíku v moči) [g/den]

(Zadák et Hronek, 2011)

Obrázek č. 3 – Pacient při nepřímé kalorimetrii s otevřeným okruhem (obr. převzat ze Zadák et Hronek, 2011)



Obrázek č. 4 – Schéma nepřímé kalorimetrie (obr. převzat ze Zadák et Hronek, 2008)

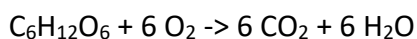


5.2.5 Oxidace živin

Oxidace nutričních substrátů je zjistitelná metodou nepřímé kalorimetrie (Svačina et al, 2008). V textu uvádím rovnice a popis oxidace glukózy, tuků i bílkovin. Pro přesné určení oxidace bílkovin je nutné zjistit i odpadní dusík z moči.

Oxidace glukózy

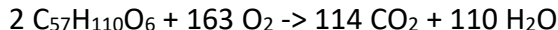
Z níže uvedené rovnice lze vypočítat, že pro oxidaci 1g glukózy je zapotřebí 0,747 l kyslíku za vzniku 0,747 l oxidu uhličitého. RQ cukrů je 1, neboť $RQ = 6 \text{ CO}_2 / 6 \text{ O}_2 = 1$



RQ – *respiratory quotient* (respirační kvocient)

Oxidace tuků

Na oxidaci 1 g tuku je potřeba 2,029 l kyslíku za vzniku 1,43 l oxidu uhličitého.



Oxidace bílkovin

Jelikož neznáme přesnou chemickou strukturu bílkovin, tak jejich oxidaci stanovujeme nepřímým způsobem. RQ je stanoven na hodnotu cca 0,82. Na oxidaci 1 g bílkovin je spotřeba 0,966 l kyslíku za vzniku 0,782 l oxidu uhličitého. Přesné stanovení množství zoxidovaných bílkovin lze zjistit z dusíku z moči (UN). V tomto případě vycházíme z předpokladu, že pro uvolnění 1 g dusíku do moči je zapotřebí oxidace 6,25 g bílkovin.

$$\text{oxidace bílkovin [g/den]} = 6,25 * \text{UN}$$

UN – *urea nitrogen* (odpad dusíku v moči) [g]

Ze zjištěných hodnot oxidace substrátů dopočítáme spotřebu kyslíku a produkci oxidu uhličitého.

$$VO_2 = 0,747 * S' + 2,029 * L + 6,25 * 0,966 * UN$$

$$VCO_2 = 0,747 * S' + 1,43 * L + 6,25 * 0,782 * UN$$

VO₂ – spotřeba kyslíku [l/den], **VCO₂** – produkce oxidu uhličitého [l/den], **S'** – zoxidované sacharidy [g], **L** – zoxidované lipidy [g], **UN** – *urea nitrogen* (odpad dusíku v moči) [g]

Výpočtem těchto rovnic lze odvodit výslednou rovnici pro výpočet energetického výdeje a oxidace substrátů. Jedná se o tzv. **Weirovu rovnici**.

$$REE = VO_2 * (3,94) + VCO_2 * (1,11) - UN * (2,17)$$

REE – *resting energy expenditure* (klidový energetický výdej) [kcal/den], **VO₂** – spotřeba kyslíku [l/den], **VCO₂** – produkce oxidu uhličitého [l/den], **UN** – *urea nitrogen* (odpad urey stanoven z moči) [g/den]

$$\text{výpočet odpadu dusíku: odpad N [g] = U * V * 0,028 * 1,5}$$

U – *urea waste in urine* (odpad urey v moči/24hod) [mmol/l]; **V** – objem moči/24 hodin [l]; **0,028** – faktor přepočtu mol urey na g urey; **1,5 faktor** – koriguje celkové množství a ztráty dusíku extrarenální cestou.

(Zadák et Hronek, 2011)

5.2.6 Výpočet klidového energetického výdeje

Klidový energetický výdej (REE) se dá změřit kvalitními kalorimetry, které pracují na základě NRQ. Tím lze dosáhnout přesnějších výsledků energetického výdeje i užití substrátů. Pro výpočet slouží **Weirova rovnice**.

$$REE = VO_2 * (3,94) + VCO_2 * (1,11) - UN * (2,17)$$

REE – *resting energy expenditure* (klidový energetický výdej) [kcal/den], **VO₂** – spotřeba kyslíku [l/den], **VCO₂** – produkce oxidu uhličitého [l/den], **UN** – *urea nitrogen* (odpad urey stanoven z moči) [g/den]

Hodnota REE lze vypočítat následujícími rovnicemi.

Je-li NRQ <0,706

$$REE = [(4360 * VO_2) + (450 * VCO_2)] * 1,44 - 1,57 * UN$$

Je-li NRQ <1,0

$$REE = [(3940 * VO_2) + (1106 * VCO_2)] * 1,44 - 2,17 * UN$$

Je-li NRQ >1,0

$$REE = [(3818 * VO_2) + (1223 * VCO_2)] * 1,44 - 1,944 * UN$$

Kde **NRQ** – *non-protein respiratory quotient* (nebílkovinný respirační kvocient), **REE** – *resting energy expenditure* (klidový energetický výdej) [kcal/den], **VO₂** – spotřeba kyslíku [l/den], **VCO₂** – produkce oxidu uhličitého [l/den], **UN** – *urea nitrogen* (odpad dusíku v moči) [g/den]

V případě, že neznáme hodnotu odpadního dusíku, je výpočet následující:

Je-li NRQ <0,706

$$REE = [(4200 * VO_2) + (494 * VCO_2)] * 1,44$$

Je-li NRQ <1,0

$$REE = [(3940 * VO_2) + (1106 * VCO_2)] * 1,44$$

Je-li NRQ >1,0

$$REE = [(3677 * VO_2) + (1342 * VCO_2)] * 1,44$$

NRQ – *non-protein respiratory quotient* (nebílkovinný respirační kvocient), **REE** – *resting energy expenditure* (klidový energetický výdej) [kcal/den], **VO₂** – spotřeba kyslíku [l/den], **VCO₂** – produkce oxidu uhličitého [l/den]

(Zadák et Hronek, 2011)

Klidový energetický výdej je mimo jiné ovlivňován několika faktory. Jejich přehled je uveden v tabulce č. 6.

Tabulka č. 6 – Faktory ovlivňující klidový energetický výdej (REE)

Faktor zvyšující REE	Popáleniny	Faktor snižující REE	Kóma
	Hyperventilace		Hypoventilace
	Hypertermie		Hypotermie
	Hyperthyreóza		Hypothyreóza
	Záněť		Těžká sedace
	Metabolická acidóza		Metabolická alkalóza
	Obezita		Glukoneogenéze
	Přejídání se		Celková anestézie
	Sepse		Sarkopénie, Kachexie
	Stres		Paralýza

(Tabulka převzata z Oshima et al, 2017)

5.2.7 Výpočet oxidace nutričních substrátů

Celková denní energetická spotřeba je hrazena cca z 50 % cukry, 35 % tuky, 15 % bílkoviny (Hronek et al, 2013). Zužitkování substrátů se dá vypočítat následujícími rovnicemi.

1. podíl ze sacharidů (CHO)

a) v [g/den]

Je-li NRQ <0,706

$$\text{CHO} = -3,590 * \text{VCO}_2 * 1440 + 2,540 * \text{VO}_2 * 1440 + 2,050 * \text{UN}$$

Je-li NRQ <1,0

$$\text{CHO} = 4,115 * \text{VCO}_2 * 1440 - 2,909 * \text{VO}_2 * 1440 - 2,539 * \text{UN}$$

Je-li NRQ >1,0

$$\text{CHO} = -0,187 * \text{VCO}_2 * 1440 + 1,393 * \text{VO}_2 * 1440 - 6,892 * \text{UN}$$

NRQ – *non-protein respiratory quotient* (nebílkovinný respirační kvocient),
CHO – oxidace sacharidů [g/den], **VO₂** – spotřeba kyslíku [l/den], **VCO₂** – produkce oxidu uhličitého [l/den], **UN** – *urea nitrogen* (odpad dusíku v moči) [g/den]

b) v [kcal/den]

Je-li NRQ <0,706

$$\text{CHO}_K = \text{CHO} * 1,72$$

Je-li NRQ <1,0

$$\text{CHO}_K = \text{CHO} * 4,18$$

Je-li NRQ >1,0

$$\text{CHO}_K = \text{CHO} * 4,18$$

NRQ – *non-protein respiratory quotient* (nebílkovinný respirační kvocient),
CHO_K – *carbohydrate oxidation* (oxidace sacharidů) [kcal/den], **CHO** – *carbohydrate oxidation* (oxidace sacharidů) [g/den]

2. podíl tuků (FAT)

a) v [g/den]

Je-li NRQ <0,706

$$\text{FAT} = 0,70 * \text{VCO}_2 * 1440 - 3,39 * \text{UN}_2$$

Je-li NRQ <1,0

$$\text{FAT} = 1,689 * \text{VO}_2 * 1440 - 1,689 * \text{VCO}_2 * 1440 - 1,943 * \text{UN}$$

Je-li NRQ >1,0

$$\text{FAT} = 1,689 * \text{VO}_2 * 1440 - 1,689 * \text{VCO}_2 * 1140 - 1,943 * \text{UN}$$

NRQ – *non-protein respiratory quotient* (nebílkovinný respirační kvocient), **FAT** – *fat oxidation* (oxidace tuků) [g/den], **VO₂** – spotřeba kyslíku [l/den], **VCO₂** – produkce oxidu uhličitého [l/den], **UN** – *urea nitrogen* (odpad dusíku v moči) [g/den]

b) v [kcal/den]

Je-li NRQ <0,706

$$\text{FAT}_K = \text{FAT} * 9,46$$

Je-li NRQ <1,0

$$\text{FAT}_K = \text{FAT} * 9,46$$

Je-li NRQ >1,0

$$\text{FAT}_K = \text{FAT} * 1,089$$

NRQ – *non-protein respiratory quotient* (nebílkovinný respirační kvocient),
FAT_K – *fat oxidation* (oxidace tuků) [kcal/den], **FAT** – *fat oxidation*
(oxidace tuků) [g/den]

3. podíl z bílkovin (PRO)

a) v [g/den]

0,65 <NRQ <1,25

$$\text{PRO} = 6,25 * \text{UN}_2$$

NRQ – *non-protein respiratory quotient* (nebílkovinný respirační kvocient), **UN** – *urea nitrogen* (opad dusíku v moči) [g/den]

b) v [kcal/den]

$$\text{PRO}_K = 4,32 * \text{PRO}$$

PRO_K – *protein oxidation* (oxidace proteinů) [kcal/den], **PRO** – *protein oxidation*
(oxidace proteinů) [g/den]

4. celkový klidový energetický výdej

$$\text{TOT}_K\text{CAL} = \text{CHO}_K + \text{FAT}_K + \text{PRO}_K$$

TOT_KCAL – *total resting energy expenditure* (celkový klidový energetický výdej) [kcal/den], **CHO_K** – *carbohydrate oxidation* (oxidace sacharidů) [kcal/den],
FAT_K – *fat oxidation* (oxidace tuků) [kcal/den], **PRO_K** – *protein oxidation* (oxidace proteinů) [kcal/den]

(Hronek et zadák, 2011)

5.3 Fyziologické změny v těhotenství

5.3.1 Těhotenství

Těhotenství je pro ženský organismus velmi zatěžující proces, při kterém dochází k psychickým i tělesným změnám na všech orgánových soustavách (Dušová et al, 2019; Roztočil et al, 2008;). Doba těhotenství se rozděluje do tří trimestrů s celkovou délkou 40 týdnů (280 dní). Vypočítává se od prvního dne poslední menstruace (Kittnar et al, 2020; Slezáková et al, 2017). Tabulka č. 7 zachycuje rozdělení gravidity v týdnech a trimestrech.

Tabulka č. 7 – Rozdělení těhotenství na jednotlivé trimestry

Trimestr	Týdny těhotenství
1. trimestr	do 12. týdne
2. trimestr	začátek 12. týdne – konec 27. týdne
3. trimestr	od 28. týdne

(Tabulka vytvořena na základě textového zdroje Slezáková et al, 2017)

Z pohledu psychologie lze těhotenství rozdělit také do tří trimestrů. V prvním trimestru matka své těhotenství přijímá, sleduje své tělo, bývá introvertní, náladová a nejistá. Druhá fáze je o vnímání pohybů plodu a podpoře správného vývoje těhotenství. Ve třetí fázi se matka připravuje na porod a existenci dítěte. (Slezáková et al, 2017)

Fyziologicky se u těhotné zvyšuje tělesná hmotnost přímo úměrně s délkou gravidity. Navýšení může být o 12–15 kg v závislosti na váze před otěhotněním. Nejnižšího váhového přírůstku dosahují obézní ženy, zatímco u nejhubenějších žen lze pozorovat přibývání až o 15 kg tělesné hmotnosti navíc (Kasper, 2015). Vysoký či naopak velmi nízký váhový přírůstek v těhotenství může ohrozit plod. Nízký váhový přírůstek může zapříčinit nízkou porodní váhu, vysoký přírůstek pak rozvoj komplikací a obezitu těhotné. Podle výsledků studií je ideální porodní hmotnost 3,3 kg (Roztočil et al, 2008; Williamson, 2006).

Pro udržování fyziologických mezí je nedílnou součástí v těhotenství dodržovat zásady správné životosprávy, mezi které patří příjem zdravé, pestré a vyvážené stravy, dostatek spánku, fyzická aktivita, cvičení a dostatečná hygiena (Dušová et al, 2019; Roztočil et al, 2008).

5.3.2 Kardiovaskulární systém

Od 5. týdne těhotenství se zvyšuje srdeční frekvence a srdeční výdej až o 50 %, což přispívá k mírné hypertrofii myokardu. Od 6. týdne gravidity dochází ke zvýšeným nárokům krevního oběhu. Zvětšuje se objem krve až o 30–50 % a dochází k celkové vazodilataci související s hypotenzí. Toto zvýšené množství krve je v těhotenství fyziologické a nezbytné pro budoucí matku i dítě. Souvisí s vyšší potřebou dodávek živin a kyslíku ke tkáním, napomáhá udržovat normální krevní tlak a chrání těhotnou při porodu proti vykrvácení. Navíc nižší viskozita krve zajišťuje lepší perfuzi placenty a zvýšeným průtokem krve roste produkce tepla. Neopomínáme monitoring hladiny železa nezbytné pro krvetvorbu (Binder et al, 2020; Kittnar et al, 2020). V krvi stoupá hladina fibrinogenu i hladina inhibitorů fibrinolýzy a vzniká hyperkoagulační stav se zvýšeným rizikem žilní trombózy (Hájek et al, 2004).

5.3.3 Respirační systém

S počátkem těhotenství se zvyšuje bazální metabolismus a s tím souvisí změny ventilace. Narůstá inspirační objem, minutový kyslíkový i respirační objem a spotřeba kyslíku o 20 %. Typická je těhotenská hyperventilace způsobena zvýšeným dechovým objemem bez nárůstu dechové frekvence. Změny ventilace jsou řízeny převážně hormonálně (Binder et al, 2020; Kittnar et al, 2020; Roztočil et al, 2008).

5.3.4 Gastrointestinální systém

Vzestupem tlakového gradientu v dutině břišní se snižuje tonus dolního jícnového svěrače s následkem pálení žáhy, tedy vznikem gastroezofageálního refluxu. Postihuje až 80 % těhotných žen. Dále v těhotenství dochází ke zpomalené motilitě tenkého střeva, zpomalenému vyprazdňování žaludku a vzniku zácpy způsobené zvýšenou absorpcí vody. (Binder et al, 2020)

5.3.5 Metabolismus

V průběhu druhé poloviny těhotenství je fyziologické zvýšení energetické spotřeby až o 320 kcal denně (Kasper, 2015). Roste bazální metabolismus i celkový energetický výdej (Williamson, 2006). Zvýšené nároky se kladou na příjem bílkovin potřebných nejen pro plod a placentu, ale také pro dělohu, mléčnou žlázu a krev. Je známo, že zvýšená energetická potřeba je zajišťována glukózou. Právě proto je sledována hladina glukózy v krvi pro případné odhalení gestačního diabetu mellitu, který je diagnostikován u 3–5 % těhotných (Roztočil et al, 2008). Těhotenstvím se metabolismus mění. Zvyšuje se kumulace tuku a následnou lipolýzou vznikají mastné kyseliny a glycerol využitelné ke glukoneogenezi. Po nočním hladovění se získává energie z neesterifikovaných mastných kyselin, cholesterolu, triacylglycerolů, ketolátek (Hájek et al, 2004).

5.3.6 Ledviny

Těhotenství zatěžuje i vylučovací systém. Již počátkem gravidity dochází ke zvýšenému zatížení ledvin. Zvyšuje se průtok krve ledvinami, stoupá glomerulární filtrace a přibývá množství definitivní moči. Zvýšený objem krve, vyšší srdeční výdej a vazodilatace hladké svaloviny ledvinných cest přispívají ke zvýšenému průtoku krve ledvinami. Tyto kroky vedou k navýšení glomerulární filtrace až o 50 %. Zvýšenou glomerulární filtrací a permeabilitou glomerulů unikají proteiny do moče. Dalšími mechanismy dochází k zadržování sodíku a vody. Také se zvyšuje tvorba definitivní moči až o 50 % oproti normálu a kapacita močového měchýře se zdvojnásobuje (Binder et al, 2020; Kittnar et al, 2020).

