

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



DIPLOMOVÁ PRÁCE

**Hodnocení predikce tělesné kompozice měřené
duální bioimpedancí ve srovnání
s bioimpedanční spektroskopií**

Natálie Žídková

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

HRADEC KRÁLOVÉ, 2022/2023

Poděkování

Mé poděkování patří panu doc. PharmDr. Miloslavu Hronkovi, Ph.D. za vedení, trpělivost, cenné rady, pomoc a čas, které mi věnoval během experimentální části práce i následném sepsování této diplomové práce. Dále bych ráda poděkovala kolegyni Klaudivii Huličiarové za spolupráci při vyšetřování těhotných žen a Ing. Anetě Mazouchové, Ph.D. za pomoc se zpracováním části statistického vyhodnocení.

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

V Hradci Králové 10.05.2023

Natálie Žídková

Obsah

1. OBSAH

2. ABSTRAKT.....	6
3. ABSTRACT.....	7
4. ÚVOD	8
5. ZADÁNÍ – CÍL PRÁCE.....	9
6. TEORETICKÁ ČÁST	10
6.1 Složení těla	10
6.2 Bioelektrická impedanční analýza	12
6.2.1 Princip bioimpedance	12
6.2.2 Metody bioelektrické impedanční analýzy	15
6.2.3 Využití BIA v těhotenství.....	22
7. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST.....	23
7.1 Metodika	23
7.1.1 Měření tělesné výšky	23
7.1.2 Měření kompozice těla pomocí duální bioimpedance	24
7.1.3 Měření kompozice těla pomocí bioimpedanční spektroskopie	24
7.1.4 Statistické vyhodnocení výsledků	25
7.1.5 Charakteristika žen zařazených do studie	25
7.2 Výsledky	28
8. DISKUSE.....	56
9. ZÁVĚR.....	59
10. POUŽITÉ ZKRATKY	61
11. SEZNAM TABULEK.....	65
12. SEZNAM OBRÁZKŮ.....	66
13. SEZNAM GRAFŮ	66

14. POUŽITÁ LITERATURA 68

2. ABSTRAKT

Cílem této práce bylo zhodnotit predikci tělesného složení metodou duální bioimpedanční analýzy vzhledem k predikci tělesného složení metodou spektroskopické bioimpedanční analýzy.

Do studie bylo zařazeno pět těhotných žen (prvorodiček) s fyziologicky probíhajícím těhotenstvím. Každá z nich se zúčastnila tří vyšetření, konkrétně v období mezi 17.-27. týdnem gravidity, 28.-35. týdnem gravidity a 36.-38. týdnem gravidity.

Pro měření byla využívána osobní digitální váha *Tanita RD-953 (Tanita Corporation, Tokio, Japonsko)* představující duální bioimpedanční analýzu a přístroj *BCM – Body Composition Monitor (Fresenius Medical Care, Bad Homburg, Německo)* představující spektroskopickou bioimpedanční analýzu. Výsledky měření byly porovnány pomocí statistické analýzy.

Mezi měřeními metodou BIA a BIS nebyly Wilcoxonovým testem nalezeny žádné statisticky významné odchylky. Oproti tomu Bland-Altmanův test našel statisticky významné odlišnosti v měření tělesného tuku v prvním a druhém sledovaném období a dále v měření netučné složky v prvním sledovaném období. V případě predikce tělesného tuku byly mezi metodou BIA a BIS nalezeny dvě statisticky významné silné korelace v prvním ($r = 1$; $p = 0,0167$) a třetím ($r = 0,9747$; $p = 0,0333$) sledovaném období.

Z výsledků vyplývá, že predikce tělesného složení metodou duální bioimpedanční analýzy je dostatečně spolehlivá v porovnání s predikcí metodou spektroskopické bioimpedanční analýzy v případě celkové tělesné vody a lze ji využívat v každém období těhotenství. Měření celkového tělesného tuku se zdá být dostatečně přesné v období mezi 36.-38. týdnem gravidity, v případě netučné složky v období mezi 28.-35. a mezi 36.-38. týdnem gravidity. Tyto závěry je však nutno ověřit studií na větším počtu žen.

3. ABSTRACT

The aim of this work was to evaluate the prediction of body composition by the method of dual bioimpedance analysis in relation to the prediction of body composition by the method of spectroscopic bioimpedance analysis.

Five pregnant women (first-time mothers) with a physiologically ongoing pregnancy were included in the study. Each of them participated in three examinations, specifically in the period between 17.-27. week of pregnancy, 28.-35. week of pregnancy and the 36th-38th week of pregnancy.

A *Tanita RD-953* personal digital scale (*Tanita Corporation, Tokyo, Japan*) representing dual bioimpedance analysis and a *BCM – Body Composition Monitor* (*Fresenius Medical Care, Bad Homburg, Germany*) representing spectroscopic bioimpedance analysis were used for measurements. The measurement results were compared by statistical analysis.

No significant differences were found between the BIA and BIS measurements by the Wilcoxon test. In contrast, the Bland-Altman test found statistically significant differences in the measurement of body fat in the first and second follow-up periods, as well as in the measurement of net components in the first follow-up period. In the case of body fat prediction, two significant strong correlation statistics were found between the BIA and BIS methods in the first ($r = 1$; $p = 0.0167$) and third ($r = 0.9747$; $p = 0.0333$) observed periods.

The results show that the prediction of body composition by the method of dual bioimpedance analysis is sufficiently reliable compared to the prediction by the method of spectroscopic bioimpedance analysis in the case of total body water and can be used in any period of pregnancy. Measuring total body fat seems to be reasonably accurate between 36-38. week of pregnancy, in the case of a non-fat component in the period between 28.-35. and between 36.-38. week of pregnancy. However, these conclusions need to be verified by studies on a larger number of women.

4. ÚVOD

Měření tělesného složení v těhotenství je zásadní pro posouzení nutričního stavu a adaptace těla matky na výrazné fyziologické změny, které těhotenství přináší. Je obecně známo, že dochází k výraznému nárůstu celkové tělesné hmotnosti, k zadržování vody v organismu a změnám podílu tukové i netukové složky těla.

Bioelektrická impedanční analýza je neinvazivní standardizovaná metoda, která dokáže poskytnout informace o složení těla v krátkém čase a je obecně považována za bezpečnou a dobře tolerovanou v těhotenství. Tato metoda je založena na měření bioimpedance neboli odporu, který kladou biologické tkáně procházejícímu střídavému proudu. Kromě posouzení složení těla a stavu hydratace matky může být BIA nápomocná při diagnostice možných komplikací v těhotenství, jako je rozvoj gestačního diabetu mellitu, těhotenské hypertenze nebo preeklampsie (Obuchowska et al., 2021).

V současné době existuje několik různých typů bioimpedanční analýzy. Tato práce se zaměřuje na porovnání duální bioimpedanční analýzy získané měřením bioimpedance při dvou různých frekvencích a bioimpedanční spektroskopické analýzy získané měřením bioimpedance při padesáti různých frekvencích.

5. ZADÁNÍ – CÍL PRÁCE

Cílem této práce bylo zhodnotit spolehlivost měření tělesného složení metodou duální bioimpedance ve srovnání s metodou bioimpedanční spektroskopie u těhotných žen v průběhu tří sledovaných období gravidity.

6. TEORETICKÁ ČÁST

6.1 Složení těla

Obecným standardem pro popis složení těla je tzv. pětiúrovňový model. Zahrnuje hlavní komponenty tělesného složení, které jsou rozdělené do úrovní: atomová, molekulární, buněčná, tkáňové systémy a celé tělo (Heymsfield et al., 1996).

Obrázek č. 1: Pětiúrovňový model složení těla

dusík + další prvky	lipidy	buňky	tuková tkáň
vodík	voda		kosterní svalstvo
uhlík		extracelulární tekutina	útrobní orgány
kyslík	bílkoviny	extracelulární pevné látky	kosti
	glykogen		
	minerální látky		
atomová úroveň	molekulární úroveň	buněčná úroveň	tkáňová/orgánová úroveň

Zdroj: Heymsfield et al., 1996 (převzato a přeloženo)

Poznámka: Pátá úroveň (celé tělo) není v obrázku zahrnuta.

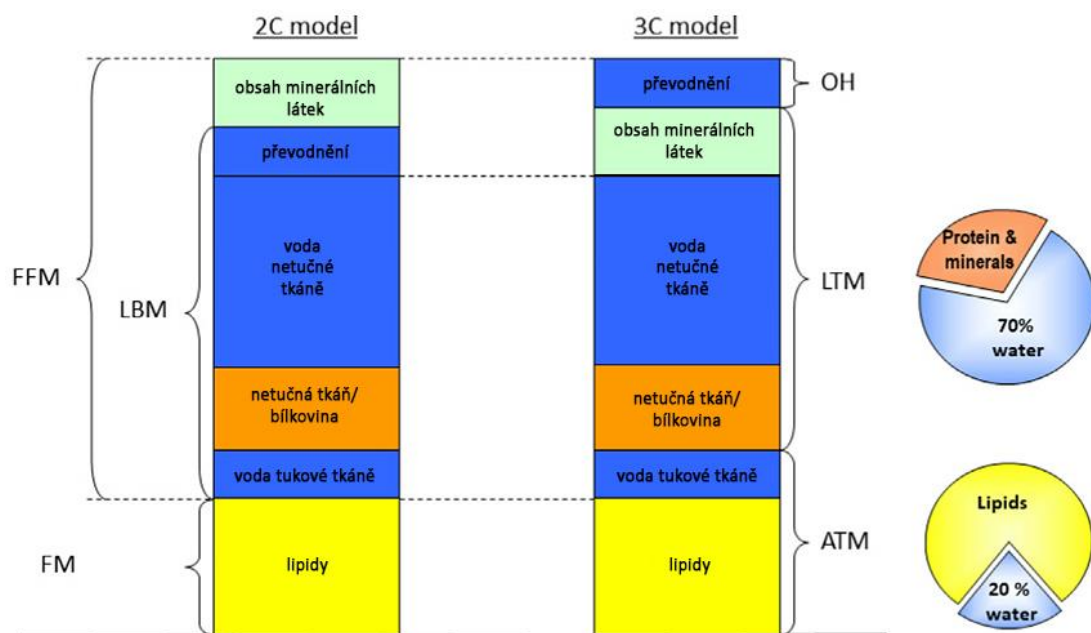
Dalším, zejména pro tuto práci důležitým přístupem popisu složení těla, jsou kompartmentové modely.