5.3.7 Kožní změny

Změny na pokožce jsou od prvního trimestru, kdy dochází k hyperpigmentaci vlivem hormonů – melanostimulačního hormonu, estrogenu a progesteronu. U gravidních se setkáváme s hirsutismem, naopak po porodu dochází ke ztrátě vlasů. Ztráta vlasů je reverzibilní asi s ročním trváním (Binder et al, 2020; Hájek et al, 2004).

5.3.8 Strava

Vnímat složení potravy by měla žena již od časně fáze plánování těhotenství. Základní předpoklady pro stravu je pestrost, vyváženost a příjem potravin se zvýšeným obsahem železa a kyseliny listové. Kyselina listová má zásadní význam pro vývoj nervové trubice (předcházíme *spida bifida*). Zvýšené množství kyseliny listové se nachází v ovoci, zelenině, cereáliích, arašídech. Studie z USA a Kanady se zaměřily na obohacování mouky kyselinou listovou. Výsledkem těchto studií bylo snížení výskytu poruch nervové trubice i o 50 %. (Williamson, 2006)

Doporučuje se navýšit příjem proteinů o 10 g/den, do potravy volit kvalitní tuky (omega 3 mastné kyseliny, kyselina dokosahehexaenová), suplementovat vápník pro snížení nevolnosti, jód pro vývoj plodu, zinek ke snížení rizika mentální retardace, železo, vitamin B, C, D, E (Kasper, 2015; Roztočil et al, 2008). Doporučené dávky výše zmíněných živin znázorňuje tabulka č. 8.

Další důležitou složkou je dostatečný přísun vody. V graviditě je v těle zadržováno cca o 6,5 litru vody více, která je potřebná pro plod, placentu, plodovou vodu, cévní řečiště. (Roztočil et al, 2008)

Tabulka č. 8 – Doporučený denní příjem živin v těhotenství od 4. měsíce

Nutrient	Doporučená denní dávka [mg]
Vápník	1000
Železo	30
Jód	0,23
Zinek	10
Vitamín D	0,06
Vitamín E	13
Vitamín K	0,06
Vitamín A	1,10
Vitamín C	110
Vitamín B ₁	1,20
Vitamín B ₂	1,50
Vitamín B ₆	1,90
Vitamín B ₁₂	<0,01
Niacin	15
Kyselina listová	0,60

(Tabulka převzata z Kasper, 2015)

Některým potravinám by se těhotné ženy měly zásadně vyhýbat. Jedná se o kofeinové, alkoholové, veškeré sycené nápoje, užívání drog a jiných návykových látek (Roztočil et al, 2008; Slezáková et al, 2017).

5.4 Studie

Výzkum na těhotných ženách probíhá již pár let. Do své diplomové práce jsem zahrnul ukázkou některých publikací, které se zabývaly stejnou či podobnou problematikou měření REE u těhotných žen v různém stádiu těhotenství. Zařadil jsem studie z vyspělých (USA, Švédsko, Španělsko, Japonsko, Austrálie, ČR), ale i rozvojových zemí (Gambie, Indie).

Stručný přehled REE pouze některých studií, které jsem do své diplomové práce zahrnul, je v tabulce č. 9. Tabulkový přehled zahrnuje REE ze všech třech trimestrů (bylo-li uvedeno). Pokud ve studiích bylo vyšetřování těhotných žen prováděno vícekrát v jednom trimestru, pak je hodnota REE v tabulce vztažena vždy k co nejpozdnějšímu týdnu trimestru. Některé hodnoty musely být přepočítány z kJ na kcal. Pro tento převod bylo využito vztahu: $1 \text{ kJ} \approx 0,2388 \text{ kcal}$.

Tabulka č. 9 – Porovnávání REE z vybraných studií v [kcal/den]

Studie	N	REE [kcal/den]		
		1. trimestr	2. trimestr	3. trimestr
ČR (Hronek, 2011)	176	1199	1280	1364
Turecko (Cikrikçi, 1999)	24	1245	1382	1524
San Francisko (Kopp-Hoolihan, 1999)	10	1304	1542	1690
Gambie (Poppitt, 1993)	21	1219	1267	1338
Španělsko (Bugatto, 2017)	35	Kontrolní skupina		
		1378	1390	1654
		Obézní		
		1729	1938	2111
Austrálie (Byrne, 2011)	23	1719	–	1897
Japonsko (Eto, 2018)	144	Gravidní bez DM		
		1461	1491	1644
		Gravidní s DM		
		1568	1710	1716
Indie (Piers, 1995)	22	1224	1345	1475
Švédsko (Lof, 2005)	23	–	1333	1636
Kalifornie (Hagobian, 2015)	16	1458	1580	1830

N – počet subjektů ve studii, *REE* – *resting energy expenditure* (klidový energetický výdej) v [kcal/den], *DM* – *diabetes mellitus* (cukrovka)

Více k vědeckým studiím, které mají stejné téma, rozepisují níže.

Hronkova longitudinální studie v roce 2011 proběhla na zdravých českých ženách. Celkem se zapojilo 152 těhotných a 24 netěhotných žen ve věku $27,2 \pm 4,4$ let. Všechny byly zdravé, nekuřačky, bez chronicky užívané medikace, alkoholu, drog a měly první či druhé těhotenství. Měření REE a antropometrických dat probíhalo ve čtyřech obdobích (P1-P4) nepřímou kalorimetrií. Vyšetřování bylo prováděno v následujících týdnech: P1 (do 20. týdne), P2 (21.–29. týden), P3 (30.–36. týden), P4 (37.–39. týden).

Ve studii byly nalezeny silné asociace mezi REE a měřenými antropometrickými parametry (tělesná hmotnost, FM, FFM, BSA, BMI). To souviselo s vývojem těhotenství ženy a zvýšením REE. Hodnota REE byla s délkou trvání těhotenství zvyšována ($p < 0,0001$), pouze nárůst u REE-IC na kg FFM nebyl významný. Statisticky významné korelace byly mezi naměřeným REE a tělesnou váhou v průběhu těhotenství ($r = 0,54$; $p < 0,0001$), REE a BSA ($r = 0,77$; $p < 0,0001$), REE a FFM ($r = 0,70$; $p < 0,0001$). Ačkoli se potvrdila korelace FM a REE, tak FM nebylo vhodné používat pro odhad REE z důvodu nižší korelace než FFM, BSA, tělesná hmotnost.

Tato studie prokázala, že pokud je hodnota FFM známá nebo pokud lze z antropometrických údajů změřit, tak hodnota REE/FFM v praxi umožňuje přesnou předpověď REE. (Hronek et al, 2011)

Longitudinální Cikrikçihio studie se v roce 1999 věnovala výzkumu na 24 těhotných ženách ve věku $24,8 \pm 5,7$ let z Turecka. Studie byla zaměřena především na měření BMR (basal metabolic rate), tělesné hmotnosti, FFM a množství tělesného tuku v těhotenství. Měření bylo naplánované na 6. týden v každém trimestru. Měření bylo provedeno nepřímou kalorimetrií za standardních podmínek včetně třicetiminutového odpočinku před počátkem měření.

Nárůst tělesné hmotnosti v těhotenství byl přímo úměrný délce gravidity s výsledným nárůstem $10,5 \pm 3,6$ kg. Studie prokázala, že nárůst BMR významně souvisel se změnou tloušťky kožní řasy a procentem tělesného tuku ($p < 0,0001$), které se navyšovalo přímo úměrně s délkou gravidity s celkovým navýšením $4,9 \pm 2,0$ %. Odhadovaná hodnota BMR byla porovnávaná s hodnotou naměřenou. V prvním trimestru byla naměřena významně nižší hodnota od té očekávané ($p < 0,01$). V dalších dvou trimestrech se však odhadované a naměřené hodnoty významně neodlišovaly. Také došlo ke zvýšení FFM. Zvýšený poměr BMR/FFM od 1. do 3. trimestru byl statisticky

významný ($p < 0,05$). Téměř 50 % energie navíc potřebné pro těhotenství bylo pokryto z navýšeného BMR.

Zvýšení BMR bylo významné od 1. do 3. trimestru o 279 ± 212 kcal/den. Korelace BMR s váhou byla ve všech trimestrech, ale významná byla pouze ve 2. a 3. trimestru. Tělesná hmotnost se změnila z $56,7 \pm 7,3$ kg na $67,2 \pm 7,8$ kg. Procento tělesného tuku bylo zvýšeno z $26,1 \pm 4,3$ % na $31,0 \pm 4,4$ %. Odhad BMR v 1. trimestru byl 1367 ± 64 kcal/den (vs. naměřené 1245 ± 213 kcal/den), ve 3. trimestru 1462 ± 70 kcal/den (naměřené 1524 ± 279 kcal/den). (Cikrikçi et al, 1999)

Butteho studie v roce 1999 zahrnovala vyšetření na 76 zdravých těhotných ženách s průměrným věkem $28,8 \pm 4,2$ let, očekávající maximálně čtvrtého potomka. Účastnicemi studie byly bělošky, Afroameričanky, Hispánky a Asiatky. Těhotenský váhový přírůstek byl $16,2 \pm 5,3$ kg. Respirační kalorimetrie byla měřena nepřetržitě 24 hodin za podmínek temperované teploty i vlhkosti. Studie porovnávala rozdíly v gravidním a postgravidním období.

Významný vliv na složení těla na TEE (celkový energetický příjem) měla FM a tuková hmota ($p = 0,001$). Porodní hmotnost pozitivně korelovala s TEE během těhotenství ($p = 0,001$). Energetický výdej, který ve 37. týdnu těhotenství byl $6,69 \pm 0,63$ kJ/min, začal po porodu klesat a v 6. měsíci po porodu vykazoval hodnotu $5,31 \pm 0,63$ kJ/min vztaženo na TEE a pro kojící. BMR se v průběhu měření významně lišil. BMR ve 37. týdnu dosahoval $1,33 \pm 0,06$ kJ/den a do 6. měsíce po porodu lehce klesal na $1,31 \pm 0,07$ kJ/den u kojících. Zjistilo se, že v těhotenství BMR dosahoval asi o 18–20 % více, TEE o 15–18 % více a RQ bylo vyšší než v období po graviditě.

Oxidace proteinů v těhotenství jako procento TEE byla významně nižší než po porodu ($p = 0,004$). V pozdním těhotenství došlo ke zvýšení TEE o 1264 kJ/den, což bylo přisouzeno potřebám plodu. Od 37. týdne až do 6. měsíce po porodu se zvyšoval podíl oxidovaných sacharidů, což souviselo s využitím glukózy pro plod, mléčnou žlázu a kojení.

Studie došla k závěru, že nejsilnějším prediktorem BMR byla FFM. (Butte et al, 1999)

Sally s kolektivem měřila BMR u dospívajících těhotných žen z tropické oblasti Brazílie po dobu několika let. Studii dokončilo 63 z 68 těhotných zdravých žen ve věku 13–19 let v různém stádiu těhotenství. Vždy se jednalo o primiparu, která čekala jednoho potomka. V prvním trimestru bylo měřeno 28,6 % žen, ve druhém trimestru 55,5 % žen. Přibližně jedna třetina z vyšetřovaných žen měla nadváhu. Nepřímá kalorimetrie byla naměřena za 25 minut, za standardních podmínek, v tiché místnosti s nízkou intenzitou světla, bez hluku, při temperované teplotě, po nočním lačnění, po osmi hodinách spánku, 24 hodin bez větší fyzické námaze a po několika minutovém zklidnění na lůžku. Naměřená hodnota BMR se porovnávala s odhadovanými hodnotami z prediktivních rovnic.

Naměřená střední hodnota BMR se od odhadované hodnoty BMR významně lišila s nízkou přesností. Průměrná hodnota BMR byla naměřena $5447,3 \pm 917,3$ kJ/den, avšak odhad Schofieldovou rovnicí nadhodnotil výsledek na $6197,5 \pm 740,2$ kJ/den. Zkreslení činilo $747,2 \pm 774,1$ kJ/den (rozdíl vyjádřený v procentech $15,7 \pm 17,6$ %). (Sally et al, 2018)

Melzer v roce 2009 zahrnul do své studie 45 žen ze švýcarské Ženevy ve věku 23–40 let (18 žen měřeno do porodu a 27 žen dokončilo měření i po porodu). Vyšetření probíhalo ve $38,2 \pm 1,5$ týdnu těhotenství a $40 \pm 7,2$ týdnů po porodu. Měření nepřímé kalorimetrie trvalo 30 minut (prvních 5 minut bylo odstraněno kvůli aklimatizaci). Hodnoty VO_2 a VCO_2 byly použity dále do výpočtu RMR Weirovou rovnicí.

RMR byla v těhotenství 7484 ± 1112 kJ/den (o 1320 ± 760 kJ/den vyšší než po porodu). Byly nalezeny významné korelace RMR v těhotenství s tělesnou hmotností ($r = 0,84$; $p < 0,001$), RMR po porodu se změnami tělesné hmotnosti ($r = 0,61$; $p = 0,001$). Čím vyšší byla RMR, tím byla významnější korelace s vyšší tělesnou hmotností během gravidity.

Významná korelace těhotenského TEE a těhotenské RMR ($r = 0,91$; $p < 0,001$) vysvětlila 82 % nárůst TEE. Pozorovatelný nárůst TEE v těhotenství (z velké části kvůli nárůstu RMR) byl cca o 836 kJ/den vyšší než po porodu. (Melzer et al, 2009)

10 žen se podílelo na longitudinální studii Kopp-Hoolihana v San Francisku. Vyšetřované ženy byly ve věku 19–26 let, jejich tělesná hmotnost i BMI dosahovaly normálních hodnot a jednalo se o sekundipary nebo terciipary. Každá žena byla vyšetřena celkem pětkrát. Prvně před otěhotněním, třikrát během gravidity (8.–10., 24.–26. a 34.–36. týden) a naposledy ve fázi 4–6 týdnů po porodu. Váhový přírůstek ve 36. týdnu dosahoval $11,6 \pm 4,3$ kg. Nepřímá kalorimetrie byla naměřena za standardních podmínek přístrojem (Sensormedics, Inc, Yorba Linda, CA). Energetický výdej byl vypočítán Weirovou rovnicí.

Průměrné zvýšení RMR bylo o 1578 ± 876 kJ/den. Jednalo se tedy o 29 % nárůst pregravidních hodnot. RMR se zvyšovala s délkou těhotenství s maximem ve 34.–36. týdnu, v rozmezí 456–3389 kJ/den. Nebyl nalezen žádný významný rozdíl RMR v pregraviditě a postgraviditě. Pregravidní RMR dosahovala 5497 ± 903 kJ/den, ve třetím trimestru gravidity 7075 ± 960 kJ/den a postgravidní RMR klesla na 5561 ± 715 kJ/den.

Ve studii nebyl nalezen vztah mezi nárůstem RMR s žádným měřeným pregravidním faktorem (tělesná hmotnost, BMI, FM, FFM, energetická potřeba). Nárůst RMR nekoreloval s energetickým příjmem matky v těhotenství, ani se nenašel žádný odhad nárůstu FM v těhotenství na základě energetického příjmu před těhotenstvím, tělesné hmotnosti, BMI, FM, FFM.

Negativní korelace mezi kumulativním zvýšením RMR a přírůstkem FM ($r = -0,64$; $p < 0,05$) naznačila, že čím vyšší byla RMR subjektu během těhotenství, tím se uložilo méně tuku. Hraničně významná korelace byla mezi kumulativním zvýšením RMR a depozicí FFM ($r = 0,58$; $p < 0,08$), podobnou vztahu RMR a FFM taktéž u netěhotných. Pozitivní korelace se objevila u pregravidního RMR v kg: FFM pozitivně korelovala s přírůstkem FM ($r = 0,65$; $p < 0,05$). Průměrná přírůstková energie potřebná pro RMR 151 MJ byla shodná s teoretickým odhadem Hyttena a Leitcha na 150 MJ. (Kopp-Hoolihan et al, 1999)

Poppittova studie energetického výdeje vyšetřovala gambijské ženy v několika fázích těhotenství. První měření začalo ještě před otěhotněním, následovalo v 6., 12., 18., 24., 30., 36. týdnu těhotenství. Ženy byly ve věku 18–40 let. Nárůst tělesné hmotnosti byl $6,8 \pm 2,8$ kg. Ve studii se objevila korelace BMR s tělesnou hmotností ($r = 0,60$; $p < 0,01$). Celkové metabolické nároky za 36 týdnů gravidity činily 144 MJ (jsou nižší, než v ostatních vyspělých západních zemích). Ranní měření kalorimetrie proběhlo za standardních podmínek, v klidu, nalačno, při stálé teplotě. Do 18. týdne byl pozorovaný lehký pokles BMR a v konečném měření byla hodnota BMR zvýšena pouze na $0,49 \pm 0,09$ MJ/den. Celkový BMR v 6. týdnu gravidity činil $5,02 \pm 0,48$ MJ a ve 36. týdnu $5,71 \pm 0,43$ MJ. (Poppitt et al, 1993)

Bronsteinovy studie se zúčastnilo 17 netěhotných a 16 těhotných žen ve věku 20–35 let. Vyšetřované ženy byly rozděleny podle naměřeného BMI – s normální tělesnou váhou a nadváhou ($BMI > 25$ kg/m²). Ženy byly nekuřačky, bez medikamentů a měly méně než 3 děti. BMR byl u každé ženy měřen třikrát, přičemž průměr byl stanoven z posledních dvou měření ze 31.–35. týdne s dvoutýdenním intervalem. Pro měření byla využita nepřímá kalorimetrie s otevřeným kruhem a BMR bylo vypočítáno z VO_2 a VCO_2 podle Weirovy rovnice.

U netěhotných žen byly nalezeny významné korelace BMR s FFM ($r = 0,90$; $p < 0,0001$), BMR s FM ($r = 0,80$; $p = 0,0001$), BMR s tělesnou váhou ($r = 0,89$; $p < 0,0001$), zatímco u těhotných významná korelace tělesné váhy s BMR nebyla ($r = 0,37$; $p = 0,15$). Vícenásobná regresní analýza ukázala, že tuková hmota byla významným prediktorem BMR u těhotných, ale FFM nikoliv.

Změřený BMR byl u těhotných významně vyšší ($7,48 \pm 1,12$ MJ/den), než u netěhotných ($5,92 \pm 1,04$ MJ/den). Vícenásobná regresní analýza u netěhotných ukázala významnost FFM s BMR, zatímco hodnota tukové hmoty byla nevýznamná. U těhotných byl výsledek opačný – tuková hmota se stala vysoce významnou, ale FFM ne.

Těhotné ženy s nadváhou pro bazální metabolismus vynaložily $8,34 \pm 0,85$ MJ/den, zatímco těhotné s normální váhou jen $6,61 \pm 0,62$ MJ/den. (Bronstein et al, 1996)

Bugatto do studie zahrnul 40 zdravých těhotných žen, přičemž 35 z nich měření dokončilo. Při měření v prvním trimestru byly těhotné ženy rozděleny do dvou skupin podle tělesné váhy – normální tělesná hmotnost a nadváha ($BMI \geq 25 \text{ kg/m}^2$). 14 žen bylo s nadváhou a 21 žen s normální tělesnou váhou sloužilo jako kontrolní skupina. Vyšetření probíhalo každý čtvrtý týden od 12. až do 36. týdne gravidity (12., 16., 20., 24., 28., 32., 36.). Nepřímá kalorimetrie byla měřena 30 minut přístrojem (Vmax Encore®, VIASYS Healthcare GmbH, Hoechst, Germany) při standardních podmínkách. V obou skupinách došlo během těhotenství k výraznému zvýšení VO_2 (štíhlé: $p < 0,001$; obézní: $p = 0,03$), VCO_2 (štíhlé: $p = 0,001$; obézní: $p = 0,02$) a REE (štíhlé: $p < 0,001$; obézní: $p = 0,03$).

Štíhlé:

REE dosahoval v prvním trimestru 1378 ± 129 kcal/den a ve třetím trimestru 1654 ± 229 kcal/den. Naměřený REE byl na konci těhotenství o 10 % vyšší než odhad. Hodnoty RQ byly naměřeny nejvyšší na počátku těhotenství, ve 2. trimestru byly sníženy, ve 3. opět navýšeny. Došlo k poklesu oxidace sacharidů, zvýšení oxidace lipidů (přechod metabolismu nastal mezi 24.–26. týdnem gravidity). Ke konci těhotenství došlo k novému zvýšení oxidace sacharidů a snížení oxidace lipidů. Přehled je vytvořen v tabulce č. 10.

Obézní:

REE z původní hodnoty na počátku těhotenství 1729 ± 293 kcal/den se zvýšil na 2111 ± 326 kcal/den. Oproti odhadované hodnotě byl REE naměřen o 25 % vyšší. Průběh metabolismu substrátů byl velmi podobný, ale přechod metabolismu nastal dříve, již mezi 12.–16. týdnem a míra oxidace lipidů se závěrečným zvýšením byla celkově vyšší.

Tabulka č. 10 – Přehled oxidace substrátů, RQ ve studii (Bugatto et al, 2017)

		20. týden gravidity	<i>p</i>	36. týden gravidity	<i>p</i>
Oxidace sacharidů [%]	štíhlé	44±18,60	0,02	52,80±19,20	0,01
	obézní	30±7,80		28,40±13,10	
Oxidace lipidů [%]	štíhlé	36,80±19,70	<0,01	33,60±18,20	<0,01
	obézní	55,20±5,60		59,60±12,70	
RQ	štíhlé	0,85±0,06	<0,01	0,87±0,05	0,01
	obézní	0,81±0,001		0,80±0,03	

p – hodnota statistické významnosti, *RQ* – respiratory quotient (respirační kvocient)

(Tabulka vytvořena na základě textového zdroje Bugatto et al, 2017)

Zajímavostí z této studie je výše uvedená tabulka s oxidací substrátů. Těhotné ženy s nadváhou měly vyšší oxidaci lipidů s výrazným zvýšením na konci gravidity. Štíhlé gravidní ženy ve studii ke konci gravidity vykazovaly pokles oxidace lipidů.

Velmi zajímavá a významná korelace byla mezi pregravidním BMI matky a oxidací lipidů zejména na konci těhotenství. Pro přehlednost uvádím stručný přehled korelačního koeficientu s hladinou významnosti v tabulce č. 11.

Tabulka č. 11 – Korelace pregravidního BMI s oxidací lipidů v graviditě

Týden gravidity	<i>r</i>	<i>p</i>
12. týden	0,46	<0,01
16. týden	0,44	0,01
20. týden	0,38	0,03
28. týden	0,38	0,04
32. týden	0,37	0,04
36. týden	0,64	<0,01

r – korelační koeficient, *p* – hodnota statistické významnosti

(Tabulka vytvořena na základě textového zdroje Bugatto et al, 2017)

Výsledkem studie byly také negativní korelace mezi RQ ve 36. týdnu a pregravidní BMI ($r = -0,58$; $p = 0,001$) a mezi RQ a BMI 36. týdne ($r = -0,64$; $p = 0,001$). (Bugatto et al, 2017)

Studie Berggrena probíhala v Americe na ženách ve věku 32 ± 4 let. Samotné měření bylo naplánované v intervalu tři měsíce před otěhotněním a ve 33.–36. týdnu těhotenství. Ženy během gravidity přibraly $12,8 \pm 4,7$ kg. Měření nepřímou kalorimetrií trvalo 45 minut.

Výsledkem bylo zvýšení FFM o 19 ± 6 %, FM o 30 ± 30 %. REE vzrostl z 1428 ± 172 kcal/den na 1820 ± 283 kcal/den. REE v kcal * den/kg * FFM z měření před otěhotněním a pozdního těhotenství klesl u 25 % žen (tyto ženy měly podobné parametry: věk, gestační DM, podobné BMI apod.). REE v kcal/den byl zvýšen u 98 % žen a měl pozitivní korelace se změnou FFM ($r = 0,44$; $p = 0,002$) a negativní korelaci s rozdílem FM ($r = -0,27$; $p = 0,06$).

Před počítáním nebyl REE spojen se ztrátou či zvýšením FM, v těhotenství byl nižší REE u žen s vyšším FM. Těhotenský REE v kcal * den/kg * FFM byl nepřímo spojen se změnami FM ($r = -0,34$; $p = 0,02$) a gestačním tělesným hmotnostním přírůstkem ($r = -0,29$; $p = 0,04$).

Shrnutím americké studie vyšla pozitivní korelace REE (z období před graviditou až po její konec) se změnami FFM a negativní korelace s FM. Těhotné, které měly po dobu měření nižší REE, měly větší těhotenský přírůstek tělesné hmotnosti (více tukové tkáně). (Berggren et al, 2017)

Další Melzerova studie z roku 2010 porovnávala RMR u gravidních ($38,2 \pm 1,5$ týdně těhotenství) a postgravidních ($40 \pm 7,2$ týden postgravidity) v závislosti na BMI. Měření dokončilo 46 ze 71 žen ve věku 31 ± 5 let. Výsledkem měření byla korelace RMR se zvýšením tělesné hmotnosti ($r = 0,78$; $p < 0,001$). U žen s nízkým BMI byla naměřena RMR 1737 ± 116 kcal/den a s vysokou BMI hodnotou 2191 ± 503 kcal/den ($p = 0,001$). Gravidní a postgravidní RMR byla při hodnocení odlišná. Gravidní RMR byla o 316 ± 183 kcal/den (21 %) vyšší než postgravidní, přičemž tento rozdíl koreloval s gestačním přírůstkem ($r = 0,78$; $p < 0,001$). (Melzer et al, 2010)

Butte a Kingova studie sledovala energetickou potřebu těhotných a kojících žen. Gestační váhový přírůstek se vyšplhal na 12,5 kg. Výsledkem byla pozitivní korelace mezi BMR a celkovým přírůstkem tělesné hmotnosti ($r = 0,79$; $p < 0,001$), BMR s pregravidní procentuální FM ($r = 0,72$; $p < 0,001$). Naměřený nárůst energie 160 MJ byl velmi blízký odhadované hodnotě 150 MJ. (Butte et King, 2005)

Byrne ve studii sledoval změny a korelace s RMR. Vědci zjistili, že u většiny těhotných žen narostlo RMR od 15.–30. týdne. V průměru došlo ke zvýšení RMR o 177 ± 176 kcal/den (průměrná rychlost $11,5 \pm 12$ kcal/gestační týden). Naměřená RMR v 15. týdnu činila 1719 ± 254 kcal/den a ve 30. týdnu 1897 ± 180 kcal/den. Ženy s vyšší absolutní RMR na počátku těhotenství měly menší nárůst RMR během gestace. Změna RMR v 15.–30. týdnu nekorelovala s tělesnou hmotností, BMI ani přírůstkem tělesné hmotnosti. Z výsledků bylo patrné, že nárůst RMR byl větší než nárůst tělesné hmotnosti. Při měření v 15. týdnu bylo RMR přibližně stejné jak u těhotných, tak netěhotných. Jinak tomu bylo ve 30. týdnu těhotenství, kdy RMR u těhotných byla významně vyšší než u netěhotných (stejněho věku i tělesné hmotnosti). Předpokládaná a naměřená RMR u netěhotných se téměř nelišila, avšak u těhotných byla změna ve 30. týdnu gravidity významná. (Byrne et al, 2011)

Japonská studie se zaměřila na těhotné ženy s onemocněním DM. Vyšetření se zúčastnilo 144 žen (103 zdravých, 41 s gestačním DM). K významnému nárůstu REE u žen s normální glukózovou tolerancí došlo ve 3. trimestru (1. trimestr 1461 ± 215 kcal/den, 3. trimestr 1644 ± 234 kcal/den). U gravidních s DM to bylo podobné, avšak nevýznamné (1. trimestr 1568 ± 404 kcal/den, 3. trimestr 1716 ± 251 kcal/den). FM u těhotných bez DM bylo zvýšeno z 1. trimestru ($14,7 \pm 5,9$ kg) do 3. trimestru ($17,8 \pm 6,7$ kg). FFM těhotných bez DM bylo $37,0 \pm 3,2$ kg (v 1. trimestru) a $43,3 \pm 4,8$ kg (ve 3. trimestru). U těhotných s DM hodnoty FM s časem klesaly (1. trimestr: $25,2 \pm 9,4$ kg a 3. trimestr: $22,3 \pm 8,9$ kg). Hodnoty FFM těhotných s DM byly v 1. trimestru $43,0 \pm 5,7$ kg a ve 3. trimestru $46,8 \pm 6,6$ kg. Podle dat získaných ze studie bylo vyšší REE u těhotných s DM a u obéznějších, zdravých, těhotných žen. Korelace byly nalezeny mezi REE s FFM (u těhotných s DM i bez DM), REE s hemoglobinem A1. (Eto et al, 2018)

Piersova studie uvedla výsledky rychlosti oxidace nutričních substrátů a NRQ z kalorimetrie. Tyto hodnoty ze studie jsou přepracované do tabulky č. 12.

Tabulka č. 12 – Rychlost oxidace nutričních substrátů, NRQ ze studie Piers, 1995

	NRQ	Proteiny [g/den]	Tuky [g/den]	Sacharidy [g/den]
12. týden gravidity	0,84±0,04	48,24±25,63	54,86±14,83	126,14±41,47
24. týden gravidity	0,88±0,04	42,34±14,98	48,82±19,87	180,58±41,77
34. týden gravidity	0,85±0,05	37,87±14,11	66,10±22,46	175,54±50,26

NRQ – *non-respiratory quotient* (nebílkovinný respirační kvocient)

(Tabulka přepracovaná na základě textového souboru studie Piers et al, 1995)

Jak je z tabulky č. 12 vidět, tak s délkou těhotenství došlo k významnému zvýšení oxidace sacharidů ($p < 0,05$) a k viditelnému snížení rychlosti oxidace bílkovin.

Výsledky potvrdily i zvyšující se hodnoty bazálního metabolismu (ve 12. týdnu gravidity bylo $3,56 \pm 0,38$ kJ/min a ve 34. týdnu $4,29 \pm 0,55$ kJ/min). (Piers et al, 1995)

Korelace BMR se zvýšením tělesné hmotnosti v těhotenství ($r = 0,699$), BMR s tělesnou hmotností ($r = 0,570$; $p < 0,05$) potvrdil v roce 2005 Lof ve své studii. Ve studii byla zmíněna korelace ve 32. týdnu (BMR s FFM a BMR s celkovým tělesným tukem). BMR se zvyšoval s časem gravidity. (Lof et al, 2005)

Studie z Nizozemska poukázala na potlačení REE v časně fázi těhotenství především u žen s nízkým BMI. Naopak ke zvýšenému nárůstu REE došlo u žen s vysokým BMI až v pokročilejší fázi těhotenství. (Spaanderman et al, 2000)

Pilotní studie zahrnuje šestnáct těhotných žen z Kalifornie. Nárůst REE z 12.–16. týdne byl 1458 ± 310 kcal/den a v období 32.–34. týdne 1830 ± 332 kcal/den (významně odlišné od měření v předchozím období $p < 0,05$).

Hagobian došel k závěru, že vyšší tělesná hmotnost při počátku těhotenství byla nejsilnějším prediktorem vyššího REE v pozdější fázi těhotenství. Také vyšší energetický příjem (± 200 kcal/den) na začátku těhotenství předpovídal vyšší REE v pozdější fázi. Z Hagobianovy studie vyplynulo, že přibývání na váze bylo primárním určujícím faktorem REE během těhotenství. (Hagobian et al, 2015)

6. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

6.1 Metodika

Práce je součástí longitudinální studie zaměřené na zjištění změn klidového energetického výdeje v těhotenství. Vyšetřování těhotných žen probíhalo v Laboratoři klinické fyziologie výživy a metabolismu na kampusu Farmaceutické fakulty Univerzity Karlovy v Hradci Králové pod vedením doc. PharmDr. Miloslava Hronka, Ph.D.

Studie se zúčastnilo deset těhotných žen ve věku $30 \pm 3,6$ let. Vyšetření probíhalo v určitých intervalech těhotenství, celkem třikrát. 1. vyšetření probíhalo v rozmezí 21.–27. týdnu, 2. vyšetření ve 31.–32. týdnu a poslední od 36. do 37. týdne těhotenství.

Ženy na vyšetření přicházely v dopoledních hodinách po dvanáctihodinovém lačnění. S sebou přinesly moč nasbíranou za 24 hodin a vyplněný dotazník zaměřený na fyzické aktivity a stravování za předchozí týden. Z informací získaných z dotazníků se vyhodnocoval nedostatek potřebných nutrientů v těhotenství s doporučením na doplnění nutrientů ve stravě nebo užívání doplňků stravy. Při příchodu podepisovaly informovaný souhlas s vyšetřením. Celé vyšetření trvalo přibližně hodinu.

Tato diplomová práce je zaměřena na klidový energetický výdej, nicméně vyšetření zahrnovalo i mnoho dalšího. Mimo kalorimetrii byl pacientkám změřen krevní tlak poloautomatickým tlakoměrem, byly zváženy na antropometrické váze pro získání více informací o složení konkrétního těla. Z antropometrické váhy byly získány parametry jako je tělesná hmotnost, viscerální a tělesný tuk, obsah vody v těle, bazální metabolismus, metabolický věk, hmotnost kostí, výkonnostní rating. Následovalo změření obvodů těla a kožních řas na přesně definovaných částech těla, bioimpedance, dynamometrie a na závěr spirometrie.

6.1.1 Nepřímá kalorimetrie

Vyšetření probíhalo po dvanáctihodinovém lačnění v laboratoři o teplotě 20–25 °C vleže na lůžku, na zádech, s kanopou přes obličej a v bdělém stavu. Místnost byla zatemnělá a předem vyvětraná. Vyšetřované nebyly po dobu měření ničím

ani nikým vyrušování, bylo důležité navodit fyzický i psychický klid. Tato část měření trvala cca 20 minut.

Měření energetického výdeje nepřímou kalorimetrií probíhalo na přístroji Vmax Series, V6200 Autobox, SensorMedics Corporation, California, USA. Výsledek kalorimetrie byl vypočítán naměřenými hodnotami spotřeby kyslíku a produkce oxidu uhličitého dle továrního softwaru, založeném na Weirově rovnici. Naměřená data byla využita při zjišťování korelace.

6.1.2 Statistické vyhodnocování výsledků

Pro statistické vyhodnocení výsledků byl použit program GraphPad Prism (GraphPad Software) verze 9.3.1.471. Tímto programem byly zjištěny maximální a minimální hodnoty, medián, percentily a korelační analýza. D'Agostino-Pearsonovým testem normality bylo zjištěno nenormální rozdělení získaných dat. Dalším použitým programem byl Microsoft Excel 2016. Korelační analýzou programem GraphPad Prism byl získán Spearmanův koeficient (r -hodnoty) a statisticky významné p -hodnoty. Za statisticky významné hodnoty považujeme $p < 0,05$. Pro porovnání parametrů mezi jednotlivými vyšetřeními byl použit White-Mannův test.