Dvoukompartmentový (2-C) model rozděluje tělo na dvě složky, konkrétně na tuk (tukovou hmotu, *fat mass*, FM) a netučnou hmotu (*fat free mass*, FFM), která je odhadována na základě předpokladu, že tkáň bez tuku obsahuje ~ 73 % vody. Tuková složka má relativně homogenní složení, oproti tomu netučná složka je velmi heterogenní. Skládá se z vody, minerálních látek, bílkovin, stavebních lipidů a dalších minoritních složek. 2-C modely proto musí předpokládat, že tyto komponenty existují ve vzájemném známém vztahu, což při analýze tělesného složení může přinášet určité nepřesnosti (Jebb et al., 1999; Broers et al., 2020).

Tříkompartimentový (3-C) model rozděluje tělo na hmotu netukové tkáně (*lean tissue mass*, LTM), hmotu tukové tkáně (*adipose tissue mass*, ATM) a nadbytek extracelulární tekutiny, běžně označovaný jako převodnění (*overhydration*, OH). V případě vyčerpání tekutin může OH nabývat záporných hodnot. 3-C model rozpoznává přítomnost extracelulární tekutiny (*extracellular water*, ECW) a intracelulární tekutiny (*intracellular water*, ICW) v tukové tkáni a na základě předpokladu normálních hydratačních poměrů pro netukovou a tukovou tkáň následně vypočítává již popsany OH kompartiment. 2-C model nadbytek extracelulární tekutiny rozlišit neumí a predikce FFM je tak tímto ovlivňována (Broers et al., 2020). Rozdíly mezi 2-C a 3-C modelem lze vidět v obrázku č. 2.

Čtyřkompartimentový (4-C) model rozděluje tělo na hmotu buněk s metabolickou aktivitou (*body cell mass*, BCM), extracelulární tekutinu (ECW), netučné extracelulární pevné látky (*fat-free extracellular solids*, FFECS) a tuk (tukovou hmotu, FM). FFM dle 4-C modelu lze vypočítat dle vzorce: $FFM = BCM + ECW + FFECS$ (Dey et al., 2003).

Obrázek č. 2: Kompartimentové modely složení těla



Zdroj: Broers et al., 2020 (převzato a přeloženo)

Vysvětlivky: FFM – *fat free mass* (netučná hmota); FM – *fat mass* (tučná hmota); LBM – *lean body mass* (netučná tělesná hmota); OH – *overhydration* (převodnění); LTM – *lean tissue mass* (netučná tkáň); ATM – *adipose tissue mass* (tuková tkáň); *Protein & minerals* – bílkovina a minerální látky; *Water* – voda; *Lipids* – lipidy

6.2 Bioelektrická impedanční analýza

Bioelektrická impedanční analýza (bioimpedanční analýza, BIA) je neinvazivní metoda, která v živém systému nachází několik využití pro analýzu různých typů tkání a diagnostiku onemocnění (Prasad, 2020). Využívá se k posouzení složení těla a stavu hydratace (Obuchowska et al., 2021). BIA je pro své výhody široce využívána jako „metoda u lůžka“. Zařízení jsou přenosná a zcela bezpečná, vyšetření je rychlé a poměrně snadné. Další výhodou je, že výsledky jsou k dispozici ihned a jsou snadno reprodukovatelné (Kyle et al., 2004).

6.2.1 Princip bioimpedance

Bioimpedance je založena na schopnosti živých tkání klást odpor průchodu elektrického proudu a tento odpor výrazně závisí na stupni jejich hydratace (Lopot, 2016).

Tkáně kladou dva typy odporu. Prvním je odpor (R), který je způsoben extracelulární a intracelulární tekutinou (celkovou tělesnou tekutinou), a druhým typem je reaktance (X_c), která vychází z buněčných membrán. Bioimpedance (Z) je komplexní veličina, která se skládá z těchto dvou odporů, jejichž závislost lze vypočítat z Pythagorovy věty podle vztahu:

$$Z = R + X_c$$

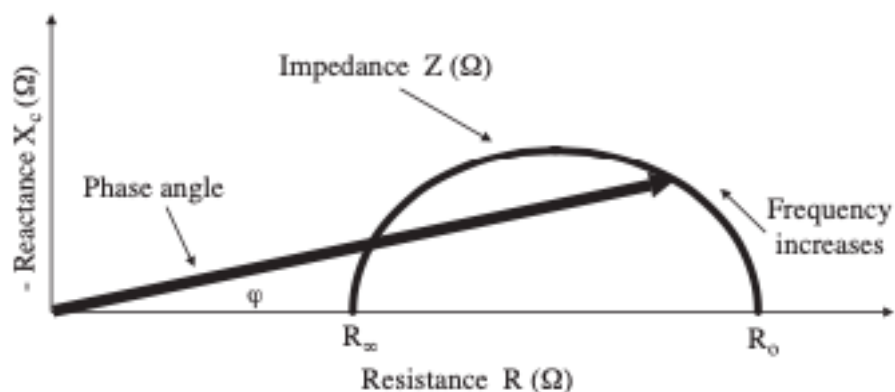
Impedanci (Z) lze vyjádřit vektorovým součtem odporu (R) a reaktance (X_c). Je definována velikostí impedance ($|Z|$) a fázovým úhlem (φ), který svírá vektor R a Z .

$$|Z| = \sqrt{R^2 + X_c^2}$$

$$\varphi = \tan^{-1}\left(\frac{X_c}{R}\right)$$

(Khalil et al., 2014)

Obrázek č. 3: Diagram grafického odvození fázového úhlu; vztah mezi odporem (R), reaktancí (X_c), impedancí (Z) a frekvencí aplikovaného proudu



Zdroj: Kyle et al., 2004

Vysvětlivky: *Resistance* – rezistence (odpor); *Reactance* – reaktance; *Phase angle* – fázový úhel; *Frequency increases* – zvyšování frekvence; Ω - Ohm (jednotka); R₀ – odpor při nulové frekvenci; R_∞ - odpor při nekonečné frekvenci

Z obrázku č. 3 vyplývá, že vektor Z v rovině R/X_c opisuje půlkružnici v závislosti na frekvenci protékajícího proudu (Lopot, 2016).

Odpor je závislý na délce (L) vodivého materiálu, na jeho ploše průřezu (A) a na druhu tohoto materiálu, jenž je vyjádřen rezistivitou (ρ) (měrný nebo též specifický elektrický odpor). Závislost je popsána následujícím vztahem:

$$R_{(ohm)} = \rho_{(\Omega.m)} \frac{L_{(m)}}{A_{(m^2)}}$$

Reaktance (X_c) je definována jako odpor vůči kolísajícím napětím na objektu a je nepřímo úměrná frekvenci (f) a kapacitanci (C). Reaktance v biologických systémech nastává v důsledku kapacity buněčné membrány.

$$X_{c(ohm)} = \frac{1}{2\pi f_{(Hz)} C_{(Farad)}}$$

(Khalil et al., 2014)

Kapacitance (C) je definována jako schopnost nevodíče akumulovat elektrický náboj. To se rovná poměru mezi diferenciací napětí na objektu (dV/dt) a protékajícím proudem ($I(t)$).

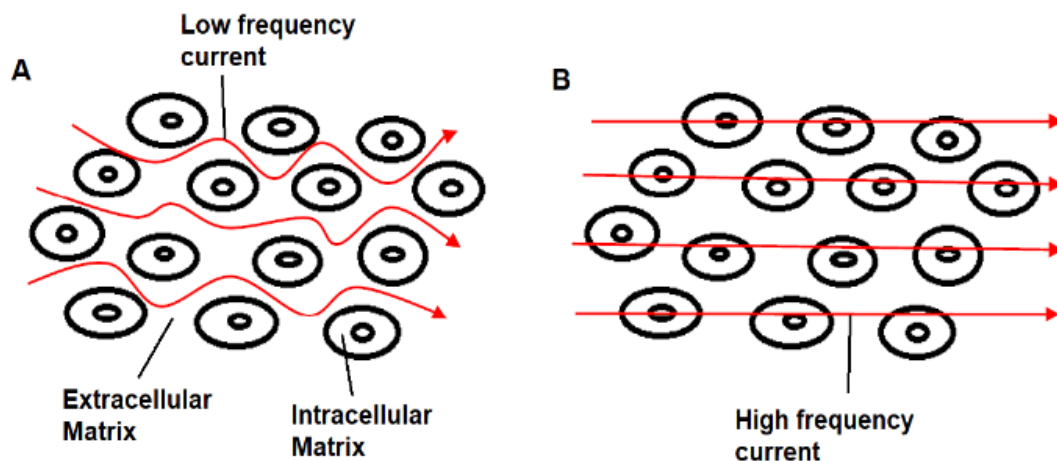
$$C_{(Farad)} = \frac{dV(t)}{dt} / I(t)$$

(Khalil et al., 2014)

Toto dočasné uložení náboje vytváří fázový posun neboli fázový úhel (φ). V posledních letech roste výzkum využití této proměnné jako potenciálního markeru stavu výživy nebo klinických výsledků (Mulasi et al., 2015). Předpokládá se, že jde o index poměru mezi extracelulární a intracelulární vodou, tělesnou buněčnou hmotou a buněčnou integritou (Vincenzo et al., 2019).

Při velmi nízkých frekvencích (teoreticky se blížících nule) střídavý proud neprochází přes buněčné membrány (chovají se jako izolant), ale je veden pouze extracelulární tekutinou. Při velmi vysokých frekvencích (teoreticky se blížících nekonečnu) dochází k úplnému vedení přes buněčné membrány, což měřením extracelulární i intracelulární vody umožňuje kvantifikaci celkové tělesné vody (Mulasi et al., 2015).

Obrázek č. 4: Průtok střídavého proudu tkání při nízkých a vysokých frekvencích



Zdroj: Amini et al., 2018

Vysvětlivky: *Low frequency current* – nízkofrekvenční proud; *High frequency current* – vysokofrekvenční proud; *Extracellular Matrix* – extracelulární prostředí; *Intracellular Matrix* – intracelulární prostředí

Odhad tělesného složení pomocí bioimpedančního měření je založen na stanovení tělesného objemu (V_b), který lze vypočítat podle vztahu:

$$V_b (m^3) = \rho_{(\Omega.m)} \frac{L^2 (m)}{R_{(\Omega)}}$$

Lidské tělo je, jako objem obecně složeno z tukové hmoty (fat mass, FM), která je považována za nevodič elektrického náboje a rovná se rozdílu mezi tělesnou hmotností (body weight, Wt_{Body}) a netučnou hmotou (fat free mass, FFM). Netučná hmota je považována za vodivý objem, jelikož obsahuje vodivé elektrolyty, které jsou rozpuštěné v tělesné vodě. Celková tělesná voda (total body water, TBW) je hlavní sloučeninou FFM a u jedinců s normální hydratací je rovna přibližně 73 % FFM.

$$FM = Wt_{Body} - FFM$$

$$TBW = 0,73 FFM$$

Měřit bioimpedanci lze z celého těla, nebo z jednotlivých segmentů těla odděleně za využití jednofrekvenčních, vícefrekvenčních nebo spektroskopických bioimpedančních zařízení (Khalil et al., 2014).

6.2.2 Metody bioelektrické impedanční analýzy

6.2.2.1 Jednofrekvenční bioimpedanční analýza (SF-BIA)

Tato metoda při měření bioimpedance využívá jedinou frekvenci – 50 kHz – a jde o jednu z prvních metod navržených pro odhad tělesných kompartmentů. Proud prochází mezi povrchovými elektrodami nejčastěji umístěnými na ruce a na noze, ale některé přístroje BIA využívají i jiná umístění, např. noha-noha, nebo ruka-ruka. Přísně vzato, BIA při 50 kHz neměří celkovou tělesnou vodu (TBW), ale vážený součet odporů extracelulární vody (ECW) a intracelulární vody (ICW). Jinými slovy, TBW je předpovídána bez rozlišování nebo měření jednotlivých objemů ECW a ICW. SF-BIA dále umožňuje odhadnout netučnou hmotu (FFM) na základě empirických vztahů a lineárně regresivních rovnic za předpokladu, že FFM je konstantně hydratována na 73,2 %. Tuková hmota (FM) je pak odvozena odečtením FFM od celkové hmotnosti (Mulasi et al., 2015; Khalil et al., 2014).

SF-BIA má několik nevýhod, co se týče přesnosti analýzy. Predikční rovnice SF-BIA byly odvozeny pro normálně hydratované pacienty, tudíž nejsou platné za podmínek výrazně změněné hydratace. Přístup SF-BIA je také založen na předpokladech, že poměr ICW k ECW zůstává konstantní a že specifický odpor (ρ) je konstantní ve všech tkáních těla, takže elektrický proud je veden rovnoměrně. Avšak je známo, že vodivost tělesných tkání je různorodá. ρ závisí na několika faktorech a distribuce tekutiny mezi extra a intracelulárním prostorem se liší v různých tkáních v závislosti na stavu výživy a onemocnění. Dále fakt, že se SF-BIA spoléhá na využití jen jedné frekvence a předpokládá, že 50 kHz je dostatečné k překonání membránové kapacity, činí generování TBW potenciálně chybné a ICW nelze s přesností určit (ačkoliv některé studie vykazují přijatelné korelace). Určité omezení je i v předpokladu, že FFM je hydratována konstantně (Mulasi et al., 2015; Khalil et al., 2014).

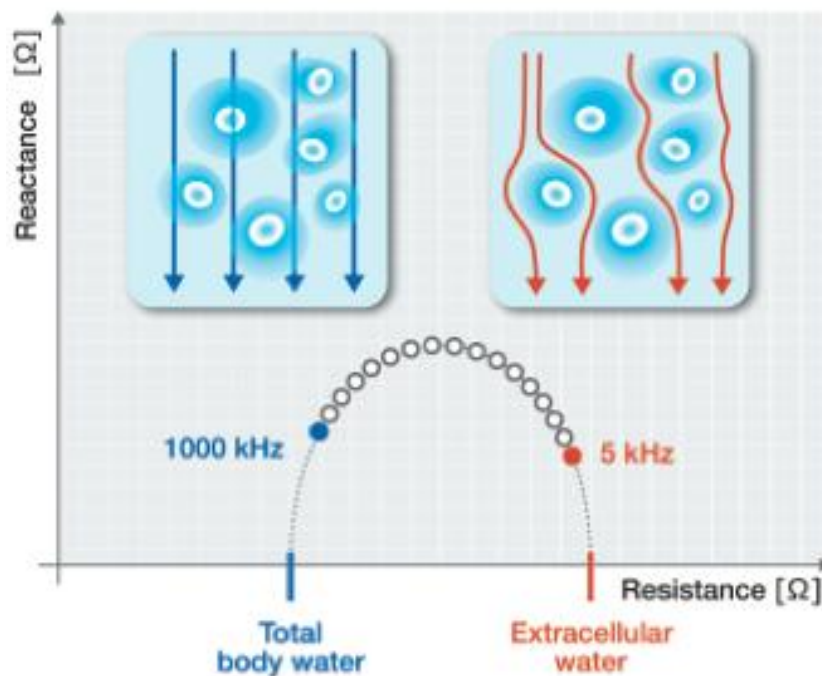
6.2.2.2 Vícefrekvenční bioimpedanční analýza (MF-BIA)

MF-BIA zahrnuje měření bioimpedance při 2 nebo více frekvencích (0, 1, 5, 50, 100, 200 až 500) k vyhodnocení FFM, TBW, ICW a ECW, a stejně jako SF-BIA využívá empirické modely lineární regrese. Přístroje MF-BIA typicky aplikují proud o 1 velmi nízké frekvenci (např. 5 kHz) a několika vyšších frekvencích. Tím pádem je MF-BIA teoreticky schopna rozlišit mezi oddíly ECW a ICW, protože při nižších frekvencích impedance vůči toku proudu umožňuje určení ECW, zatímco při vyšších frekvencích může být impedance použita k určení TBW a ICW lze odvodit odečtením ECW od TBW. Hannan et al. uvedli, že parametry měřené s použitím frekvence nižší než 5 kHz a vyšší než 200 kHz kolísají kolem skutečné hodnoty a poznamenali, že MF-BIA ve srovnání s bioimpedanční spektroskopií (BIS) vedla k lepší predikci TBW a stejné predikci ECW. Patel et al. uvedli, že u nemocných jedinců poskytla predikci TBW pomocí SF-BIA přesnější výsledky než MF-BIA. Olde-Rikkert et al. zjistili, že u starších pacientů MF-BIA vykazuje menší senzitivitu při detekci posunů tekutin mezi ECW a ICW (Kyle et al., 2004; Khalil et al., 2014; Mulasi et al., 2015).

6.2.2.3 Bioimpedanční spektroskopie (BIS)

Zařízení BIS obvykle měří bioimpedanci při minimálně 50 frekvencích ve spektru frekvencí od velmi nízkých do přibližně 1000 kHz (Mulasi et al., 2015). Tato metoda je založena na stanovení odporu při nulové frekvenci (R_0 , nebo také R_e) a odporu při nekonečné frekvenci (R_∞) (Khalil et al., 2014). Z technických důvodů, jsou však měřiče bioimpedance používající povrchové elektrody, omezeny na frekvenční rozsah 5-1000 kHz, tudíž odpor ECW (R_e) a odpor TBW (R_∞) je nutné vypočítat extrapolací na nulu a nekonečno frekvencí. I kdyby měření při velmi malých a velmi vysokých frekvencích bylo možné, tak by těchto limitních odporů nebylo možné dosáhnout kvůli relaxačním mechanismům v živých tkáních, které by bránily impedanci dosáhnout skutečné osy. Extrapolace je dosaženo pomocí Coleova modelu. Impedanční data namísto v rovině odpor-reaktance leží na půlkruhu se středem pod horizontální osou. R_e a R_∞ jsou potom nalezeny jako průsečíky kružnice s osou odporu, protože reaktance na těchto frekvencích mizí (Jaffrin, 2008).

Obrázek č. 5: Cole-Cole diagram při použití přístroje Body Composition Monitor



Zdroj: BCM – Body Composition Monitor

Vysvětlivky: *Reactance* – reaktance; *Resistance* – rezistence (odpor); *Total body water* – celková tělesná voda; *Extracellular water* – extracelulární voda

Odpor spojený s ICW (R_i) lze dále vypočítat pomocí rovnice:

$$1/R_i = 1/R_\infty - 1/R_e$$

Objemy ECW a ICW jsou generovány aplikací podmínek Coleova modelu na rovnice vyvinuté na základě Hanaiovy teorie směsi, která popisuje, jak jsou elektrické vlastnosti tkání modifikovány směsnými účinky vodivých (voda, elektrolyty, netučná tkáň) a nevodivých (kosti, tuk) složek těla (Mulasi et al., 2015). Odpor (R) vodivých roztoků se zvyšuje s rostoucím množstvím suspendovaného nevodivého materiálu – zjednodušeně vysvětleno zvýšenou vodivou dráhou proudu, když se musí zakřivit kolem nevodivých částic, které mohou být *in vivo* reprezentovány buňkami. Hanai pro popis tohoto jevu *in vitro* vyvinul vzorec, který byl následně extrapolován pro použití *in vivo* (Kyle et al., 2004). Úpravy matematického modelu zahrnovaly nahrazení hmotnosti a hustoty objemem směsi a nahrazení výšky délkou vodiče. Rovnice pro výpočet ECW je:

$$ECW = k_{ecw} F_{ecw}$$

kde

$$F_{ecw} = (Wt^{1/2} Ht^2 / R_{ecw})^{2/3}$$

Vysvětlivky: Wt – hmotnost; Ht – výška; R_{ecf} – odpor při nulové frekvenci získaný z Cole-Cole modelu; k_{ecf} – konstanta získaná regresí ECW měřená bromidovou dilucí proti F_{ecw} ; F_{ecw} – frekvence.