V diplomové práci byl z důvodu nenormálního složení prováděn u opakovaných měření pro prokázání statisticky významné odlišnosti Friedmanův test. Statisticky významné p -hodnoty jsou v tabulkách zvýrazněny tučně ($p < 0,05$).

6.1.3 Charakteristika těhotných žen

Přehled základních údajů těhotných žen je uveden v tabulce č. 13. Do studie bylo zahrnuto deset žen ve věku $30 \pm 3,6$ let. Hodnoty v tabulce č. 13 konkretizují věk, výšku, tělesnou hmotnost a BMI. Hodnoty tělesné hmotnosti v graviditě a BMI jsou zaokrouhleny maximálně na dvě desetinná místa. Pro nenormální rozdělení jsou uváděny mediány a percentily.

Tabulka č. 13 – Základní údaje těhotných žen

Iniciály žen	Věk [roky]	Výška [cm]	Hmotnost před graviditou [kg]	Hmotnost v graviditě			BMI [kg/m ²] *		
				[kg] *			1. vyšetření	2. vyšetření	3. vyšetření
				1. vyšetření	2. vyšetření	3. vyšetření			
TT	28	172	82	85,10	88,20	91,50	28,80	29,80	30,90
ZV	28	169,5	65	76,80	81,20	85,80	26,70	28,30	29,90
ČI	25	176	56	59,80	62,30	65,50	19,30	20,10	21,10
CHI	29	177	81	90,40	96,10	100,0	28,80	30,70	31,90
VP	39	169	54	64,60	69,60	72,50	22,60	24,40	25,40
ST	29	166,5	62	72,00	72,20	74,90	26,00	26,00	27,00
HK	29	177	76	82,80	86,00	89,30	26,40	27,50	28,50
HJ	30	164	63	73,40	71,70	74,60	27,30	26,70	27,70
UM	28	177	100	107,3	114,9	119,7	34,30	36,70	38,20
VSP	30	177	65	68,90	74,00	77,60	22,00	23,60	24,80
Minimum	25	164	54	60	62	65	19	20	21
25 % percentil	28	168	61	68	71	74	22	24	25
Medián	29	174	65	75	78	82	27	27	28
75 % percentil	30	177	81	86	90	94	29	30	31
Maximum	39	177	100	107	115	120	34	37	38

BMI – body mass index (index tělesné hmotnosti), * – $p < 0,0001$ (p – hodnota statistické významnosti)

Z tabulky č. 13 je viditelný přírůstek tělesné hmotnosti v těhotenství s vrcholem ve třetím trimestru. Narůstající trend byl i u hodnot BMI. U obou parametrů byl Friedmanovým testem potvrzen významně statistický rozdíl ($p < 0,05$).

Z antropometrické váhy byly získány údaje, jako je tělesná hmotnost, tělesný a viscerální tuk, obsah vody v těle, metabolismus a jiné. Celkový přehled podle jednotlivých vyšetření je uveden v mediánu a percentilech v tab. č. 14.

Tabulka č. 14 – Tabulka s antropometrickými údaji

		Minimum	25 % percentil	Medián	75 % percentil	Maximum	Friedmanův test
Hmotnost v graviditě [kg]	1. vyšetření	60	68	75	86	107	$p < 0,0001$
	2. vyšetření	62	71	78	90	115	
	3. vyšetření	65	74	82	94	120	
Tělesný tuk [%] dle přístroje BIA	1. vyšetření	26	29	32	36	44	$p = 0,0106$
	2. vyšetření	26	29	32	36	38	
	3. vyšetření	28	33	34	38	45	
Obsah vody v těle [%] BIA	1. vyšetření	41	44	45	47	52	$p = 0,0456$
	2. vyšetření	40	44	44	47	51	
	3. vyšetření	40	43	44	46	50	
Viscerální tuk [%] BIA	1. vyšetření	1	3,10	4,30	5	8	$p = 0,0010$
	2. vyšetření	1	3	4,30	5,10	8	
	3. vyšetření	1,50	4,40	5	6	10	
Hmotnost FFM [kg] BIA	1. vyšetření	40	44	48	56	59	$p = 0,0008$
	2. vyšetření	42	44	51	61	67	
	3. vyšetření	42	45	51	58	63	
Hmotnost kostí [kg] BIA	1. vyšetření	2,10	2,40	2,80	3	5,20	$p = 0,0140$
	2. vyšetření	2,20	2,40	2,70	3,20	3,60	
	3. vyšetření	2,40	2,50	3	8,20	29	
Bazální metabolismus dle přístroje [kcal] BIA	1. vyšetření	1282	1414	1543	1796	1896	$p = 0,0002$
	2. vyšetření	1343	1419	1618	1922	2198	
	3. vyšetření	1366	1459	1648	1859	2079	
Odhadovaný metabolický věk [rok] BIA	1. vyšetření	20	31	39	46	50	$p = 0,0048$
	2. vyšetření	24	31	39	44	53	
	3. vyšetření	26	42	44	46	54	

FFM – fat free mass (netučná tělesná hmota), *BIA* – bioelectrical impedance (bioimpedanční analýza), *p* – hodnota statistické významnosti

Výsledky tabulky č. 14 odpovídaly předpokladům. U těhotných žen se zvyšovala tělesná hmotnost, tělesný i viscerální tuk a bazální metabolismus. Jediné hodnoty charakterizující zadržování vody v těle žen se vyznačovaly stagnací s mírným poklesem. Friedmanův test prokázal mezi jednotlivými vyšetřeními u všech parametrů významně statistické rozdíly ($p < 0,05$).

Bioimpedanční analýza vyhodnotila množství tělesného a viscerálního tuku, netučné hmoty a obsahu vody v těle. Tab. č. 15 znázorňuje celkový přehled zmíněných parametrů.

Tabulka č. 15 – Složení těla změřené bioimpedancí

		Minimum	25% percentil	Medián	75% percentil	Maximum	Friedmanův test
FM [kg] - BIA	1. vyšetření	16	22	24	28	47	$p = 0,0013$
	2. vyšetření	18	22	25	30	44	
	3. vyšetření	19	26	28	34	54	
Obsah vody v těle [kg] - BIA	1. vyšetření	29	32	35	39	44	$P < 0,0001$
	2. vyšetření	31	31	37	40	46	
	3. vyšetření	31	32	38	42	48	
Viscerální tuk [kg] - BIA	1. vyšetření	0,60	2,40	3,10	3,90	8,60	$p < 0,0001$
	2. vyšetření	0,62	2,40	3,20	4,50	9,20	
	3. vyšetření	0,98	3,30	4,20	5,50	12	
FFM [kg] - BIA	1. vyšetření	42	46	51	59	62	$p < 0,0001$
	2. vyšetření	44	46	53	64	71	
	3. vyšetření	44	47	54	61	66	

FM – fat mas (tělesný tuk), **FFM** – fat free mass (netučná tělesná hmot), **BIA** – bioelectrical impedance (bioimpedanční analýza), **p** – hodnota statistické významnosti

Z uvedené tabulky č. 15 je viditelný nárůst všech daných parametrů. Těhotné ženy zadržovaly v těle více vody (větší objem krve) a přibraly tukovou i netukovou hmotu. Mezi vyšetřeními byl Friedmanovým testem prokázán statisticky významný rozdíl u všech sledovaných parametrů.

6.2 Výsledky

V následujících tabulkách č. 16, 17, 18 jsou uvedeny podrobné výsledné hodnoty z kalorimetrie (spotřeba kyslíku, produkce oxidu uhličitého a z jejich poměru respirační kvocient). Tabulky jsou rozděleny podle jednotlivých fází vyšetření.

Tabulka č. 16 – Základní kalorimetrické údaje z 1. vyšetření

Iniciály žen	VO ₂ [l/min]	VCO ₂ [l/min]	RQ	NRQ	N v moči za 24 hod [g/den]
TT	0,26	0,20	0,75	0,72	16,88
ZV	0,26	0,17	0,68	0,58	21,33
ČI	0,21	0,17	0,79	0,78	20,81
CHI	0,27	0,19	0,71	0,69	11,29
VP	0,18	0,17	0,93	0,98	11,36
ST	0,16	0,17	1,02	1,10	11,25
HK	0,19	0,15	0,82	0,82	16,36
HJ	0,20	0,18	0,87	0,91	16,87
UM	0,29	0,24	0,83	0,84	21,31
VSP	0,20	0,17	0,85	0,87	14,64

VO₂ – spotřeba kyslíku [l/min], **VCO₂** – výdej oxidu uhličitého [l/min], **RQ** – *respiratory quotient* (respirační kvocient), **NRQ** – *non-respiratory quotient* (nebílkovinný respirační kvocient), **N** – množství dusíku v moči [g/den]

Tabulka č. 17 – Základní kalorimetrické údaje z 2. vyšetření

Iniciály žen	VO ₂ [l/min]	VCO ₂ [l/min]	RQ	NRQ	N v moči za 24 hod [g/den]
TT	0,26	0,19	0,75	0,74	12,29
ZV	0,27	0,19	0,72	0,70	15,92
ČI	0,22	0,16	0,72	0,70	10,90
CHI	0,26	0,20	0,78	0,77	15,64
VP	0,23	0,19	0,84	0,84	8,67
ST	0,24	0,22	0,92	0,98	18,68
HK	0,24	0,19	0,77	0,75	15,68
HJ	0,23	0,18	0,79	0,78	9,36
UM	0,35	0,26	0,73	0,71	20,30
VSP	0,27	0,19	0,69	0,67	11,92

VO₂ – spotřeba kyslíku [l/min], VCO₂ – výdej oxidu uhličitého [l/min], RQ – respiratory quotient (respirační kvocient), NRQ – non-respiratory quotient (nebílkovinný respirační kvocient), N – množství dusíku v moči [g/den]

Tabulka č. 18 – Základní kalorimetrické údaje ze 3. vyšetření

Iniciály žen	VO ₂ [l/min]	VCO ₂ [l/min]	RQ	NRQ	N v moči za 24 hod [g/den]
TT	0,31	0,20	0,66	0,63	11,75
ZV	0,28	0,22	0,80	0,79	18,50
ČI	0,27	0,18	0,67	0,63	12,42
CHI	0,30	0,26	0,84	0,85	18,00
VP	0,25	0,21	0,85	0,86	6,99
ST	0,23	0,19	0,86	0,87	11,40
HK	0,28	0,24	0,87	0,89	19,45
HJ	0,23	0,20	0,87	0,87	10,21
UM	0,32	0,26	0,81	0,81	16,11
VSP	0,31	0,22	0,71	0,70	9,86

VO₂ – spotřeba kyslíku [l/min], VCO₂ – výdej oxidu uhličitého [l/min], RQ – respiratory quotient (respirační kvocient), NRQ – non-respiratory quotient (nebílkovinný respirační kvocient), N – množství dusíku v moči [g/den]

Tabulka č. 19 slouží jako souhrnný přehled z předchozích tabulek (tabulky č. 16, 17, 18). Uvedený medián a percentily přehledně nastiňují celkové změny dýchacích plynů. V tabulce č. 19 je znázorněna zvýšená spotřeba kyslíku v závislosti na délce gravidity. Produkce oxidu uhličitého v závislosti na délce těhotenství také vzrostla. Podle očekávání a naměřených hodnot vykazuje nejvyšší hodnoty měřených plynů měření poslední, tj. 3. vyšetření. Statisticky významné hodnoty pro $p < 0,05$ jsou v tabulce zvýrazněny tučně.

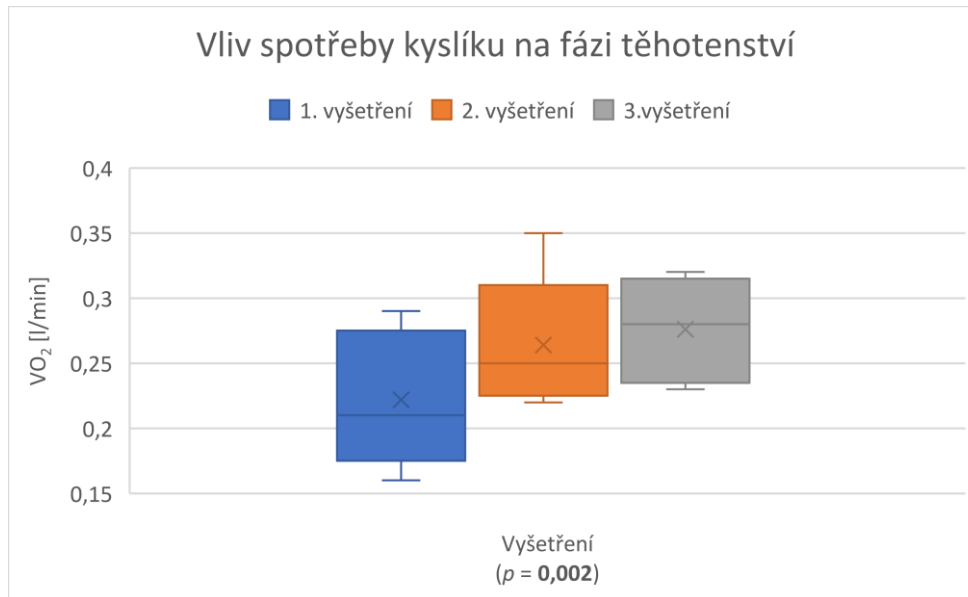
Tabulka č. 19 – Celkový přehled kalorimetrických hodnot z 1.–3. vyšetření

		Minimum	25 % percentil	Medián	75 % percentil	Maximum	Friedmanův test
VO₂ [l/min]	1. vyšetření	0,16	0,19	0,21	0,26	0,29	$p = 0,0020$
	2. vyšetření	0,22	0,23	0,25	0,27	0,35	
	3. vyšetření	0,23	0,24	0,28	0,31	0,32	
VCO₂ [l/min]	1. vyšetření	0,15	0,17	0,17	0,19	0,24	$p = 0,0002$
	2. vyšetření	0,16	0,18	0,19	0,21	0,26	
	3. vyšetření	0,18	0,20	0,21	0,25	0,26	
RQ	1. vyšetření	0,68	0,74	0,83	0,89	1	$p = 0,1641$
	2. vyšetření	0,69	0,72	0,76	0,80	0,92	
	3. vyšetření	0,66	0,70	0,83	0,86	0,87	
NRQ	1. vyšetření	0,58	0,71	0,83	0,93	1,10	$p = 0,2223$
	2. vyšetření	0,67	0,70	0,74	0,80	0,98	
	3. vyšetření	0,63	0,68	0,83	0,87	0,89	
N v moči za 24 hod [g/den]	1. vyšetření	11	11	17	21	21	$p = 0,1873$
	2. vyšetření	8,70	11	14	17	20	
	3. vyšetření	7	10	12	18	19	

VO₂ – spotřeba kyslíku [l/min], **VCO₂** – výdej oxidu uhličitého [l/min], **RQ** – *respiratory quotient* (respirační kvocient), **NRQ** – *non-respiratory quotient* (nebílkovinný respirační kvocient), **N** – množství dusíku v moči [g/den], **p** – hodnota statistické významnosti

Pro lepší znázornění jsou hodnoty zobrazeny v grafech. Parametry (spotřeba kyslíku, produkce oxidu uhličitého a respirační kvocient) jsou zachyceny při všech měřeních.

Graf č. 1 – Vliv spotřeby kyslíku [l/min] na fázi těhotenství

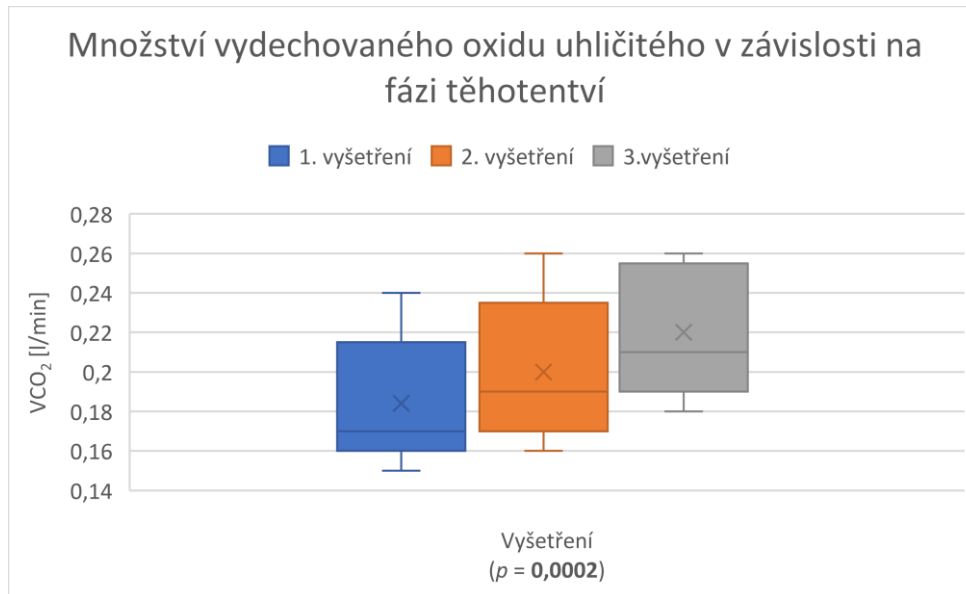


VO₂ – spotřeba kyslíku [l/min], **p** – hodnota statistické významnosti

Graf č. 1 znázorňuje nárůst spotřeby kyslíku v těhotenství a očekávaný narůstající trend s délkou těhotenství od prvního do třetího vyšetření. Mezi vyšetřeními byla prokázána statistická významnost ($p < 0,05$).