Rovnice pro výpočet ICW je:

$$ICW = r_{IE} ECW$$

Kde je ECW predikováno, jak je uvedeno výše a r_{IE} se vypočítá dle následující rovnice:

$$(1 + r_{IE})^{5/2} = r_{LH} [1 + (r_{IE} k_p)]$$

Vysvětlivky: r_{IE} – poměr ICW k ECW změřený dilucí; r_{LH} – poměr odporu při nulové a při nekonečné frekvenci odhadovaný z Cole-Cole modelu; k_p – konstanta získaná regresí $[(1 + r_{IE})^{5/2} / r_{LH} - 1]$ proti r_{IE}

(Gudivaka et al., 1999)

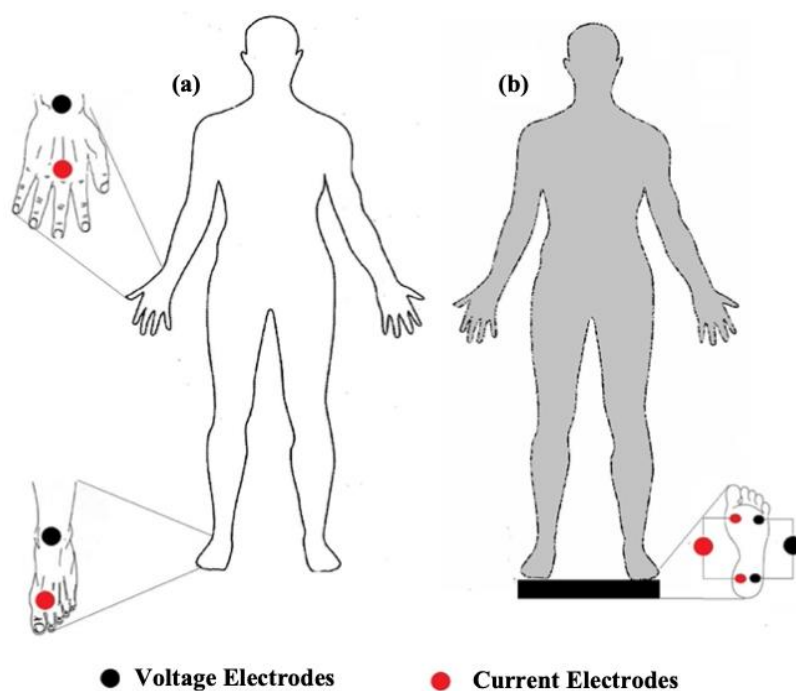
BIS má oproti SF-BIA a MF-BIA několik teoretických výhod v tom, že měří Impedanci v celém rozsahu frekvencí a nezávisí na populačně specifických predikčních rovnicích pro generování objemů a hmotností celého těla. Tím, že měří impedanci až do velmi vysokých frekvencí, umožňuje kompletní kvantifikaci TBW. Metoda BIS je jediná, která umožňuje prostřednictvím matematického modelování vypočítat charakteristickou frekvenci (f_c), která se mění s posuny v tekutinových kompartmentech a buněčných membránách. Nepředpokládá, že ECW a ICW jsou rovnoměrně distribuovány, tudíž tato technika poskytuje více individualizované měření ECW, ICW a TBW ve srovnání s SF-BIA a MF-BIA (Mulasi et al., 2015).

Nicméně, i u této metody může dojít k chybám v odhadech objemů. Na rovnice je aplikováno několik konstant. Jsou použity pevné (i když oddělené) hodnoty specifického odporu ECW a ICW a konstanty pro tělesnou hustotu a tvar. Předpokládá se, že tyto konstanty jsou vhodné v celém rozsahu tělesného složení, ale je nepravděpodobné, že by to platilo absolutně zvláště u jedinců s nadměrnou adipozitou a u jedinců s nerovnováhou tekutin spojenou se zraněním či nemocí (Mulasi et al., 2015).

6.2.2.4 Celotělové měření bioimpedance

Měření celkové tělesné bioimpedance, při které jsou generovány odhady složení celého těla, je nejčastěji využívanou metodou. Přístupy celotělového měření zahrnují metodu z ruky do nohy, z nohy do nohy a z ruky do ruky. Nejvíce je využíváno tetrapolární (čtyřelektrodové) měření z ruky do nohy, které je prováděno na subjektu vleže. Při metodě měření z nohy do nohy stojí subjekt vertikálně s nezakrytými chodidly na čtyřech elektrodách rozdělených pro každou nohu na přední a zadní část pro vpouštění proudu a měření napětí. Měření z ruky do ruky vyžaduje držení elektrod s pažemi nataženými vodorovně před tělem. Metodě měření z nohy do nohy je na rozdíl od metody z ruky do ruky přisuzována větší přesnost, což může být dáno tím, že chodidlové elektrody umožňují konzistentní a plný kontakt s chodidly při působení hmotnosti, zatímco ruční elektrody vyžadují dobrovolné stlačování úchopů, které může být variabilní a nesymetrické (Khalil et al., 2014; Jaffrin, 2009).

Obrázek č. 6: Způsoby provedení celotělového měření bioimpedance



Zdroj: Khalil et al., 2014

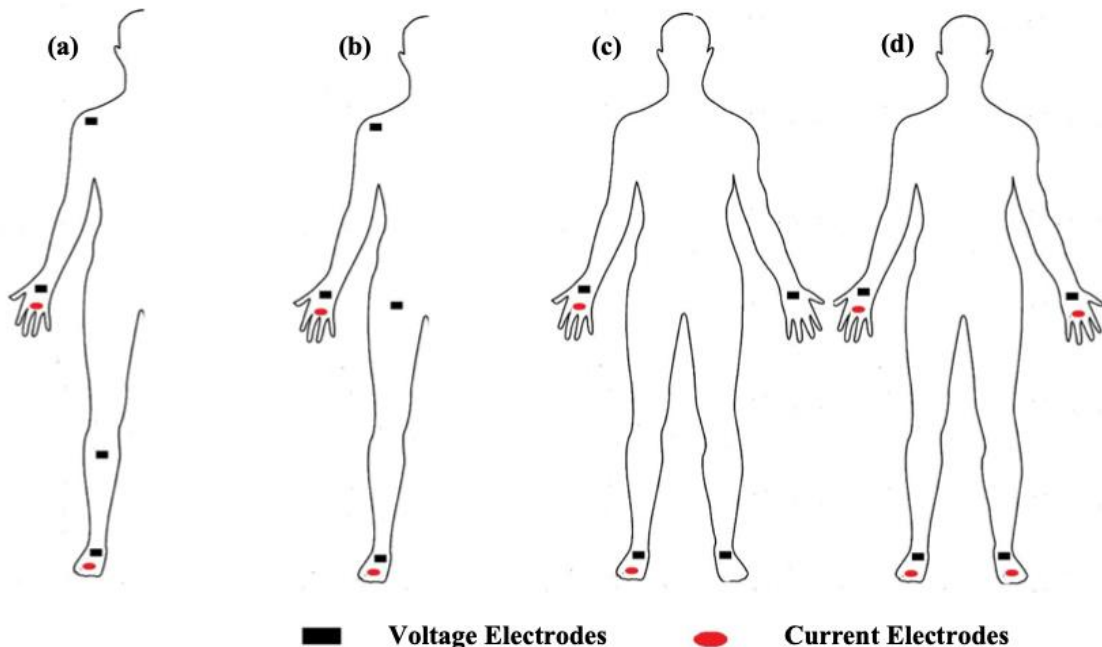
Vysvětlivky: Voltage Electrodes – napěťové elektrody; Current Electrodes – proudové elektrody

6.2.2.5 Segmentové měření bioimpedance (SEG-BIA)

Na rozdíl od celotělového měření bioimpedance (kdy je tělo vnímáno jako jeden válec) segmentální BIA (SEG-BIA) rozděluje tělo při měření do pěti různých válců s různými odpory, na kterých se bioimpedance měří odděleně. Dva válce představují horní končetiny, dva dolní končetiny a jeden válec představuje trup. To je výhoda oproti celotělové BIA především proto, že trup přispívá velmi málo k odporu celého těla (~ 10 %), ale obsahuje značný vodivý objem (~ 50 %) a předpokládá se, že jakékoli změny objemu nebo tuku v oblasti trupu budou mít malý vliv na měření celého těla. Kyle a kolektiv poukázali na to, že měření celkové bioimpedance hodnotí hlavně segmenty horních a dolních končetin a vyznačuje se určitými omezeními pro predikci tekutin trupu. Segmentové měření by tedy mělo poskytnout přesnější odhady celého těla, nicméně údaje o bioimpedanci jsou stále aplikovány na regresní predikční rovnice získané z referenčních dat a ukázaly se jako chybné u jedinců s obezitou. Avšak měření představuje výhodu při určování posunů a distribuce tekutin u osob s přetíženými

tekutinami a u osob na dialýze. V neposlední řadě SEG-BIA také dosahuje lepšího odhadu hmoty kosterního svalstva než celotělová BIA. (Mulasi et al., 2015; Khalil et al., 2014).

Obrázek č. 7: Způsoby provedení segmentového měření bioimpedance



Zdroj: Khalil et al., 2014

Vysvětlivky: Voltage Electrodes – napěťové elektrody; Current Electrodes – proudové elektrody

6.2.2.6 Bioelektrická impedanční vektorová analýza (BIVA)

Jedná se o alternativní metodu bioimpedanční analýzy, která nezávisí na populačně specifických rovnicích nebo modelech. Zahrnuje vynesení R a X_c standardizované pro výšku za účelem vytvoření vektoru bioimpedance, který lze následně porovnat s referenčními elipsami tolerance (50 %, 75 %, 95 %) vypočtenými u zdravé populace stejného pohlaví a rasy. Elipsa se mění s věkem a velikostí těla (Kyle et al., 2004; Mulasi et al., 2015).

6.2.3 Využití BIA v těhotenství

Těhotenství je období významných změn ve složení ženského těla s cílem poskytnout podporu růstu a vývoji plodu. Gestační přírůstek hmotnosti (GWG) pozorovaný během těhotenství je spojen se zvětšením tkáně matky, plodu a placenty, změnami v plodové a extracelulární tekutině a expanzí objemu krve.

BIA nedokáže rozlišit mezi mateřskou a fetální tkání, nicméně je považována za bezpečnou pro těhotenství a její metodou lze sledovat adaptaci organismu matky na probíhající těhotenství a úspěšně studovat vliv nadměrného GWG na vznik poporodních komplikací. Hodnocení tělesného složení může poskytnout důležité vodítko pro diagnostiku gestačního diabetes mellitus a hodnocení rizika rozvoje gestační hypertenze a preeklampsie.

Navzdory výhodám BIA však abnormální distribuce tekutin během těhotenství činí různé metody BIA buď nevhodnými, nebo vyžadují další ověření. Celotělové měření bioimpedance hodnotí především složení končetin, avšak v průběhu těhotenství se velké množství vody nachází právě v trupu (Obuchowska et al., 2021). To je dáno zejména zadržováním vody v prsou a dolní pánvi (Berlit et al., 2013). Z tohoto důvodu je vhodnější spíše segmentové měření, a to především v pozdním těhotenství.

Existují i metodologické problémy týkající se omezení použití BIA v těhotenství. Celková tělesná voda při určování tělesného složení hraje klíčovou roli, a proto je zapotřebí dodržet určité podmínky přípravy, aby se minimalizoval účinek celkové denní změny vody v těle. Podmínky zahrnují provedení BIA procedury vždy ve stejnou denní dobu, bez příjmu jídla nebo nápojů 4 hodiny před testováním a s vyprázdněním močového měchýře bezprostředně před měřením.

V neposlední řadě stojí za zmínku, že měření BIA je nutné interpretovat s ohledem na pozadí adekvátních referenčních hodnot pro sledovanou populaci (Obuchowska et al., 2021).

7. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

7.1 Metodika

Tato práce je součástí klinické studie probíhající za spolupráce s Porodnickou a gynekologickou klinikou Fakultní nemocnice v Hradci Králové. Studie byla schválena Etickou komisí Fakultní nemocnice v Hradci Králové a účast v ní je zcela dobrovolná.

Vyšetření těhotných žen probíhalo v ambulanci klinické fyziologie ve Výukovém a výzkumném centru Univerzity Karlovy v Hradci Králové pod vedením doc. PharmDr. Miloslava Hronka, Ph.D. Všechny ženy byly před vyšetřením podrobně seznámeny s jeho průběhem a podepsaly informovaný souhlas.

Do studie bylo zařazeno 5 těhotných žen (prvorodiček) ve věku 23 až 36 let. Celkem absolvovaly 3 vyšetření. První vyšetření bylo v období mezi 17.-27. týdnem těhotenství, druhé v období mezi 28.-35. týdnem a třetí v období mezi 36.-38. týdnem těhotenství. Vyšetření se konala v dopoledních hodinách a ženy přicházely po dvanáctihodinovém lačnění.

7.1.1 Měření tělesné výšky

Hodnota tělesné výšky byla důležitým vstupním parametrem pro měření kompozice těla duální bioimpedancí i bioimpedanční spektroskopí. Měření bylo prováděno pouze při vstupním vyšetření pomocí stadiometru.

Těhotná žena se bez obuvi postavila zády ke stupnici stadiometru. Stála vzpřímeně, paty a špičky měla u sebe a poloha hlavy byla v tzv. frankfurtské horizontále (oční koutek byl v rovině s okrajem zevního zvukovodu) (Hronek, 2011). Tělesná výška byla odečtena pomocí pohyblivého ramene stadiometru ve chvíli, kdy se dotklo temene hlavy ženy. Měření bylo prováděno s přesností na 0,5 cm.

7.1.2 Měření kompozice těla pomocí duální bioimpedance

K této metodě měření byla využívána osobní digitální váha *Tanita RD-953 (Tanita Corporation, Tokio, Japonsko)*, která měří bioimpedanci při 2 různých frekvencích.

Měření probíhalo při všech třech vyšetřeních, přičemž váha byla nastavena před každým měřením pro konkrétní vyšetřovanou ženu. Zadali jsme vstupní údaje o pohlaví, věku a výšce. Následně si žena vyslečená do spodního prádla stoupla na váhu bosými chodidly. Získali jsme informaci o celkové tělesné hmotnosti ženy a duální bioimpedanční analýzou vyhodnocené parametry složení těla, jako jsou procenta tělesného a viscerálního tuku, obsahu vody v těle, hmotnost netučné tkáně a další. Přehled všech výsledků naměřených *Tanitou RD-953* je shrnut v tabulkách č. 4-5.

7.1.3 Měření kompozice těla pomocí bioimpedanční spektroskopie

Pro měření kompozice těla metodou bioimpedanční spektroskopie byl využíván přístroj *BCM – Body Composition Monitor (Fresenius Medical Care, Bad Homburg, Německo)*, který měří bioimpedanci při 50 různých frekvencích.

Stejně jako u předchozí metody, toto měření probíhalo při všech vyšetřeních. Těhotná žena ve spodním prádle ležela na lůžku na zádech. Paže měla položeny dlaněmi dolů a byly lehce odtažené od těla. Dolní končetiny byly lehce odtažené od sebe. Vzdáleností mezi pažemi a tělem a mezi dolními končetinami bylo předcházeno vzniku vodivostního přemostění, který by měření neumožnil. Poté jsme ženě odmastili pokožku v místě, kam byly následně umísťovány 4 měrné elektrody, a sice 2 na ruku (za prsty a na zápěstí) a 2 na nohu (za prsty a na zánártí) na stejné straně těla. Před měřením byly zadány vstupní údaje, konkrétně pohlaví, věk, výška a hmotnost dané ženy. Po napojení přístrojových svorek k elektrodám bylo spuštěno měření. Zjištěné hodnoty byly zaznamenány na vyjímatelnou paměťovou kartu a poté byly analyzovány pomocí softwaru *Fluid Management Tool*. Přehled těchto výsledků je shrnut v tabulkách č. 6-10.

7.1.4 Statistické vyhodnocení výsledků

Pro statistické vyhodnocení výsledků byl použit program GraphPad Prism 9 a Jamovi (konkrétně Bland-Altmanův test). Pomocí Shapiro-Wilkova testu a Q-Q grafů bylo prokázáno nenormální rozdělení dat. Z tohoto důvodu jsou uváděny mediány a percentily a ke statistické analýze byly dále voleny neparametrické testy.

K vyhodnocení statisticky významných změn mezi třemi vyšetřeními byl u každého parametru použit Friedmanův test. Pro porovnání stejných parametrů získaných dvěma odlišnými metodami měření byl použit Wilcoxonův test, Spearmanova korelace a Bland-Altmanův test. Pro porovnání vybraných parametrů s výsledky z predikčních rovnic byl použit Wilcoxonův test a Spearmanova korelace.

U všech testů byla zvolena pětiprocentní hladina významnosti čili za statisticky významné považujeme hodnoty $p < 0,05$, které jsou v tabulkách zvýrazněny červeně.

7.1.5 Charakteristika žen zařazených do studie

Základní antropometrické hodnoty vyšetřovaných žen jsou uvedeny v následujících tabulkách. Hodnoty v tabulce č. 1 uvádějí věk, výšku a dále hmotnost a BMI před otěhotněním. Hodnoty v tabulkách č. 2-3 uvádějí antropometrická data, která se měnila v průběhu sledovaných období.

Tabulka č. 1: Základní charakteristika studované skupiny

Těhotná žena - iniciály	BB	FD	HP	HK	KK	Minimum	Percentil 25%	Medián	Percentil 75%	Maximum
Věk [roky]	23	35	36	32	32	23	27,5	32	35,5	36
Výška [cm]	169	165	157	170	163	157	160	165	169,5	170
Hmotnost před graviditou [kg]	99	55	80	53	65	53	54	65	89,5	99
BMI před graviditou	34,7	20,2	32,5	18,3	24,5	18,3	19,25	24,5	33,6	34,7

Tabulka č. 2: Základní charakteristika studované skupiny – data měnící se v čase

Těhotná žena - iniciály		BB	FD	HP	HK	KK	Minimum	Percentil 25%	Medián	Percentil 75%	Maximum	Friedmanův test
Nárůst hmotnosti v graviditě [kg]	G1	4,2	18,3	-0,5	11,4	4,4	-0,5	1,85	4,4	14,85	18,3	$p = 0,0008$
	G2	8,8	23,9	1,7	15,4	8,5	1,7	5,1	8,8	19,65	23,9	
	G3	15,7	29,35	5,9	16,9	12,7	5,9	9,3	15,7	23,125	29,35	
Rozdíl hmotnosti v graviditě - NW	G1	41,6	14,1	25	2,1	11,3	2,1	6,7	14,1	33,3	41,6	$p = 0,0008$
	G2	46,2	19,6	27,2	6,2	15,4	6,2	10,8	19,6	36,7	46,2	
	G3	53,1	25,1	31,4	7,6	19,6	7,6	13,6	25,1	42,25	53,1	
Hmotnost v graviditě [kg]	G1	103,2	73,3	79,5	64,4	69,4	64,4	66,9	73,3	91,35	103,2	$p = 0,0008$
	G2	107,8	78,9	81,7	68,4	73,5	68,4	70,95	78,9	94,75	107,8	
	G3	114,7	84,4	85,9	69,9	77,7	69,9	73,8	84,4	100,3	114,7	
BMI v graviditě	G1	36,1	26,9	32,3	22,3	26,1	22,3	24,2	26,9	34,2	36,1	$p = 0,0008$
	G2	37,7	29	33,1	23,7	27,6	23,7	25,65	29	35,4	37,7	
	G3	40,2	31	34,8	24,2	29,2	24,2	26,7	31	37,5	40,2	
Tělesný povrch v graviditě [cm ²]	G1	2,1	1,8	1,8	1,7	1,7	1,7	1,7	1,8	1,95	2,1	$p = 0,0247$
	G2	2,2	1,9	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	2,05	2,2	
	G3	2,2	1,9	1,9	1,8	1,8	1,8	1,8	1,9	2,05	2,2	

Vysvětlivky: G1 – 17.-27. týden gravidity; G2 – 28.-35. týden gravidity; G3 – 36.-38. týden gravidity; NW – normální (ideální) hmotnost; BMI – *body mass index* (index tělesné hmotnosti)

Tabulka č. 3: Základní charakteristika studované skupiny – data měnící se v čase

Těhotná žena - iniciály		BB	FD	HP	HK	KK	Minimum	Percentil 25%	Medián	Percentil 75%	Maximum	Friedmanův test
FM (Raaij) [kg]	G1	37,68	24,61	32,36	14,38	22,97	14,38	18,68	24,61	35,02	37,68	$p = 0,0239$
	G2	36,25	31,09	32	18,14	24,5	18,14	21,32	31,09	34,14	36,25	
	G3	50,24	36	32,7	20,32	29,42	20,32	24,87	32,7	43,12	50,24	
FFM (Raaij) [kg]	G1	65,52	48,69	47,14	49,97	46,43	46,43	46,79	48,69	57,75	65,52	$p = 0,6914$
	G2	71,55	47,76	49,7	50,26	48,95	47,76	48,36	49,7	60,91	71,55	
	G3	64,46	48,35	53,2	49,53	48,28	48,28	48,32	49,53	58,83	64,46	
FM from TBW (Raaij) [kg]	G1	43,27	27,8	32,02	19,53	24,03	19,53	21,78	27,8	37,65	43,27	$p = 0,0085$
	G2	45,35	33,06	33,92	23,02	24,01	23,02	23,52	33,06	39,64	45,35	
	G3	47,94	36,76	36,73	24,38	25,61	24,38	25	36,73	42,35	47,94	

Vysvětlivky: G1 – 17.-27. týden gravidity; G2 – 28.-35. týden gravidity; G3 – 36.-38. týden gravidity; FM – *fat mass* (tuková hmota), FFM – *fat free mass* (netučná hmota); TBW – *total body water* (celková tělesná voda)

Z tabulek č. 2-3 je patrné, že byly zaznamenány nárůsty mediánů téměř u všech parametrů. Tyto změny v rámci tří sledovaných období byly Friedmanovým testem vyhodnoceny jako statisticky významné. Jediný parametr, jehož hodnoty nevykázaly statisticky významné odlišnosti, byl FFM vypočítaný dle predikční rovnice Joop M.A. van Raaije.