Stejně jako je vidět narůstající trend ve spotřebě kyslíku, tak i výdej oxidu uhličitého roste s délkou těhotenství. Tato závislost je znázorněna grafem č. 2. I zde Friedmanův test vyhodnotil statistickou významnost mezi jednotlivými vyšetřeními ($p < 0,05$).

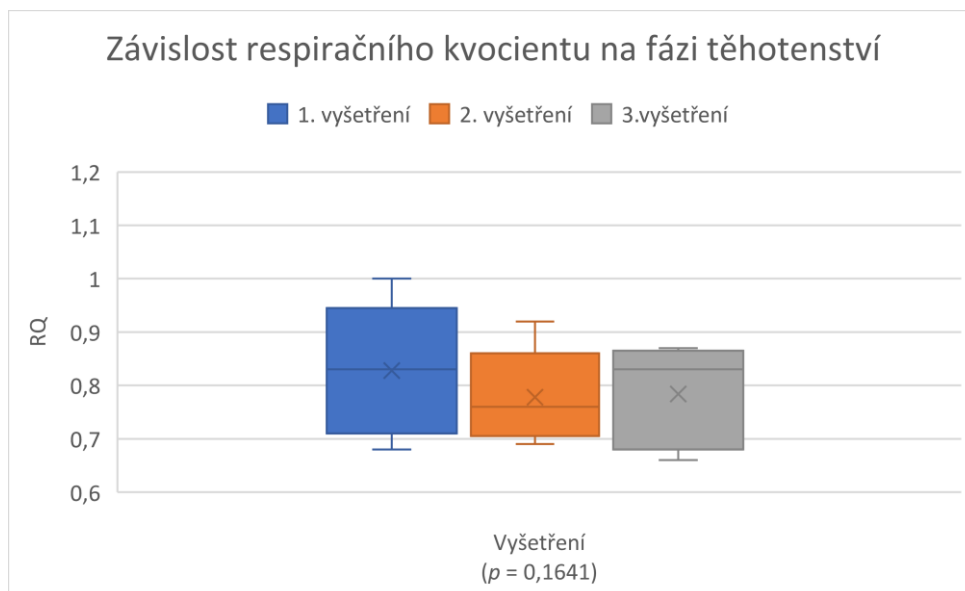
Graf č. 2 – Množství vydechaného oxidu uhličitého VCO_2 [l/min] v závislosti na fázi těhotenství



VCO_2 – výdej oxidu uhličitého [l/min], p – hodnota statistické významnosti

Změna respiračního kvocientu v průběhu těhotenství vypočtená ze spotřeby kyslíku a výdeje oxidu uhličitého je zachycena v grafu č. 3. Mezi vyšetřeními nebyla prokázána statistická významnost ($p > 0,05$).

Graf č. 3 – Závislost respiračního kvocientu na fázi těhotenství



RQ – respiratory quotient (respirační kvocient), p – hodnota statistické významnosti

Tabulka č. 20 shrnuje výsledky REE získané různými výpočty (nepřímou kalorimetrií, Harris-Benedictovou rovnicí, Hronkovou predikční rovnicí). Jak je uvedeno, REE v průběhu těhotenství roste a vrcholí ve třetím trimestru před porodem.

Tabulka č. 20 – REE u měřených těhotných žen z 1.–3. vyšetření

		Minimum	25 % percentil	Medián	75 % percentil	Maximum	Friedmanův test
Pregravidní REE vypočítaný z HB rovnice [kcal/den]		1302	1415	1480	1623	1878	
Pregravidní REE/Pregravidní BSA [kcal/m ² /den]		807	817	832	840	866	
REE–IC [kcal/den] *	1. vyšetření	1172	1271	1412	1765	1990	P = 0,0005
	2. vyšetření	1494	1594	1697	1770	2336	
	3. vyšetření	1559	1675	1902	2059	2200	
REE–HB [kcal/den]	1. vyšetření	1403	1485	1546	1670	1878	p < 0,0001
	2. vyšetření	1450	1493	1582	1706	1950	
	3. vyšetření	1478	1521	1621	1739	1996	
REE [%] *	1. vyšetření	77	87	96	106	110	p = 0,0063
	2. vyšetření	98	101	107	111	120	
	3. vyšetření	101	108	115	118	129	
PREE dle MH rovnice [kcal/den]	1. vyšetření	1439	1558	1647	1828	2131	p < 0,0001
	2. vyšetření	1508	1569	1700	1880	2238	
	3. vyšetření	1548	1611	1757	1929	2305	
Nárůst REE v graviditě [kcal] *	1. vyšetření	-305	-141	1,9	140	264	p = 0,0005
	2. vyšetření	67	104	196	308	529	
	3. vyšetření	143	299	397	436	584	
Nárůst REE v graviditě [%] *	1. vyšetření	-19	-9,60	0,20	8,60	18	p = 0,0005
	2. vyšetření	4,30	6,70	14	22	29	
	3. vyšetření	10	19	26	30	40	
REE/kg [kcal/den] *	1. vyšetření	15	18	20	21	24	p = 0,0924
	2. vyšetření	18	20	22	23	24	
	3. vyšetření	18	21	22	24	27	
REE/kg FFM [kcal/kg] *	1. vyšetření	25	25	29	33	35	p = 0,1873
	2. vyšetření	25	29	32	34	36	
	3. vyšetření	25	28	31	37	41	
REE/BSA [kcal/m ²] *	1. vyšetření	634	710	799	886	918	p = 0,0020
	2. vyšetření	807	838	887	922	1016	
	3. vyšetření	850	915	948	985	1052	

REE – *resting energy expenditure* (klidový energetický výdej) [kcal/den], **REE–HB** – *resting energy expenditure* (klidový energetický výdej vypočítaný z Harris–Benedictovy rovnice) [kcal/den], **REE–IC** – *resting energy expenditure* (klidový energetický výdej měřený nepřímou kalorimetrií) [kcal/den], **PREE dle MH rovnice** – predikční Hronkova rovnice pro těhotné ženy [kcal/den], **FFM** – *fat free mass* (netučná tělesná hmota), **BSA** – *body surface area* (povrch těla) [m²], **REE/kg** – klidový energetický výdej vztážen na tělesnou hmotnost [kcal/den], **REE/BSA** – klidový energetický výdej vztážen na povrch těla [kcal/m²], **p** – hodnota statistické významnosti ($p < 0,05$), * – $p < 0,0001$

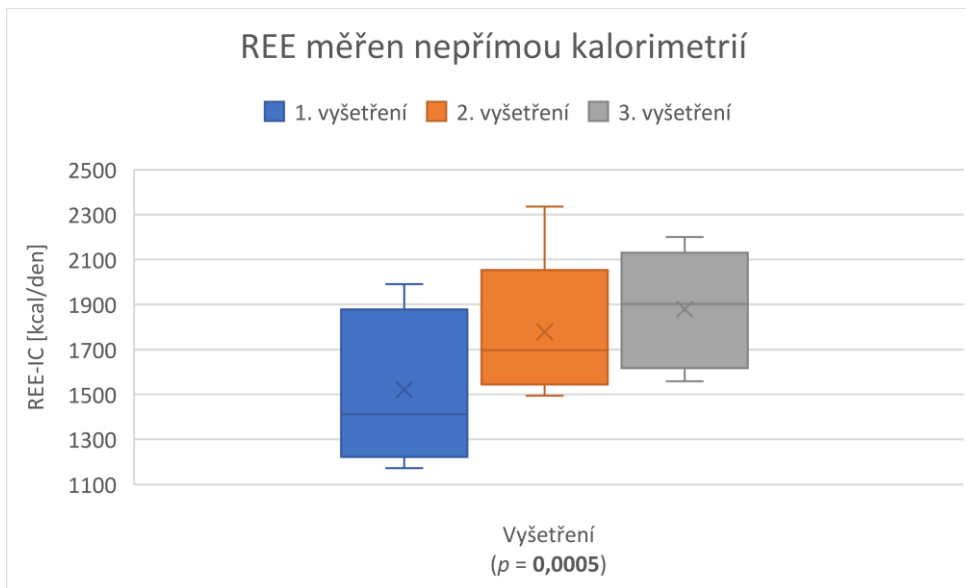
Prověření statisticky významného rozdílu hodnot REE-IC s ostatními hodnotami REE vyhodnotil Mann Whitneyův test. Test ukázal na statisticky nevýznamný rozdíl REE-IC s REE-HB ($p = 0,08$) a REE-IC s PREE dle MH ($p = 0,06$). Ostatní porovnávané hodnoty měly $p < 0,0001$ a v tabulce jsou označeny *.

Statisticky významné hodnoty mezi jednotlivými vyšetřeními byly vyhodnoceny Friedmanovým testem. Hodnoty p se statistickou významností jsou v tabulce zvýrazněny tučně ($p < 0,05$).

Z hodnot uvedených v tabulce lze potvrdit, že REE má rostoucí trend s maximem ve třetím trimestru. Tento výsledek dokazuje nejenom naměřené REE nepřímou kalorimetrií, ale i REE predikované a vypočtené z rovnic uvedených v teoretické části diplomové práce. Jediné kolísavé hodnoty jsou uvedeny u REE/kg, kde ve třetím trimestru byla stagnace (stejná hodnota jako ve druhém trimestru) a dále u REE/kg FFM s poklesem REE v posledním trimestru.

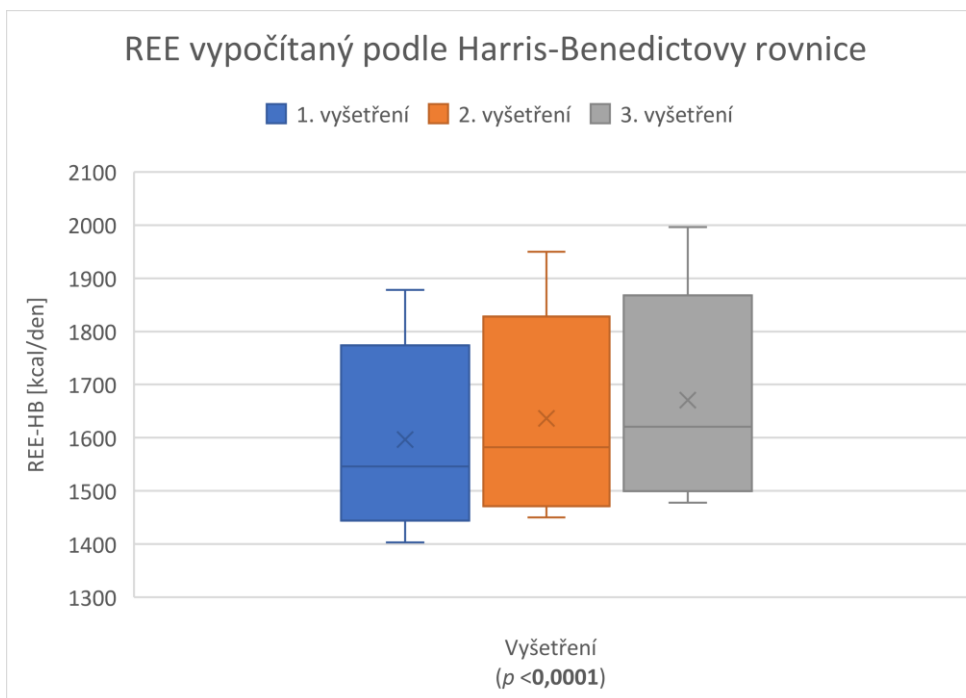
Pro přehlednost rozdílných hodnot REE (REE-IC, REE-HB, PREE-HB) jsou uvedeny níže grafy (č. 4–6). Mezi jednotlivými vyšetřeními u všech uvedených REE byla prokázána statisticky významná hodnota p ($p < 0,05$).

Graf č. 4 – Výsledky REE naměřené nepřímou kalorimetrií



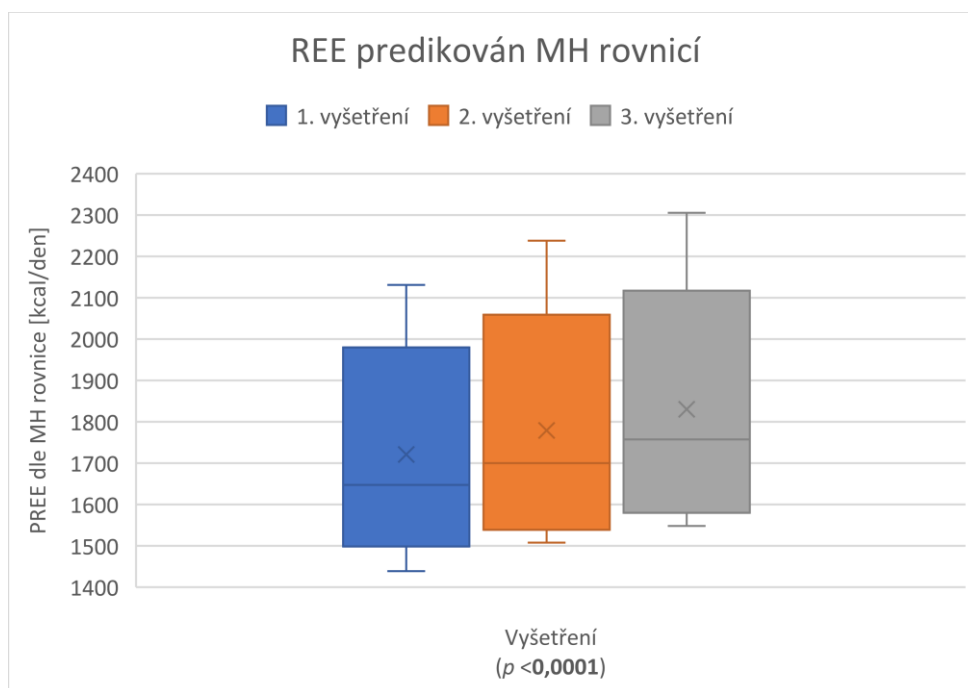
REE-IC – *resting energy expenditure* (klidový energetický výdej měřený nepřímou kalorimetrií) [kcal/den], **p** – hodnota statistické významnosti

Graf č. 5 – REE vypočítaný Harris-Benedictovou rovnicí



REE-HB – *resting energy expenditure* (klidový energetický výdej podle Harris-Benedictovy rovnice) [kcal/den], **p** – hodnota statistické významnosti

Graf č. 6 – Predikovaný REE Hronkovou rovnicí pro těhotné ženy



PREE dle MH – predicted resting energy expenditure (klidový energetický výdej podle Hronkovy predikční rovnice) [kcal/den], **p** – hodnota statistické významnosti

Při kalorimetrii byly sledovány změny oxidace jednotlivých nutričních substrátů – sacharidů, lipidů, proteinů. Pro přesnější stanovení oxidace proteinů si s sebou pacientky přinesly moč nasbíranou za 24 hodin. Vzorek moči byl analyzován v biochemické laboratoři nemocnice. Tabulka č. 21 shrnuje přehled oxidace substrátů. Každý ze substrátů je uveden třikrát, pokaždé v jiných jednotkách.