7.2 Výsledky

V následujících tabulkách jsou uvedeny souhrnné výsledky měření kompozice těla dvěma různými metodami a jejich porovnání. V tabulkách č. 4 a 5 je přehled výsledků měření metodou duální bioimpedance. Tabulky č. 6-10 obsahují souhrnné výsledky měření metodou bioimpedanční spektroskopie doplněné o tělesnou hmotnost v tabulce č. 6, a následuje porovnání těchto dvou metod měření Wilcoxonovým testem a Spearmanovou korelací v tabulkách č. 11-13. Porovnání metod Bland-Altmanovým testem zahrnuje grafy č. 1-9 a souhrnné tabulky č. 14 a 15.

V tabulce č. 16 je porovnání vybraných parametrů získaných měřeními s parametry vypočítanými dle predikčních rovnic Joop M.A. van Raaije. Porovnání zahrnuje Wilcoxonův test a Spearmanovu korelaci.

Tabulka č. 4: Výsledky měření metodou duální bioimpedance

Těhotná žena - iniciály		BB	FD	HP	HK	KK	Minimum	Percentil 25%	Medián	Percentil 75%	Maximum	Friedmanův test
Hmotnost [kg]	G1	103,2	73,3	79,5	64,4	69,4	64,4	66,9	73,3	91,35	103,2	p = 0,0008
	G2	107,8	78,9	81,7	68,4	73,5	68,4	70,95	78,9	94,75	107,8	
	G3	114,7	84,4	85,9	69,9	77,7	69,9	73,8	84,4	100,3	114,7	
Tělesný tuk [kg]	G1	43,8	26,2	29,9	18	20	18	19	26,2	36,85	43,8	p = 0,0008
	G2	46,9	28,6	30,9	20,9	22,9	20,9	21,9	28,6	38,9	46,9	
	G3	52,1	34	33,8	21,7	26,5	21,7	24,1	33,8	43,05	52,1	
Tělesný tuk [%]	G1	42,4	35,8	37,6	28	28,8	28	28,4	35,8	40	42,4	p = 0,0008
	G2	43,5	36,3	37,8	30,5	31,2	30,5	30,85	36,3	40,65	43,5	
	G3	45,4	40,3	39,4	31	34,1	31	32,55	39,4	42,85	45,4	
Viscerální tuk [%]	G1	8	5,5	7,5	2,5	3,5	2,5	3	5,5	7,75	8	p = 0,0031
	G2	9	6	7,5	3,5	4,5	3,5	4	6	8,25	9	
	G3	10	7,5	8,5	3,5	5,5	3,5	4,5	7,5	9,25	10	
Obsah vody v těle [kg]	G1	43,4	33	34,4	32,5	32,9	32,5	32,7	33	38,9	43,4	p = 0,0008
	G2	45,3	33,2	34,6	32,9	35,9	32,9	33,05	34,6	40,6	45,3	
	G3	48,4	34,5	35,6	33	37,8	33	33,75	35,6	43,1	48,4	
Obsah vody v těle [%]	G1	42,1	45	43,3	50,5	47,4	42,1	42,7	45	48,95	50,5	p = 0,5216
	G2	42	42,1	42,4	48,1	48,8	42	42,05	42,4	48,45	48,8	
	G3	42,2	40,9	41,5	47,2	48,6	40,9	41,2	42,2	47,9	48,6	

Vysvětlivky: G1 – 17.-27. týden gravidity; G2 – 28.-35. týden gravidity; G3 – 36.-38. týden gravidity

Tabulka č. 5: Výsledky měření metodou duální bioimpedance

Těhotná žena - iniciály		BB	FD	HP	HK	KK	Minimum	Percentil 25%	Medián	Percentil 75%	Maximum	Friedmanův test
Hmotnost FFM [kg]	G1	56,45	44,7	47,15	44	46,95	44	44,35	46,95	51,8	56,45	p = 0,0008
	G2	57,85	47,56	48,25	45,15	48	45,15	46,355	48	53,05	57,85	
	G3	59,5	47,8	49,4	45,75	51,5	45,75	46,775	49,4	55,5	59,5	
Hmotnost FFM [%]	G1	54,7	60,98	59,31	68,32	67,65	54,7	57,01	60,98	67,99	68,32	p = 0,0085
	G2	53,66	60,28	59,06	66,01	65,31	53,66	56,36	60,28	65,66	66,01	
	G3	51,87	56,64	57,51	65,45	66,28	51,87	54,26	57,51	65,87	66,28	
Minerální látky [kg]	G1	3	2,4	2,5	2,4	9,5	2,4	2,4	2,5	6,25	9,5	p = 0,3704
	G2	3,1	2,5	2,6	2,4	2,6	2,4	2,45	2,6	2,85	3,1	
	G3	3,2	2,6	2,6	2,4	2,6	2,4	2,5	2,6	2,9	3,2	
Basální metabolismus [kcal]	G1	1880	1439	1518	1396	1484	1396	1417,5	1484	1699	1880	p = 0,0008
	G2	1932	1531	1554	1438	1525	1438	1481,5	1531	1743	1932	
	G3	2002	1555	1597	1455	1554	1455	1504,5	1555	1799,5	2002	
Odhadovaný metabolický věk [rok]	G1	38	49	51	28	31	28	29,5	38	50	51	p = 0,0556
	G2	38	50	51	34	37	34	35,5	38	50,5	51	
	G3	38	50	51	36	45	36	37	45	50,5	50	
Výkonnostní rating	G1	3	2	3	5	6	2	2,5	3	5,5	6	p > 0,9999
	G2	3	3	3	5	6	3	3	3	5,5	6	
	G3	3	3	3	5	3	3	3	3	4	5	

Vysvětlivky: G1 – 17.-27. týden gravidity; G2 – 28.-35. týden gravidity; G3 – 36.-38. týden gravidity; FFM – *fat free mass* (netučná hmota)

Tabulka 6: Výsledky měření metodou bioimpedanční spektroskopie

Těhotná žena - iniciály		BB	FD	HP	HK	KK	Minimum	Percentil 25%	Medián	Percentil 75%	Maximum	Friedmanův test
Hmotnost [kg]	G1	103,2	73,3	79,5	64,4	69,4	64,4	66,9	73,3	91,35	103,2	$p = 0,0008$
	G2	107,8	78,9	81,7	68,4	73,5	68,4	70,95	78,9	94,75	107,8	
	G3	114,7	84,4	85,9	69,9	77,7	69,9	73,8	84,4	100,3	114,7	
BMI [kg/m ²]	G1	36,1	26,9	32,3	22,3	26,1	22,3	24,2	26,9	34,2	36,1	$p = 0,0008$
	G2	37,7	29	33,1	23,7	28	23,7	25,85	29	35,4	37,7	
	G3	40,2	31	34,8	24,2	29,2	24,2	26,7	31	37,5	40,2	
OH [l]	G1	0,2	0	0,5	1,3	0	0	0	0,2	0,9	1,3	$p = 0,8009$
	G2	0,5	-0,5	-0,1	0,7	0,9	-0,5	-0,3	0,5	0,8	0,9	
	G3	0,9	-0,1	-0,3	0,7	2,1	-0,3	-0,2	0,7	1,5	2,1	
OH class	G1	0	0	0	1	0	0	0	0	0,5	1	$p > 0,9999$
	G2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	G3	0	0	0	0	1	0	0	0	0,5	1	

Vysvětlivky: G1 – 17.-27. týden gravidity; G2 – 28.-35. týden gravidity; G3 – 36.-38. týden gravidity; BMI – *body mass index* (index tělesné hmotnosti); OH – *overhydration* (převodnění – nadbytek extracelulární vody); OH class – klasifikace převodnění (+1 – nadbytek, 0 – normální, -1 – dehydratace)

Tabulka č. 7: Výsledky měření metodou bioimpedanční spektroskopie

Těhotná žena - iniciály		BB	FD	HP	HK	KK	Minimum	Percentil 25%	Medián	Percentil 75%	Maximum	Friedmanův test
TBW [l]	G1	42,2	30,1	33,7	31,1	34,2	30,1	30,6	33,7	38,2	42,2	p = 0,0085
	G2	43,7	30,9	33,1	31,8	36,8	31,8	31,35	33,1	40,25	43,7	
	G3	46,1	32,2	36,4	32,9	38,7	32,2	32,55	36,4	42,4	46,1	
rel TBW [%]	G1	40,9	41,1	42,4	48,3	49,3	40,9	41	42,4	48,8	49,3	p = 0,4645
	G2	40,5	39,2	40,5	46,5	50,1	39,2	39,85	40,5	48,3	50,1	
	G3	40,2	38,2	42,4	47,1	49,8	38,2	39,2	42,4	48,45	49,8	
ECW [l]	G1	20	14,2	16,1	14,6	15,1	14,2	14,4	15,1	18,05	20	p = 0,0085
	G2	20,9	14,5	15,6	14,8	16,9	14,5	14,65	15,6	18,9	20,9	
	G3	22,3	15,6	16,8	15,2	18,4	15,2	15,4	16,8	20,35	22,3	
ICW [l]	G1	22,3	15,9	17,7	16,5	19,1	15,9	16,2	17,7	20,7	22,3	p = 0,0085
	G2	22,8	16,4	17,5	17,1	20	16,4	16,75	17,5	21,4	22,8	
	G3	23,8	16,6	19,6	17,6	20,3	16,6	17,1	19,6	22,05	23,8	

Vysvětlivky: G1 – 17.-27. týden gravidity; G2 – 28.-35. týden gravidity; G3 – 36.-38. týden gravidity; TBW – *total body water* (celková tělesná voda); rel TBW – procentuální zastoupení celkové tělesné vody; ECW – *extracellular water* (extracelulární voda); ICW – *intracellular water* (intracelulární voda)

Tabulka č. 8: Výsledky měření metodou bioimpedanční spektroskopie

Těhotná žena - iniciály		BB	FD	HP	HK	KK	Minimum	Percentil 25%	Medián	Percentil 75%	Maximum	Friedmanův test
E/I	G1	0,9	0,9	0,91	0,89	0,79	0,79	0,84	0,9	0,905	0,91	$p = 0,9537$
	G2	0,92	0,89	0,89	0,87	0,84	0,84	0,855	0,89	0,905	0,92	
	G3	0,94	0,94	0,86	0,86	0,9	0,86	0,86	0,9	0,94	0,94	
E/I class	G1	1	1	1	1	0	0	0,5	1	1	1	$p > 0,9999$
	G2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	G3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
LTI [kg/m ²]	G1	14,3	10,7	13,4	11,5	14,8	10,7	11,1	13,4	14,55	14,8	$p = 0,2284$
	G2	14,5	10,7	12,9	11,7	15,5	10,7	11,2	12,9	15	15,5	
	G3	15	10,5	15	12,2	15,7	10,5	11,35	15	15,35	15,7	
FTI [kg/m ²]	G1	21,8	16,2	18,6	10,3	11,3	10,3	10,8	16,2	20,2	21,8	$p = 0,0077$
	G2	23,2	18,5	20,3	11,7	12,2	11,7	11,95	18,5	21,75	23,2	
	G3	25	20,5	20	11,7	12,8	11,7	12,25	20	22,75	25	

Vysvětlivky: G1 – 17.-27. týden gravidity; G2 – 28.-35. týden gravidity; G3 – 36.-38. týden gravidity; E/I – poměr ECW/ICW; E/I class – klasifikace poměru ECW/ICW (+1 – nadbytek ECW, 0 – normální, -1 – nadbytek ICW); LTI – index netučné tkáně; FTI – index tukové hmoty

Tabulka č. 9: Výsledky měření metodou bioimpedanční spektroskopie

Těhotná žena - iniciály		BB	FD	HP	HK	KK	Minimum	Percentil 25%	Medián	Percentil 75%	Maximum	Friedmanův test
LTM [kg]	G1	40,8	29,2	33	33,3	39,4	29,2	31,1	33,3	40,1	40,8	$p = 0,2284$
	G2	41,3	29,2	31,9	33,9	41,1	29,2	30,55	33,9	41,2	41,3	
	G3	42,8	28,7	36,9	35,3	41,7	28,7	32	36,9	42,25	42,8	
rel LTM [%]	G1	39,6	39,8	41,6	51,7	56,7	39,6	39,7	41,6	54,2	56,7	$p = 0,1242$
	G2	38,3	37	39	49,6	55,2	37	37,65	39	52,4	55,2	
	G3	37,3	34	42,9	50,4	53,6	34	35,65	42,9	52	53,6	
Fat [kg]	G1	45,9	32,4	33,7	22	22,1	22	22,05	32,4	39,8	45,9	$p = 0,0085$
	G2	48,7	37	36,7	24,9	23,9	23,9	24,4	36,7	42,85	48,7	
	G3	52,4	41	36,2	25	25	25	25	36,2	46,7	52,4	
rel Fat [%]	G1	44,4	44,2	42,4	34,1	31,9	31,9	33	42,4	44,3	44,4	$p = 0,0849$
	G2	45,2	46,9	44,9	36,4	32,1	32,1	34,25	44,9	46,05	46,9	
	G3	45,7	48,6	42,2	35,7	32,1	32,1	33,9	42,2	47,15	48,6	

Vysvětlivky: G1 – 17.-27. týden gravidity; G2 – 28.-35. týden gravidity; G3 – 36.-38. týden gravidity; LTM – *lean tissue mass* (netučná tkáň); rel LTM – procentuální zastoupení netučné tkáně; Fat – tuk; rel Fat – procentuální zastoupení tuku

Tabulka č. 10: Výsledky měření metodou bioimpedanční spektroskopie

Těhotná žena - iniciály		BB	FD	HP	HK	KK	Minimum	Percentil 25%	Medián	Percentil 75%	Maximum	Friedmanův test
ATM [kg]	G1	62,4	44,1	45,9	29,9	30,1	29,9	30	44,1	54,15	62,4	$p = 0,0077$
	G2	66,2	50,3	50	33,9	32,5	32,5	33,2	50	58,25	66,2	
	G3	71,3	55,8	49,3	33,9	34	34	33,95	49,3	63,55	71,3	
BCM [kg]	G1	22,8	14,9	18,4	17,3	22,4	14,9	16,1	18,4	22,6	22,8	$p = 0,3673$
	G2	23,2	14,8	17,5	17,7	23,6	14,8	16,15	17,7	23,4	23,6	
	G3	24,2	14,5	21,1	18,7	24	14,5	16,6	21,1	24,1	24,2	

Vysvětlivky: G1 – 17.-27. týden gravidity; G2 – 28.-35. týden gravidity; G3 – 36.-38. týden gravidity; ATM – *adipose tissue mass* (tuková tkáň), BCM – *body cell mass* – buněčná hmota s metabolickou aktivitou

Z tabulek č. 4 a 5 je patrné, že se v průběhu těhotenství kromě tělesné hmotnosti žen statisticky významně měnily i parametry, jako jsou celkový tělesný tuk a viscerální tuk. Jejich mediány se vyznačily jasně stoupajícím trendem. Hodnoty obsahu vody v těle vyhodnocené v hmotnostních jednotkách vykazaly též statisticky významnou změnu, přičemž mediány tohoto parametru, stejně jako v předchozím případě, vykazaly narůstající trend. Jinak tomu bylo u obsahu vody v těle vyhodnoceném v procentech, kdy Friedmanův test statisticky významnou změnu neprokázal. U netučné hmoty byla statisticky významná změna prokázána v hmotnostních jednotkách i v procentech. V případě hmotnostních jednotek medián průběžně narůstal, u procentuálních jednotek medián naopak průběžně klesal.

Z výsledků shrnutých v tabulkách č. 6-10 je zřejmé, že statisticky významné změny byly nalezeny u hodnot BMI, celkové tělesné vody (vyhodnocené v hmotnostních jednotkách), extracelulární i intracelulární vody, indexu tukové hmoty, tuku (vyhodnoceném v hmotnostních jednotkách) a tukové tkáně. Mediány hodnot BMI se vyznačily narůstajícím trendem. Stejně tak tomu bylo i u parametru extracelulární vody a parametru převodnění, u kterého ale statisticky významná změna nebyla prokázána. Mediány celkové tělesné a intracelulární vody zaznamenaly mírný pokles v období G2.

K porovnání metody měření duální bioimpedancí s metodou měření bioimpedanční spektroskopii byly zvoleny tři parametry, respektive tři dvojice „shodných“ parametrů. Tělesný tuk (BIA) a *fat* (tuk, BIS), obsah vody v těle (BIA) a TBW – *total body water* (celková tělesná voda, BIS), FFM – *fat free mass* (netučná hmota, BIA) a LTM – *lean tissue mass* (netučná tkáň, BIS). Poslední z dvojic není zcela zaměnitelná, obsahem a definicí si přesně neodpovídají. Tato skutečnost je znázorněna v obrázku č. 2. Aby bylo možné tyto dva parametry porovnat, bylo nutné je vzájemně co nejvíce přiblížit. Toho bylo dosaženo tak, že k FFM bylo přičteno množství minerálních látek, k LTM byla přičtena hodnota OH (převodnění) a množství vody obsažené v tukové tkáni, která byla přibližně získána odečtením hodnoty tuku od hodnoty tukové tkáně.

Tabulka č. 11: Porovnání měření BIA a BIS v období mezi 17.-27. týdnem gravidity

	Minimum	Percentil 25%	Medián	Percentil 75%	Maximum	Wilcoxonův test	Spearmanova korelace
G1	BIA - Tělesný tuk [kg]	18	19	26,2	36,85	$p = 0,0625$	$r = 1$
	BIS - Fat [kg]	22	22,05	32,4	39,8		$p = 0,0167$
	BIA - Tělesný tuk [%]	28	28,4	35,8	40	$p = 0,0625$	$r = 0,8$
	BIS - Fat [%]	31,9	33	42,4	44,3		$p = 0,1333$
	BIA - Obsah vody v těle [kg]	32,5	32,7	33	38,9	$p = 0,3125$	$r = 0,5$
	BIS - TBW [kg]	30,1	30,6	33,7	38,2		$p = 0,45$
	BIA - Obsah vody v těle [%]	42,1	42,7	45	48,95	$p = 0,3125$	$r = 0,8$
	BIS - TBW [%]	40,9	41	42,4	48,8		$p = 0,1333$
	BIA - FFM + MNL [kg]	46,4	46,75	49,65	57,95	$p = 0,0625$	$r = 0,9$
	BIS - LTM + (ATM-Fat) + OH [kg]	40,9	41,7	45,7	52,45		$p = 0,0833$
	BIA - FFM + MNL [%]	57,61	60,03	64,26	76,7	$p = 0,0625$	$r = 0,9$
	BIS - LTM + (ATM-Fat) + OH [%]	55,72	55,76	57,48	67,15		$p = 0,0833$

Vysvětlivky: G1 – 17.-27. týden gravidity; BIA – bioelektrická impedanční analýza (duální bioimpedance); BIS – bioimpedanční spektroskopie; Fat – tuk; TBW – *total body water* (celková tělesná voda); FFM – *fat free mass* (netučná hmota); MNL – minerální látky; LTM – *lean tissue mass* (netučná tkáň); ATM – *adipose tissue mass* (tuková tkáň); OH – *overhydration* (převodnění, nadbytek extracelulární vody)

Tabulka č. 12: Porovnání měření BIA a BIS v období mezi 28.-35. týdnem gravidity

		Minimum	Percentil 25%	Medián	Percentil 75%	Maximum	Wilcoxonův test	Spearmanova korelace
G2	BIA - Tělesný tuk [kg]	20,9	21,9	28,6	38,9	46,9	$p = 0,0625$	$r = 0,8$
	BIS - Fat [kg]	23,9	24,4	36,7	42,85	48,7		$p = 0,1333$
	BIA - Tělesný tuk [%]	30,5	30,85	36,3	40,65	43,5	$p = 0,0625$	$r = 0,6$
	BIS - Fat [%]	32,1	34,25	44,9	46,05	46,9		$p = 0,35$
	BIA - Obsah vody v těle [kg]	32,9	33,05	34,6	40,6	45,3	$p = 0,1250$	$r = 0,9$
	BIS - TBW [kg]	30,9	31,35	33,1	40,25	43,7		$p = 0,0833$
	BIA - Obsah vody v těle [%]	42	42,05	42,4	48,45	48,8	$p = 0,1250$	$r = 0,8208$
	BIS - TBW [%]	39,2	39,85	40,5	48,3	50,1		$p = 0,1333$
	BIA - FFM + MNL [kg]	47,55	48,81	50,6	55,9	60,95	$p = 0,1250$	$r = 0,8$
	BIS - LTM + (ATM-Fat) + OH [kg]	42	42,8	45,1	54,95	59,3		$p = 0,1333$
	BIA - FFM + MNL [%]	56,54	59,39	63,45	69,18	69,52	$p = 0,1250$	$r = 0,6$
	BIS - LTM + (ATM-Fat) + OH [%]	53,23	54,12	55,2	66,29	68,84		$p = 0,35$