Tabulka č. 21 – Oxidace nutričních substrátů z 1.–3. vyšetření

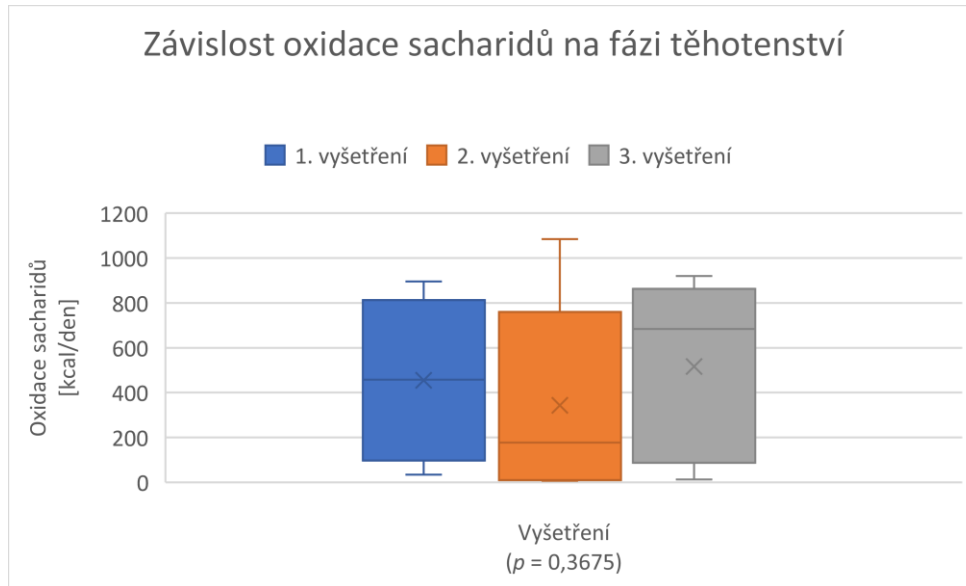
		Minimum	25 % percentil	Medián	75 % percentil	Maximum	Friedmanův test
Oxidace sacharidů [g/den]	1. vyšetření	19	45	123	174	214	$p = 0,1873$
	2. vyšetření	1,70	6,90	43	104	259	
	3. vyšetření	7,30	93	164	193	220	
Oxidace sacharidů [kcal/den]	1. vyšetření	34	159	458	728	896	$p = 0,3675$
	2. vyšetření	7,20	12	177	435	1084	
	3. vyšetření	13	160	684	805	920	
Oxidace sacharidů [%]	1. vyšetření	1,90	9,20	30	54	97	$p = 0,1873$
	2. vyšetření	0,30	0,70	11	28	65	
	3. vyšetření	0,60	8,30	34	48	49	
Oxidace lipidů [g/den]	1. vyšetření	-29	23	59	108	154	$p = 0,0665$
	2. vyšetření	7,50	94	117	142	187	
	3. vyšetření	50	56	92	143	187	
Oxidace lipidů [kcal/den]	1. vyšetření	-276	216	556	1026	1459	$p = 0,0665$
	2. vyšetření	71	890	1109	1343	1767	
	3. vyšetření	471	526	872	1354	1772	
Oxidace lipidů [%]	1. vyšetření	-31	15	38	59	81	$p = 0,0303$
	2. vyšetření	4,30	54	67	77	80	
	3. vyšetření	25	34	46	74	86	
Oxidace proteinů [g/den]	1. vyšetření	70	71	104	131	133	$p = 0,1873$
	2. vyšetření	54	66	87	104	127	
	3. vyšetření	44	63	76	113	122	
Oxidace proteinů [kcal/den]	1. vyšetření	304	306	449	565	576	$p = 0,1873$
	2. vyšetření	234	284	377	448	548	
	3. vyšetření	189	273	326	489	525	
Oxidace proteinů [%]	1. vyšetření	17	26	31	34	40	$p = 0,0034$
	2. vyšetření	15	18	22	25	30	
	3. vyšetření	11	15	19	24	27	

p – hodnota statistické významnosti ($p < 0,05$)

Oxidace sacharidů dosahovala vrcholového píku ke konci těhotenství, tedy ve třetím trimestru, naopak oxidace proteinů s přibývajícím dnem těhotenství klesala. Oxidace lipidů byla nejvyšší při druhém vyšetření. Tyto výsledky zachycují grafy č. 7–9.

Provedený Friedmanův test zjistil statisticky významný rozdíl ($p < 0,05$) pouze mezi vyšetřeními u oxidace lipidů v [%] a u oxidace proteinů v [%].

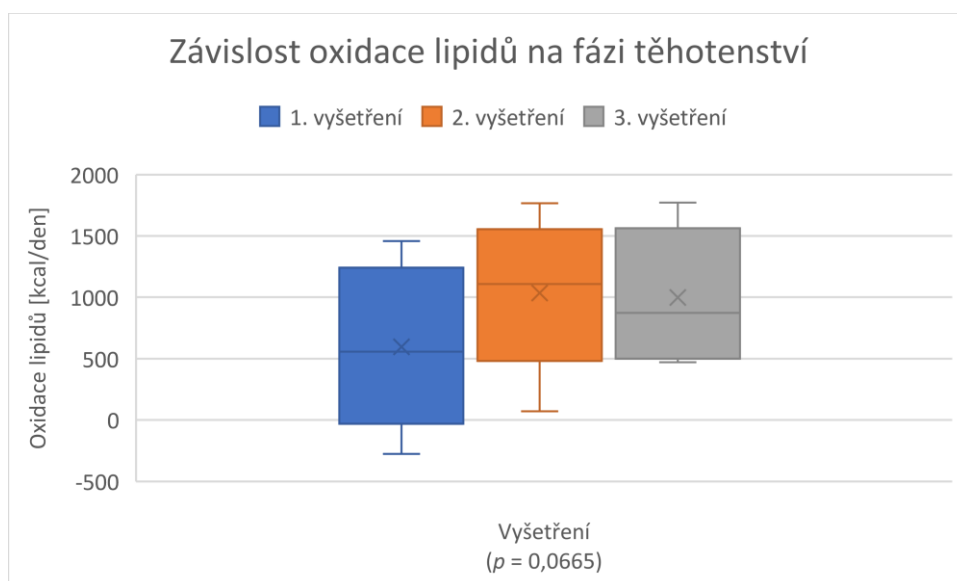
Graf č. 7 – Závislost oxidace sacharidů [kcal/den] na fázi těhotenství



p – hodnota statistické významnosti

Z tabulky č. 21 a grafu č. 7 je možné sledovat oxidaci sacharidů v [kcal/den] s maximem dosaženým při třetím vyšetření. Je patrné, že k největší oxidaci sacharidů došlo ke konci těhotenství.

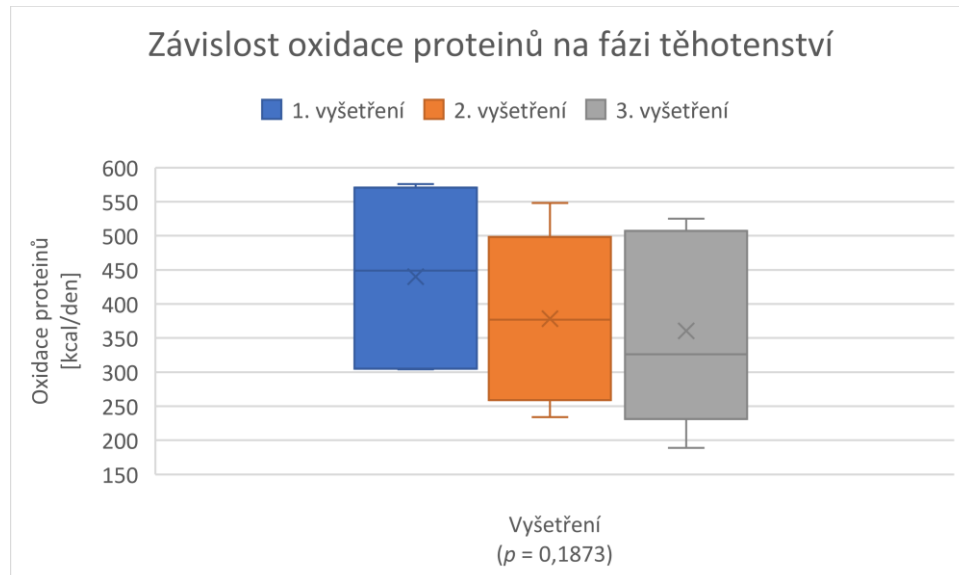
Graf č. 8 – Závislost oxidace lipidů [kcal/den] na fázi těhotenství



p – hodnota statistické významnosti

Graf č. 8 znázorňuje oxidaci lipidů v [kcal/den]. Mezi prvním a druhým vyšetřením byl podstatný nárůst, zatímco mezi druhým a třetím vyšetřením docházelo k nepatrnému poklesu spotřeby.

Graf č. 9 – Závislost oxidace proteinů [kcal/den] na fázi těhotenství



p – hodnota statistické významnosti

Graf č. 9 zachycuje klesající trend oxidace proteinů v [kcal/den].

6.3 Korelace

Z naměřených dat byla provedena korelace s klidovým energetickým výdejem. Nalezené korelace jsou uvedeny a rozděleny do čtyř tabulek (tabulka č. 22–25) spolu se Spearmanovým koeficientem r a p -hodnotou. Statisticky významné p -hodnoty jsou v tabulkách zvýrazněny tučně ($p < 0,05$). Jednotlivé tabulky jsou rozděleny podle analyzovaných dat, tabulka č. 22 zahrnuje antropometrické údaje, tabulka č. 23 je zaměřena na korelace s obvody těla. V tabulce č. 24 je především zhodnocení řas a v poslední tabulce č. 25 je nalezená korelace s BSA a BMI.

V tabulce č. 22 je vidět nejvýznamnější korelace s váhou před graviditou, váhou v graviditě, hmotností netučné hmoty, bazálním metabolismem a obsahem vody v těle. Ve všech zmíněných případech se jedná o přímou korelaci a statisticky významné hodnoty, které jsou v tabulce zvýrazněny tučně ($p < 0,05$). Naopak hodnoty jako je věk, výška, viscerální tuk jsou statisticky nevýznamné.

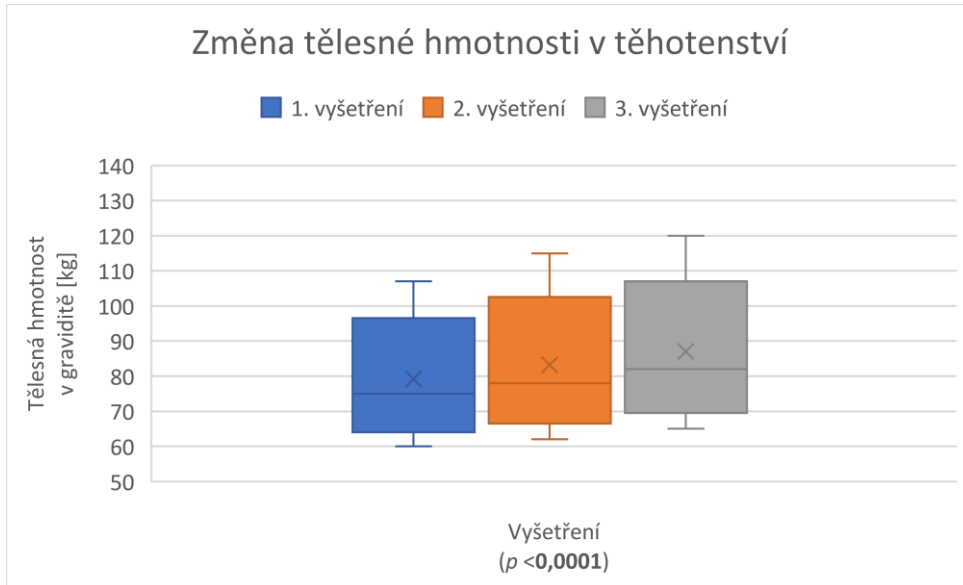
Tabulka č. 22 – Korelace s REE-IC [kcal/den] se sledovanými parametry I.

		1. vyšetření	2. vyšetření	3. vyšetření
Věk [roky]	<i>r</i>	-0,54	-0,12	-0,40
	<i>p</i>	0,11	0,73	0,25
Výška [cm]	<i>r</i>	0,38	0,52	0,88
	<i>p</i>	0,28	0,13	<0,01
Hmotnost před graviditou [kg]	<i>r</i>	0,66	0,69	0,83
	<i>p</i>	0,04	0,03	0,01
Rozdíl hmotnosti v graviditě-NW	<i>r</i>	0,61	0,52	0,65
	<i>p</i>	0,07	0,13	0,05
Hmotnost v graviditě [kg]	<i>r</i>	0,62	0,76	0,81
	<i>p</i>	0,06	0,01	0,01
Hmotnost FFM [kg] BIA	<i>r</i>	0,56	0,71	0,79
	<i>p</i>	0,10	0,03	0,01
Hmotnost kostí [kg] BIA	<i>r</i>	0,55	0,71	0,51
	<i>p</i>	0,10	0,03	0,13
Bazální metabolismus dle přístroje [kcal] BIA	<i>r</i>	0,56	0,71	0,81
	<i>p</i>	0,10	0,03	0,01
FM [kg] BIA	<i>r</i>	0,59	0,59	0,70
	<i>p</i>	0,08	0,08	0,03
Obsah vody v těle [kg] BIA	<i>r</i>	0,60	0,71	0,87
	<i>p</i>	0,07	0,03	0,002
Viscerální tuk [kg] BIA	<i>r</i>	0,54	0,45	0,56
	<i>p</i>	0,11	0,19	0,10
FFM [kg] BIA	<i>r</i>	0,55	0,71	0,79
	<i>p</i>	0,10	0,03	0,01

REE-IC – resting energy expenditure (klidový energetický výdej měřený nepřímou kalorimetrií) [kcal/den], *NW* – normal weight (normální hmotnost) [kg], *FFM* – fat free mass (netučná tělesná hmota), *FM* – fat mass (tělesný tuk), *BIA* – bioelectrical impedance (bioimpedanční analýza), *r* – Spearmanův koeficient, *p* – hodnota statistické významnosti

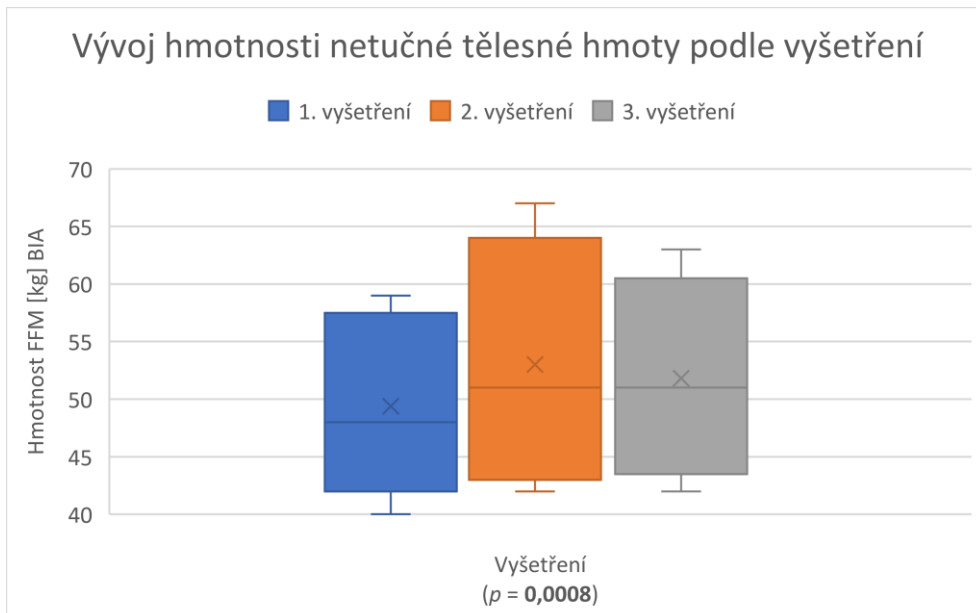
Nejvýznamnější korelace s klidovým energetickým výdejem z tabulky č. 22 znázorňují grafy níže (graf č. 10, č. 11). Rozdíly mezi vyšetřeními vykazují statistickou významnost ($p < 0,05$).

Graf č. 10 – Změna tělesné hmotnosti [kg] v těhotenství



BIA – *bioelectrical impedance* (bioimpedanční analýza), **p** – hodnota statistické významnosti

Graf č. 11 – Vývoj hmotnosti netučné tělesné hmoty [kg] BIA na fázi těhotenství



FFM – *fat free mass* (netučná tělesná hmoty), **BIA** – *bioelectrical impedance* (bioimpedanční analýza), **p** – hodnota statistické významnosti

V tabulce č. 23 zaměřené na korelaci REE s obvody těla nebylo příliš mnoho statisticky významných hodnot. Mezi významné hodnoty patřil obvod hrudníku, boků, stehna, středu stehna a lýtka (tučně zvýrazněné hodnoty). Zbylé hodnoty obvodů částí těla se vyznačovaly nízkou korelací a statisticky nevýznamnými hodnotami.

Tabulka č. 23 – Korelace s REE-IC [kcal/den] se sledovanými parametry II.

		1. vyšetření	2. vyšetření	3. vyšetření
Obvod hlavy	<i>r</i>	0,04	0,42	0,41
	<i>p</i>	0,91	0,23	0,23
Obvod hrudníku	<i>r</i>	0,66	0,41	0,46
	<i>p</i>	0,04	0,24	0,19
Obvod pasu	<i>r</i>	0,27	0,56	0,54
	<i>p</i>	0,44	0,10	0,11
Obvod boků	<i>r</i>	0,61	0,62	0,77
	<i>p</i>	0,07	0,06	0,01
Obvod levé paže	<i>r</i>	0,55	0,60	0,53
	<i>p</i>	0,10	0,08	0,12
Obvod předloktí	<i>r</i>	0,14	0,61	0,37
	<i>p</i>	0,70	0,07	0,29
Obvod stehna	<i>r</i>	0,56	0,46	0,66
	<i>p</i>	0,10	0,19	0,04
Obvod středu stehna	<i>r</i>	0,46	0,68	0,74
	<i>p</i>	0,19	0,03	0,02
Obvod lýtka	<i>r</i>	0,61	0,74	0,82
	<i>p</i>	0,06	0,02	0,01

REE-IC – resting energy expenditure (klidový energetický výdej měřený nepřímou kalorimetrií) [kcal/den], *r* – Spearmanův koeficient, *p* – hodnota statistické významnosti

Nepříliš významné hodnoty korelace s měřenou tělesnou řasou na konkrétních místech těla je shrnuto v tabulce č. 24.

Tabulka č. 24 – Korelace s REE-IC [kcal/den] se sledovanými parametry III.

		1. vyšetření	2. vyšetření	3. vyšetření
Subskapulární řasa	<i>r</i>	0,46	0,55	0,62
	<i>p</i>	0,19	0,10	0,06
Řasa nad tricepsem	<i>r</i>	0,42	0,65	0,32
	<i>p</i>	0,23	0,05	0,37
Řasa na hrudníku II	<i>r</i>	0,47	0,59	0,05
	<i>p</i>	0,18	0,08	0,89
Suprascapulární řasa (bok)	<i>r</i>	0,39	0,72	0,46
	<i>p</i>	0,26	0,02	0,18
Řasa na stehně	<i>r</i>	0,43	0,64	0,30
	<i>p</i>	0,22	0,05	0,41
Řasa na lýtku	<i>r</i>	0,16	0,60	0,53
	<i>p</i>	0,75	0,05	0,12
Preg FM in kg (Raazj)	<i>r</i>	0,54	0,78	0,52
	<i>p</i>	0,11	0,01	0,13
Preg FFM in kg (Raazj)	<i>r</i>	0,66	0,15	0,48
	<i>p</i>	0,04	0,68	0,17
FM from TBW Raaij)	<i>r</i>	0,59	0,55	0,55
	<i>p</i>	0,08	0,10	0,10
Střední obvod paže / MAMC = AMC – (0,314 x TSF)	<i>r</i>	0,72	0,44	0,39
	<i>p</i>	0,02	0,20	0,26

REE-IC – resting energy expenditure (klidový energetický výdej měřený nepřímou kalorimetrií) [kcal/den], *FM* – fat mass (tučná hmota), *FFM* – fat free mass (netučná hmota), *TBW* – total body water (celková tělesná voda), *MAMC* – mid arm muscle circumference (střední obvod svalů paže), *AMC* – arm muscle circumference (obvod svalstva paže), *TSF* – strength of the skin fold over the triceps (síla kožní řasy nad tricepsem), *r* – Spearmanův koeficient, *p* – hodnota statistické významnosti

Následující tabulka č. 25 poukazuje na přítomnost přímé korelace a statistické významnosti BSA a BMI.

Tabulka č. 25 – Korelace s REE-IC [kcal/den] se sledovanými parametry IV.

		1. vyšetření	2. vyšetření	3. vyšetření
BSA	<i>r</i>	0,53	0,75	0,81
	<i>p</i>	0,12	0,02	0,01
Pregravidní BSA	<i>r</i>	0,61	0,73	0,88
	<i>p</i>	0,07	0,02	<0,01
BMI	<i>r</i>	0,68	0,56	0,59
	<i>p</i>	0,03	0,10	0,08

REE-IC – resting energy expenditure (klidový energetický výdej měřený nepřímou kalorimetrií) [kcal/den], **BSA** – body surface area (povrch těla) [m²], **BMI** – body mass index (index tělesné hmotnosti), *r* – Spearmanův koeficient, *p* – hodnota statistické významnosti

7. DISKUZE

Klidový energetický výdej v této práci vykazoval rostoucí trend od prvního do třetího trimestru. Tento rostoucí trend byl potvrzen i jinými studii ze světa (Hronek et al, 2011), (Kopp-Hoolihan et al, 1999), (Poppitt et al, 1993), (Bugatto et al, 2017), (Byrne et al, 2011), (Eto et al, 2018), (Piers et al, 1995), (Hagobian et al, 2015). Medián REE-IC v jednotlivých měřeních byl 1412 kcal/den, 1697 kcal/den, 1902 kcal/den. Tyto hodnoty jsou v porovnání s ostatními hodnotami studií vyšší, nejvíce se přibližují hodnotám REE z kalifornské studie, kde naměřili 1458 kcal/den, 1580 kcal/den, 1830 kcal/den (Hagobian et al, 2015). Naopak nejnižší hodnoty REE (1219 kcal/den, 1267 kcal/den, 1338 kcal/den) jsou zveřejněny ve studii na gambijských ženách (Poppitt et al, 1993). Variabilita změn REE v těhotenství mohla být ovlivněna nutričním stavem, těhotenským váhovým přírůstkem, FFM, procentem tuku i psychickým stavem těhotných žen (Hronek et al, 2011). Cikrikçi ve studii uvedl, že BMR v rozvojových zemích dosahoval nižší hodnoty než ve vyspělých zemích (Cikrikçi et al, 1999).

REE prokázal souvislost s několika parametry – délkou těhotenství, tělesnou hmotností, hmotností FFM, BSA, energetickým příjmem.

Výsledky naší studie ukázaly, že pokud má těhotná žena na počátku těhotenství vyšší tělesnou hmotnost, tak jsou predikovány vyšší hodnoty REE. Toto tvrzení je shodné se studií Hagobiana. (Hagobian et al, 2015)

Naše výsledky potvrdily statisticky významné pozitivní korelace REE s tělesnou hmotností a REE s FFM. Tyto korelace byly nalezeny i ve všech zmíněných studiích.

Výsledky této práce se ztotožnily se studií z Turecka. Korelace REE s tělesnou hmotností byla ve všech trimestrech, avšak statisticky významná pouze ve 2. a 3. trimestru (Cikrikçi et al, 1999). I Melzerova studie uvedla, že čím byl REE vyšší, tím byla významnější korelace s vyšší tělesnou hmotností v graviditě (Melzer et al, 2009).

Bronsteinova studie nenalezla u těhotných žen korelaci BMR s tělesnou váhou ($r = 0,37$; $p < 0,15$) a FFM vyhodnotila jako nevýznamný prediktor BMR (tím se naprosto odlišila od ostatních studií) (Bronstein et al, 1996). Naopak Butteho studie vyhodnotila FFM jako nejsilnější prediktor pro určení BMR (Butte et al, 1999).

V naší studii bylo prokázáno, že hubenější těhotné ženy měly naměřené nižší REE než těhotné s vyšší tělesnou hmotností. Tento výsledek byl shodný s výsledkem Spaandermanovy studie (Spaanderman et al, 2000). Pokud se tělesná váha těhotné ženy přibližovala ke 100 kg, tak REE dosahoval hodnot cca 2000 kcal/den. Shodné výsledky s naší studií, že štíhlejší těhotné ženy vykazovaly nižší REE, prezentovaly i studie Bugatteho a Melzera (Bugatto et al, 2017; Melzer et al, 2010).

Ženy s vyšší RMR na počátku těhotenství měly menší nárůst RMR během gravidity. Toto tvrzení publikovala i Byrneho studie. (Byrne et al, 2011)

Na základě našich výsledků lze souhlasit s tvrzením Bronsteinovy studie, že těhotné ženy s vyšší tělesnou hmotností dosahovaly i vyšších hodnot bazálního metabolismu. (Bronstein et al, 1996)

Naše výsledky jsou v rozporu s tvrzením studie Berggrena. Došli jsme k závěru, že u žen s nižším REE v těhotenství byl nižší váhový přírůstek. Zatímco vyšetřované ženy z Berggrenovy studie s nižším REE měly vyšší váhový přírůstek. (Berggren et al, 2017)

Je známo, že i onemocnění mohlo změnit hodnoty REE. Toto tvrzení potvrdila japonská studie zaměřená na vliv onemocnění DM. REE byl ovlivněn hladinou glukózy v krvi a jejím hospodařením. U těhotných s DM bylo REE zvýšené. (Eto et al, 2018)

Počátek těhotenství bývá charakterizován anabolickým stavem, tedy ukládáním energie, živin a sníženou oxidací tuků. V průběhu těhotenství se metabolismus ženy mění a přechází na katabolický stav se zvýšenou oxidací tuků. (Bugatto et al, 2017)

Oxidace sacharidů v naší studii měla opětovný nárůst ve třetím trimestru, kdy hodnota oxidace byla nejvyšší ze všech třech měření. Tento výsledek publikovala také Butteho studie, která pokračovala s měřením oxidace i dále v poporodním období.

Oxidace se zvyšovala až do 6. měsíce po porodu, což souviselo s potřebami plodu (využití glukózy pro plod, mléčné žlázy a kojení). (Butte et al, 1999)

Oxidace sacharidů ve studii Pierse dosáhla maxima už ve 2. trimestru (s lehce nižší hodnotou než ve třetím trimestru). Hodnoty oxidace lipidů v naší práci dosahovaly maxima při 2. vyšetření, ve studii Pierse již v 1. trimestru. Piersova studie se s našimi výsledky shodovala pouze v oxidaci proteinů, která měla klesající trend od 1. do 3. trimestru (klesající trend byl srovnatelný, avšak hodnoty naší studie dosahovaly cca dvojnásobně vyšších hodnot) (Piers et al, 1995). Rozdíly v oxidaci jsou ovlivněny tělesnou hmotností (Bugatto et al, 2017).

Při porovnávání hodnot NRQ se studií Pierse jsme dospěli k závěru, že hodnoty byly velmi podobné, s odchylkou v minimu a maximu ve 2. trimestru. (Piers et al, 1995)

8. ZÁVĚR

Těhotenství je velmi komplikovaný proces, při kterém dochází k mnoha fyziologickým změnám v těle matky.

Klidový energetický výdej byl u našich 10 subjektů měřen nepřímou kalorimetrií třikrát v průběhu těhotenství.

Zjistili jsme, že klidový energetický výdej je ovlivňován několika faktory včetně onemocnění i těhotenství. V průběhu těhotenství se REE zvětšoval od počátku až ke konci těhotenství. Také jsme dospěli k závěru, že štíhlejší těhotné ženy mají nižší REE než obéznější ženy.

Ve studii jsme našli pozitivní korelace REE s tělesnou hmotností a REE s FFM.

Oxidace substrátů fyziologicky odpovídala potřebám plodu. Ke konci třetího trimestru rapidně vzrostla oxidace sacharidů a oxidace proteinů dosahovala ze všech měření minima. U oxidace lipidů byl při druhém vyšetření viditelný přechod anabolického metabolismu na katabolický, hodnoty při tomto vyšetření dosahovaly maxima.

9. POUŽITÉ ZKRATKY

zkratka	význam zkratky	český význam
A	<i>Age</i>	věk [roky]
AEE	<i>Actual energy expenditure</i>	aktuální energetický výdej [kcal/den]
AF	<i>Activity factor</i>	faktor aktivity
AMC	<i>Arm muscle circumference</i>	obvod svalstva paže
ATP	<i>Adenosine triphosphate</i>	adenosintrifosfát
B	<i>Burns</i>	popáleniny
BEE	<i>Basal energy expenditure</i>	bazální energetický výdej [kcal/den]
BIA	<i>Bioelectrical impedance analysis</i>	bioelektrická impedanční analýza
BM	<i>Basal metabolism</i>	bazální metabolismus [kcal]
BMI	<i>Body mass index</i>	index tělesné hmotnosti
BMR	<i>Basal metabolic rate</i>	rychlost bazálního metabolismu [kcal/den]
BSA	<i>Body surface area</i>	plocha tělesného povrchu [m ²]
DM	<i>Diabetes mellitus</i>	cukrovka
FAT	<i>Fat oxidation</i>	oxidace tuků [g/den]
FAT_K	<i>Fat oxidation</i>	oxidace tuků [kcal/den]
FFM	<i>Fat free mass</i>	tukuprostá hmota
FM	<i>Fat mass</i>	tělesný tuk
GIT	<i>Gastrointestinal tract</i>	gastrointestinální trakt
H	<i>Hight</i>	výška [cm]
HB	<i>Harris-Benedict</i>	Harris-Benedict
CHO	<i>Carbohydrate oxidation</i>	oxidace sacharidů [g/den]
CHO_K	<i>Carbohydrate oxidation</i>	oxidace sacharidů [kcal/den]
I	<i>Injury</i>	poranění
IC	<i>Indirect calorimetry</i>	nepřímá kalorimetrie

IF	<i>Injury factor</i>	faktor poškození
IJR	<i>Ireton-Jones equation</i>	Ireton-Jonesova rovnice
JIP		jednotka intenzivní péče
L		zoxidované lipidy [g]
MAMC	<i>Mid arm muscle circumference</i>	střední obvod svalů paže
MH		doc. PharmDr. Miloslav Hronek, Ph.D.
N		množství dusíku v moči [g/den]
NRQ	<i>Non-protein respiratory quotient</i>	nebílkovinný respirační kvocient
NW	<i>Normal weight</i>	normální tělesná váha [kg]
O	<i>Obesity</i>	obezita
p		hodnota statistické významnosti
PREE	<i>Predicted resting energy expenditure</i>	predikovaný klidový energetický výdej [kcal/den]
PRO	<i>Protein oxidation</i>	oxidace proteinů [g/den]
PRO_K	<i>Protein oxidation</i>	oxidace proteinů [kcal/den]
r		korelační koeficient
REE	<i>Resting energy expenditure</i>	klidový energetický výdej [kcal/den]
REE-HB	<i>Resting energy expenditure-Harris-Benedict</i>	klidový energetický výdej měřený pomocí Harris-Benedictovo rovnicí [kcal/den]
REE-IC	<i>Resting energy expenditure-indirect calorimetry</i>	klidový energetický výdej měřený nepřímou kalorimetrií [kcal/den]
RMR	<i>Resting metabolic rate</i>	rychlost klidového metabolismu [kcal/den]
RQ	<i>Respiratory quotient</i>	respirační kvocient
S	<i>Sex</i>	pohlaví
S'		zoxidované sacharidy [g]
TBW	<i>Total body water</i>	celková tělesná voda

TEE	<i>Total energy expenditure</i>	celkový energetický příjem [kcal/den]
TF	<i>Thermic factor</i>	faktor teploty
TOT_KCAL	<i>Total resting energy expenditure</i>	celkový klidový energetický výdej [kcal/den]
TSF	<i>Strenght of the skin fold over the triceps</i>	síla kožní řasy nad tricepsem
U	<i>Urea waste in urine</i>	odpad ury v moči [mmol/l]
UN	<i>Urea nitrogen</i>	odpad dusíku v moči [g]
V	<i>Urine volume</i>	objem moči [l]
VCO₂		produkce oxidu uhličitého [l/den]
VO₂		spotřeba kyslíku [l/den]
W	<i>Weight</i>	tělesná váha [kg]

10. SEZNAM TABULEK

Tabulka č. 1 – Rozdělení populace do kategorií v závislosti na BMI.....	10
Tabulka č. 2 – Faktory ovlivňující bazální metabolismus (BM).....	16
Tabulka č. 3 – Faktor poškození.....	17
Tabulka č. 4 – Faktor aktivity	18
Tabulka č. 5 – Faktor teploty	18
Tabulka č. 6 – Faktory ovlivňující klidový energetický výdej (REE).....	25
Tabulka č. 7 – Rozdělení těhotenství na jednotlivé trimestry	28
Tabulka č. 8 – Doporučený denní příjem živin v těhotenství od 4. měsíce	31
Tabulka č. 9 – Porovnávání REE z vybraných studií v [kcal/den]	34
Tabulka č. 10 – Přehled oxidace substrátů, RQ ve studii (Bugatto et al, 2017).....	41
Tabulka č. 11 – Korelace pregravidního BMI s oxidací lipidů v graviditě.....	41
Tabulka č. 12 – Rychlost oxidace nutričních substrátů, NRQ ze studie Piers, 1995	44
Tabulka č. 13 – Základní údaje těhotných žen.....	48
Tabulka č. 14 – Tabulka s antropometrickými údaji	50
Tabulka č. 15 – Složení těla změřené bioimpedancí.....	51
Tabulka č. 16 – Základní kalorimetrické údaje z 1. vyšetření	53
Tabulka č. 17 – Základní kalorimetrické údaje z 2. vyšetření	54
Tabulka č. 18 – Základní kalorimetrické údaje ze 3. vyšetření	54
Tabulka č. 19 – Celkový přehled kalorimetrických hodnot z 1.–3. vyšetření	55
Tabulka č. 20 – REE u měřených těhotných žen z 1.–3. vyšetření.....	59
Tabulka č. 21 – Oxidace nutričních substrátů z 1.–3. vyšetření	63
Tabulka č. 22 – Korelace s REE-IC [kcal/den] se sledovanými parametry I.	67
Tabulka č. 23 – Korelace s REE-IC [kcal/den] se sledovanými parametry II.	69
Tabulka č. 24 – Korelace s REE-IC [kcal/den] se sledovanými parametry III.	70
Tabulka č. 25 – Korelace s REE-IC [kcal/den] se sledovanými parametry IV.....	71

11. SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek č. 1 – Složení tukuprosté hmoty (obr. převzat z Kyle et al, 2004).....	12
Obrázek č. 2 – Nepřímá kalorimetrie u nemocného i zdravého pacienta (obr. převzat z Delsoglio et al, 2019).....	20
Obrázek č. 3 – Pacient při nepřímé kalorimetrii s otevřeným okruhem (obr. převzat...)	21
Obrázek č. 4 – Schéma nepřímé kalorimetrie (obr. převzat ze Zadák et Hronek, 2008)	21

12. SEZNAM GRAFŮ

Graf č. 1 – Vliv spotřeby kyslíku [l/min] na fázi těhotenství.....	56
Graf č. 2 – Množství vydechovaného oxidu uhličitého VCO_2 [l/min] v závislosti na fázi těhotenství.....	57
Graf č. 3 – Závislost respiračního kvocientu na fázi těhotenství	57
Graf č. 4 – Výsledky REE naměřené nepřímou kalorimetrií.....	61
Graf č. 5 – REE vypočítaný Harris-Benedictovou rovnicí	61
Graf č. 6 – Predikovaný REE Hronkovou rovnicí pro těhotné ženy	62
Graf č. 7 – Závislost oxidace sacharidů [kcal/den] na fázi těhotenství.....	64
Graf č. 8 – Závislost oxidace lipidů [kcal/den] na fázi těhotenství	64
Graf č. 9 – Závislost oxidace proteinů [kcal/den] na fázi těhotenství	65
Graf č. 10 – Změna tělesné hmotnosti [kg] v těhotenství	68
Graf č. 11 – Vývoj hmotnosti netučné tělesné hmoty [kg] BIA na fázi těhotenství	68

13. POUŽITÁ LITERATURA

Berggren et al, 2017

BERGGREN, E. K. – O'TIERNEY-GINN, P. – LEWIS, S. – PRESLEY, L. – HAUGUEL, DE-MOUZON S. – CATALANO, P. M. Variations in resting energy expenditure: impact on gestational weight gain. *American Journal of Obstetrics and Gynecology*. 2017, **217**(4), 445.e1-445.e6. Dostupné z: doi:10.1016/j.ajog.2017.05.054.

Binder et al, 2020

BINDER, T. – HALAŠKA, M. – HANULÍKOVÁ, P. – JÍLEK, D. – KREJČÍ, J. – KROFTA, L. – PAŘÍZEK, T. – POLOCZKOVÁ, H. – SALAJ, P. – ŠIMETKA, O. – ŠKULEC, R. – VAVŘINKOVÁ, B. *Nemoci v těhotenství: a řešení vybraných závažných peripartálních stavů*. Praha: Grada, 2020, s. 57-84, 137-150, 173-176, 187-195, 221-239. ISBN 978-80-271-1802-1.

Bronstein et al, 1996

BRONSTEIN, M. N. – MAK, R. P. – KING, J. C. Unexpected relationship between fat mass and basal metabolic rate in pregnant women. *The British Journal of Nutrition*. 1996, **75**(5), 659-668. Dostupné z: doi:10.1079/bjn19960171.

Bugatto et al, 2017

BUGATTO, F. – QUINTERO-PRADO, R. – VILAR-SÁNCHEZ, J. M. – PERDOMO, G. – TORREJÓN, R. – BARTHA, J. L. Prepregnancy body mass index influences lipid oxidation rate during pregnancy. *Acta Obstetrica et Gynecologica Scandinavica*. 2017, **96**(2), 207-215. Dostupné z: doi:10.1111/aogs.13058.

Butte et King, 2005

BUTTE, N. F. – KING, J. C. Energy requirements during pregnancy and lactation. *Public Health Nutrition*. 2005, **8**(7A), 1010-1027. Dostupné z: doi:10.1079/phn2005793.

Butte et al, 1999

BUTTE, N. F. – HOPKINSON, J. M. – MEHTA, N. – MOON, J. K. – SMITH, E. O. Adjustments in energy expenditure and substrate utilization during late pregnancy and lactation. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 1999, **69**(2), 299-307. Dostupné z: doi:10.1093/ajcn/69.2.299.

Bužga et al, 2012

BUŽGA, M. – ZAVADILOVÁ, V. – VLČKOVÁ, J. – OLEKSIKOVÁ, Z. – ŠMAJSTRLA, V. – TOMÁŠKOVÁ, H. – JIRÁK, Z. – KAVKOVÁ, J. Comparison of Various Methods for Assessment of Body Fat. *Hygiena*. 2012, **57**(3): 105-109. [cit. 2021-11-10]. Dostupné z: <https://hygiena.szu.cz/artkey/hyg-201203-0008.php>

Byrne et al, 2011

BYRNE, N. M. – GROVES, A. M. – MCINTYRE, H. D. – CALLAWAY, L. K. Changes in resting and walking energy expenditure and walking speed during pregnancy in obese women. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 2011, **94**(3), 819-830. Dostupné z: doi:10.3945/ajcn.110.009399.

Cikrikçi et al, 1999

CIKRIKÇI, E. – GÖKBEL, H. – BEDİZ, C. S. Basal metabolic rates of Turkish women during pregnancy. *Annals of Nutrition and Metabolism*. 1999, **43**(2), 80-85. Dostupné z: doi:10.1159/000012771.

Delsoglio et al, 2019

DELISOGLIO, M. – ACHAMRAH, N. – BERGER, M. M. – PICHARD, C. Indirect Calorimetry in Clinical Practice. *Journal of Clinical Medicine*. 2019, **8**(9), 1387. Dostupné z: doi:10.3390/jcm8091387.

Dušová, 2019

DUŠOVÁ, B. – HERMANNOVÁ, M. – MAJDYŠOVÁ, V. *Potřeby žen v porodní asistenci*. Praha: Grada, 2019, s. 94-106. ISBN 978-80-271-0837-4.

Eto et al, 2018

ETO, E. – MAKI, J. – TAMADA, S. – MITSUI, T. – HAYATA, K. – HIRAMATSU, Y. – MASUYAMA, H. Assessment of resting energy expenditure and body composition in Japanese pregnant women with diabetes. *Journal of Diabetes Investigation*. 2018, **9**(4), 959-966. Dostupné z: doi:10.1111/jdi.12795.

Frisancho, 1990

FRISANCHO, A. R. *Anthropometric Standards for the Assessment of Growth and Nutritional Status*. 1. vydání. USA: The University of Michigan Press, 1990, s.15. ISBN 0-472-101146-3.

Fulmer et al, 2015

FULLMER, S. – BENSON-DAVIES, S. – EARTHMAN, C. P. – FRANKENFIELD, D. C. – GRADWELL, E. – LEE, P. S. P. – PIEMONTE, T. – TRABULSI, J. Evidence Analysis Library Review of Best Practices for Performing Indirect Calorimetry in Healthy and NoneCritically Ill Individuals. *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics*. 2015, **115**(9), 1417-1446. Dostupné z: doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.jand.2015.04.003

Goněc et al, 2015

GONĚC, R. – MACKŮ, I. – SELINGEROVÁ, I. – KOZÁKOVÁ, Š. Body surface area and body weight of Czech adult cancer population. *Česká a slovenská farmacie*. 2015, **64**(6): 264-8. [cit. 2021-11-10]. Dostupné z: <https://www.prolekare.cz/casopisy/ceska-slovenska-farmacie/2015-6-6/body-surface-area-and-body-weight-of-czech-adult-cancer-population-57326>

Hagobian et al, 2015

HAGOBIAN, T. – D'AMICO, A. – VRANNA, C. – BRANNEN, A. – PHELAN, S. Prospective Changes in Energy Intake, Physical Activity, and Resting Energy Expenditure during Pregnancy. *The Canadian Journal of Hospital Pharmacy*. 2015, **13**(3), 66-71. Dostupné z: doi:10.32398/CJHP.V13I3.1836.

Hájek et al, 2004

HÁJEK, Z. – ANDĚLOVÁ, K. – BINDER, T. – CALDA, P. – ČEPICKÝ, P. – DRBOHLAV, P. – HÁJEK, Z. – MÁRA, M. – MAŠATA, J. – MĚCHUROVÁ, A. – PAŘÍZEK, A. – ROZTOČIL, A. – ŠTEMBERA, Z. – VELEBIL, P. – VĚTR, M. – ŽIŽKA, Z. *Rizikové a patologické těhotenství*. Praha: Grada, 2004, s. 25-37, 109-160, 173-182, 215-229. ISBN 80-247-0418-8.

Haugen et al, 2007

HAUGEN, H. A. – CHAN, L-N. – LI, F. Indirect Calorimetry: A Practical Guide for Clinicians. *Nutrition in Clinical Practice*. 2007, **22**(4), 375-466. Dostupné z: doi:10.1177/0115426507022004377.

Hronek et al, 2011

HRONEK, M. – KLENERA, P. – TOSNER, J. – HRNCIARIKOVA, D. – ZADAK, Z. Anthropometric measured fat-free mass as essential determinant of resting energy expenditure for pregnant and non-pregnant women. *Nutrition*. 2011, **27**(9), 885-890. Dostupné z: doi:10.1016/j.nut.2010.09.001.

Hronek et al, 2013

HRONEK, M. – KUDLÁČKOVÁ, Z. – KOVAŘÍK, M. – NĚMEČKOVÁ, I. – NACHTIGAL, P. *Praktická cvičení z morfologie a fyziologie pro posluchače Farmaceutické fakulty*. 1. vydání. Praha: Karolinum, 2013, s. 68-87. ISBN 978-80-246-2293-4.

Kasper, 2015

KASPER, H. *Výživa v medicíně a dietetika*. Praha: Grada, 2015, s. 1-4, 443-448. ISBN 978-80-247-4533-6.

Kittnar et al, 2020

KITTNAR, O. – JANDOVÁ, K. – KITTNAR, O. – KURIŠČÁK, E. – LANGMEIER, M. – MAREŠOVÁ, D. – MLČEK, M. – MYSLIVEČEK, J. – POKORNÝ, J. – RILJAK, V. – TROJAN, S. *Lékařská fyziologie*. 2. vydání. Praha: Grada, 2020, s. 531-538. ISBN 978-80-247-1963-4.

Kopp-Hoolihan et al, 1999

KOPP-HOOLIHAN, L. E. – VAN LOAN, M. D. – WONG, W. W. – KING, J. C. Longitudinal assessment of energy balance in well-nourished, pregnant women. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 1999, **69**(4), 697-704. Dostupné z: doi:10.1093/ajcn/69.4.697.

Kyle et al, 2004

KYLE, U. G. – BOSAEUS, I. – DE LORENZO, A. D. – DEURENBERG, P. – ELIA, M. – GÓMEZ, J. M. – HEITMANN, B. L. – KENT-SMITH, L. – MELCHIOR, J-C. – PIRLICH, M. – SCHARFETTER, H. – SCHOOLS, A. M. W. J. – PICHARD, C. Bioelectrical impedance analysis-part I: review of principles and methods. *Clinical Nutrition*. 2004, **23**(5): 1226-1243. Dostupné z: doi:10.1016/j.clnu.2004.06.004.

Lof et al, 2005

LOF, M. – OLAUSSON, H. – BOSTROM, K. – JANEROT-SJÖBERG, B. – SOHLSTROM, A. – FORSUM, E. Changes in basal metabolic rate during pregnancy in relation to changes in body weight and composition, cardiac output, insulin-like growth factor I, and thyroid hormones and in relation to fetal growth. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 2005, **81**(3), 678-685. Dostupné z: doi:10.1093/ajcn/81.3.678.

Melzer et al, 2009

MELZER, K. – SCHUTZ, Y. – BOULVAIN, M. – KAYSER, B. Pregnancy-related changes in activity energy expenditure and resting metabolic rate in Switzerland. *European journal of clinical nutrition*. 2009, **63**(10), 1185-1191. Dostupné z: doi:10.1038/ejcn.2009.49.

Melzer et al, 2010

MELZER, K. – SCHUTZ, Y. – SOEHNCHEN, N. – GIRARD, V. O. – DE TEJADA, B. M. – PICHARD, C. – IRION, O. – BOULVAIN, M. – KAYSER, B. Prepregnancy body mass index and resting metabolic rate during pregnancy. *Annals of Nutrition and Metabolism*. 2010, **57**(3-4), 221-227. Dostupné z: doi:10.1159/000322369.

Oshima et al, 2017

OSHIMA, T. – BERGER, M. M. – DE WAELE, E. – GUTTORMSEN, A. B. – HEIDEGGER, C-P. – HEISMAYR, M. – SINGER, P. – WERNERMAN, J. – PICHARD, C. Indirect calorimetry in nutritional therapy. A position paper by the ICALIC study group. *Clinical Nutrition*. 2017, **36**(3), 651-662. Dostupné z: doi:10.1016/j.clnu.2016.06.010.

Pastucha et al, 2014

PASTUCHA, D. – BARTŮŇKOVÁ, S. – FILIPČÍKOVÁ, R. – GALLO, J. – HAVLÍČEK, P. – HYJÁNEK, J. – KALINA, R. – KONEČNÝ, P. – LANGER, F. – MARÁČEK, R. – MALINČÍKOVÁ, J. – PASTUCHA, D. – PŘIDALOVÁ, M. – SOVOVÁ, E. – ŠAFÁŘ, M. *Tělovýchovné lékařství: Vybrané kapitoly*. 1. vydání. Praha: Grada, 2014, s. 85-108. ISBN 978-80-247-4837-5.

Piers et al, 1995

PIERS, L. S. – DIGGAVI, S. N. – THANGAM, S. – VAN RAAIJ, J. M. – SHETTY, P. S. – HAUTVAST, J. G. Changes in energy expenditure, anthropometry, and energy intake during the course of pregnancy and lactation in well-nourished Indian women. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 1995, **61**(3), 501-513. Dostupné z: doi:10.1093/ajcn/61.3.501.

Poppitt et al, 1993

POPPITT, S. D. – PRENTICE, A. M. – JÉQUIER, E. – SCHUTZ, Y. – WHITEHEAD, R. G. Evidence of energy sparing in Gambian women during pregnancy: a longitudinal study using whole-body calorimetry. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 1993, **57**(3), 353-364. Dostupné z: doi:10.1093/ajcn/57.3.353.

Roztočil et al, 2008

ROZTOČIL, A. – BINDER, T. – BOREK, I. – CALDA, P. – ČEPICKÝ, P. – DOLEŽAL, A. – HAVLÍKOVÁ, Š. – KUČERA, M. – MAJER, J. – MATUŠKOVÁ, D. – PÁČ, L. L. – PESCHOUT, R. – ŠTEMBERA, Z. – VAVŘÍNKOVÁ, B. – VRASTYÁKOVÁ, J. *Moderní porodnictví*. Praha: Grada, 2008, s. 97-108. ISBN 978-80-247-1941-2.

Sally et al, 2018

SALLY, E. O. F. – ANJOS, L. A. – RAMOS, E. G. – FONSECA, V. M. – SILVA, B. A. M. – WAHRLICH, V. Basal metabolic rate in pregnant adolescents. *Clinical Nutrition ESPEN*. 2018, **27**, 134-136. Dostupné z: doi:10.1016/j.clnesp.2018.05.014.

Singer et al, 2011

SINGER, P. – ANBAR, R. – COHEN, J. – SHAPIRO, H. – SHALITA-CHESNER, M. – LEW, S. – GROZOVSKI, E. – THEILLA, M. – FRISHMAN, S. – MADAR, Z. The tight calorie control study (TICACOS): a prospective, randomized, controlled pilot study of nutritional support in critically ill patients. *Intensive Care Medicine*. 2011, **37**, 601-609. Dostupné z: doi:10.1007/s00134-011-2146-z.

Slezáková et al, 2017

SLEZÁKOVÁ, L. – ANDRÉSOVÁ, M. – KADUCHOVÁ, P. – ROUČOVÁ, M. – STAROŠTÍKOVÁ, E. *Ošetřovatelství v gynekologii a porodnictví*. 2. vydání. Praha: Grada, 2017, s. 134-156, 248-263. ISBN 978-80-271-9794-1.

Spaanderman et al, 2000

SPAANDERMAN, M. E. – MEERTENS, M. – VAN BUSSEL, M. – EKHART, T. H. – PEETERS, L. L. Cardiac output increases independently of basal metabolic rate in early human pregnancy. *The American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology*. 2000, **278**(5), H1585-1588. Dostupné z: doi:10.1152/ajpheart.2000.278.5.H1585.

Svačina et al, 2008

SVAČINA, Š. – BRETŠNAJDROVÁ, A. – HOLCÁTOVÁ, I. – HORÁČEK, J. – KOVÁŘOVÁ, K. – KREUZBERGOVÁ, J. – MÜLLEROVÁ, D. – PEISKEROVÁ, M. – RUŠAVÝ, Z. – SULKOVÁ, S. – ŠMAHELOVÁ, A. *Klinická dietologie*. Praha: Grada, 2008, s. 47-50. ISBN 978-80-247-2256-6.

Větrovská et al, 2009

VĚTROVSKÁ, R. – LAČŇÁK, Z. – HALUZÍKOVÁ, D. – FÁBIN, P. – HÁJEK, P. – HORÁK, L. – HALUZÍK, M. – SVAČINA, Š. – MATOULEK, M. Srovnání různých metod pro stanovení množství tuku v těle u žen s nadváhou a obezitou. *Vnitřní lékařství*. 2009, **55**(5): 455-461. [cit. 2021-11-10]. Dostupné z: <https://casopisvnitrnilekarstvi.cz/pdfs/vnl/2009/05/03.pdf>

Vokurka et al, 2018

VOKURKA, M. – KOFRÁNEK, J. – MARŠÁLEK, P. – MARUNA, P. – NEČAS, E. – ŠULC, K. – ŽIVNÝ, J. *Patofyziologie pro nelékařské směry*. 4. vydání. Praha: Karolinum, 2018, s. 121-127. ISBN 978-80-246-3563-7.

Wang et al, 1992

WANG, Y. – MOSS, J. – THISTED, R. Predictors of Body Surface Area. *Journal of Clinical Anesthesia*. 1992, **4**(1): 4-10. Dostupné z: doi:10.1016/0952-8180(92)90111-d.

Williamson, 2006

WILLIAMSON, C. S. Nutrition in pregnancy. *Nutrition bulletin*. London, 2006, **31**(1), 28-59. Dostupné z: doi:10.1111/j.1467-3010.2006.00541.x

WHO, 2000

World Health Organization. *Obezity: Preventing and Managing the Global Epidemic: Report of a WHO Consultation*. Geneva: WHO, 2000, s. 5-13. ISBN 92 4 120894 5.

Zadák et Hronek, 2011

ZADÁK, Z. – HRONEK, M. *Metodologie předklinického a klinického výzkumu v metabolismu, výživě, imunologii a farmakologii*. 1. vydání. Praha: Galén, 2011, 350 s. ISBN 978-80-7262-855-1. Kapitola 17: Antropometrické metody a jejich využití ke stanovení složení těla, s. 244-269.

Zadák, 2008

ZADÁK, Z. *Výživa v intenzivní péči*. 2. vydání. Praha: Grada, 2008, s. 39-46. ISBN 978-80-247-2844-5.