Vysvětlivky: G2 – 28.-35. týden gravidity; BIA – bioelektrická impedanční analýza (duální bioimpedance); BIS – bioimpedanční spektroskopie; Fat – tuk; TBW – *total body water* (celková tělesná voda); FFM – *fat free mass* (netučná hmota); MNL – minerální látky; LTM – *lean tissue mass* (netučná tkáň); ATM – *adipose tissue mass* (tuková tkáň); OH – *overhydration* (převodnění, nadbytek extracelulární vody)

Tabulka č. 13: Porovnání měření BIA a BIS v období mezi 36.-38. týdnem gravidity

		Minimum	Percentil 25%	Medián	Percentil 75%	Maximum	Wilcoxonův test	Spearmanova korelace
G3	BIA - Tělesný tuk [kg]	21,7	24,1	33,8	43,05	52,1	$p = 0,1875$	$r = 0,9747$
	BIS - Fat [kg]	25	25	36,2	46,7	52,4		$p = 0,0333$
	BIA - Tělesný tuk [%]	31	32,55	39,4	42,85	45,4	$p = 0,1875$	$r = 0,8$
	BIS - Fat [%]	32,1	33,9	42,2	47,15	48,6		$p = 0,1333$
	BIA - Obsah vody v těle [kg]	33	33,75	35,6	43,1	48,4	$p = 0,5625$	$r = 0,9$
	BIS - TBW [kg]	32,2	32,55	36,4	42,4	46,1		$p = 0,0833$
	BIA - Obsah vody v těle [%]	40,9	41,2	42,2	47,9	48,6	$p = 0,6250$	$r = 0,9$
	BIS - TBW [%]	38,2	39,2	42,4	48,45	49,8		$p = 0,0833$
	BIA - FFM + MNL [kg]	48,15	49,28	52	58,4	62,7	$p = 0,0625$	$r = 0,9$
	BIS - LTM + (ATM-Fat) + OH [kg]	43,4	44,15	49,7	57,7	62,6		$p = 0,0833$
	BIA - FFM + MNL [%]	54,66	57,19	60,54	69,26	69,63	$p = 0,0625$	$r = 0,9$
	BIS - LTM + (ATM-Fat) + OH [%]	51,42	53	57,86	66,09	67,95		$p = 0,0833$

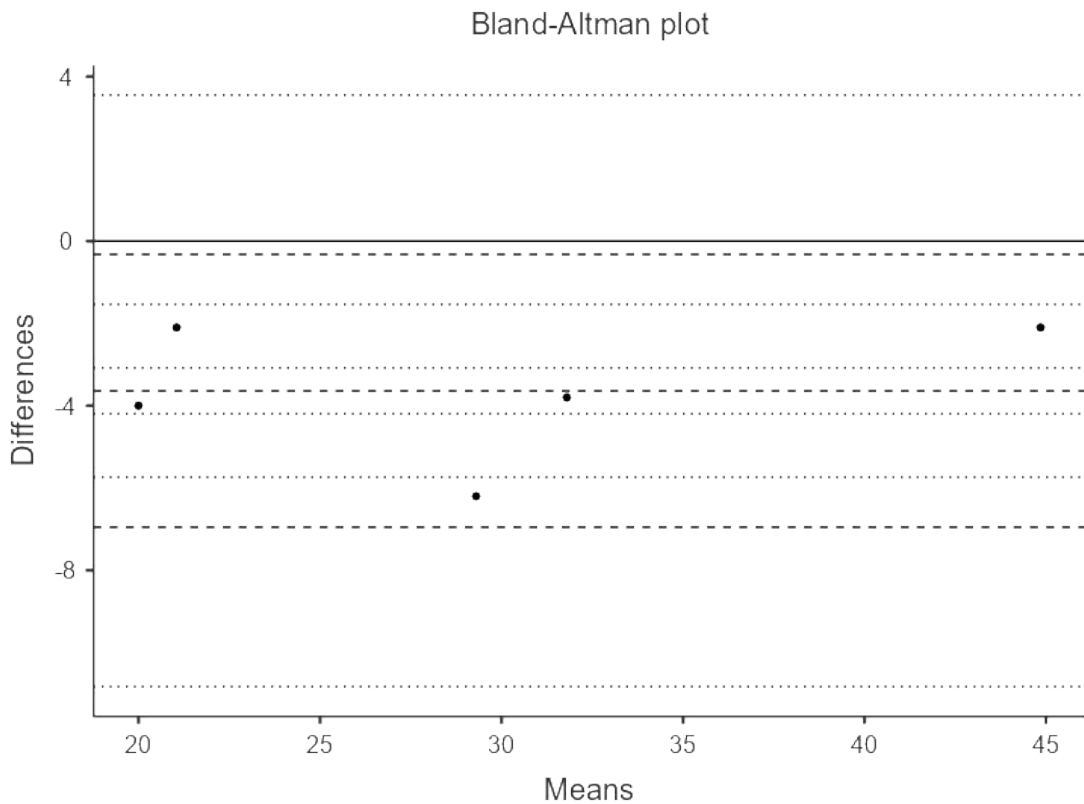
Vysvětlivky: G3 – 36.-38. týden gravidity; BIA – bioelektrická impedanční analýza (duální bioimpedance); BIS – bioimpedanční spektroskopie; Fat – tuk; TBW – *total body water* (celková tělesná voda); FFM – *fat free mass* (netučná hmota); MNL – minerální látky; LTM – *lean tissue mass* (netučná tkáň); ATM – *adipose tissue mass* (tuková tkáň); OH – *overhydration* (převodnění, nadbytek extracelulární vody)

Výsledky porovnání jednotlivých parametrů za období 17.-27. gravidity shrnuté v tabulce č. 11 jednoznačně ukazují, že mezi měřeními BIA a BIS v tomto období nebyla Wilcoxonovým testem prokázána statisticky významná odlišnost. Dále byla nalezena jediná statisticky významná korelace, a to při měření celkového tělesného tuku [kg], kdy byl korelační koeficient $r = 1$. Všechny ostatní dvojice parametrů zaznamenaly velmi silné korelace (až na jednu středně silnou), nicméně nebyly shledány jako statisticky významné.

Z výsledků porovnání měření BIA a BIS za sledované období mezi 28.-35. gravidity v tabulce č. 12 vyplývá, že stejně jako v předešlém období Wilcoxonovým testem nebyla prokázána statisticky významná odlišnost u žádné z dvojic porovnávaných parametrů. Vyhodnocené korelace byly velmi silné nebo středně silné, ale žádná z nich nebyla shledána statisticky významnou.

Z tabulky č. 13 je zřejmé, že ani ve sledovaném období mezi 36.-38. týdnem gravidity nebyla Wilcoxonovým testem prokázána statisticky významná odlišnost mezi měřeními BIA a BIS. Stejně jako v prvním sledovaném období byla nalezena jedna statisticky významná korelace. Metody BIA a BIS velmi silně korelovaly při analýze celkového tělesného tuku [kg]. Ostatní korelace byly též vyhodnoceny jako velmi silné, ale nebyly shledány jako statisticky významné.

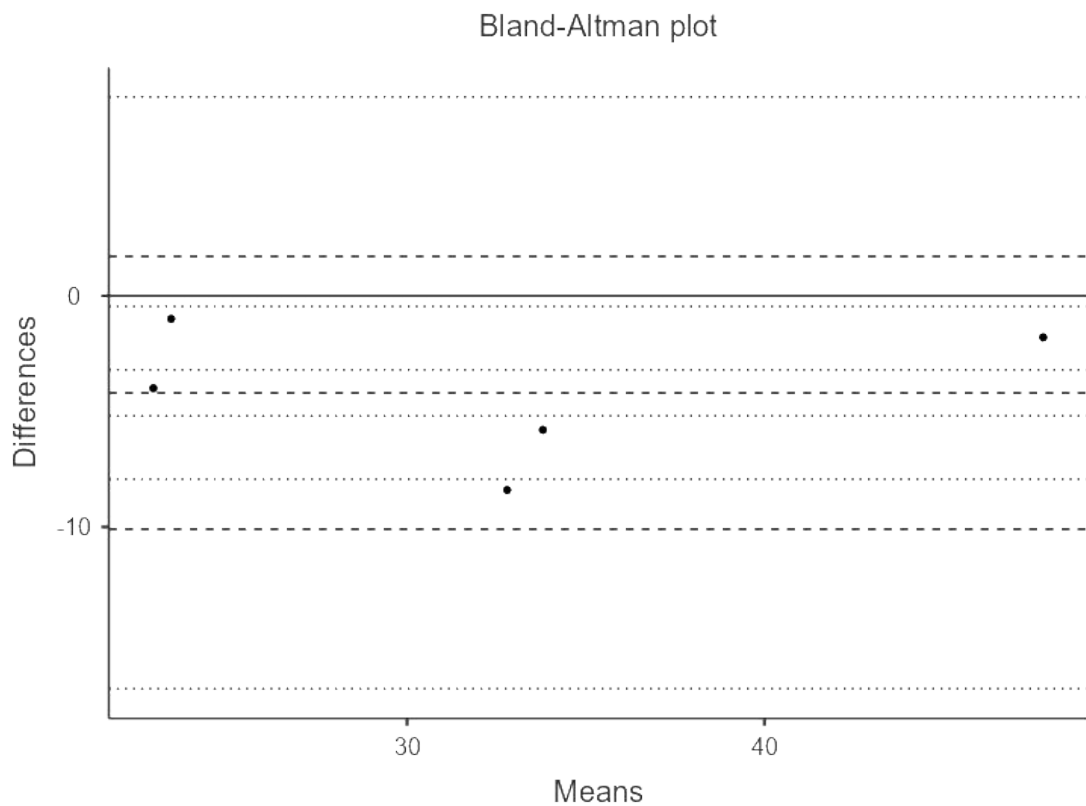
Graf č. 1: Bland-Altmanův graf – rozdíly měření tělesného tuku [kg] BIA-BIS v období G1



Vysvětlivky: *Differences* – rozdíly; *Means* – průměry; G1 – 17.-27. týden gravidity; BIA – bioelektrická impedanční analýza (duální bioimpedance); BIS – bioimpedanční spektroskopie

Průměrný rozdíl mezi měřeními tělesného tuku [kg] metodou BIA a BIS v období mezi 17.27. týdnem gravidity je -3,64. 95% interval spolehlivosti (IS) je -5,74 až -1,54 – interval neobsahuje nulu – tedy odchylky mezi měřeními jsou vychýlené. Bland-Altmanův test v tomto období potvrdil, že se měření statisticky liší: $p = 0,009$.

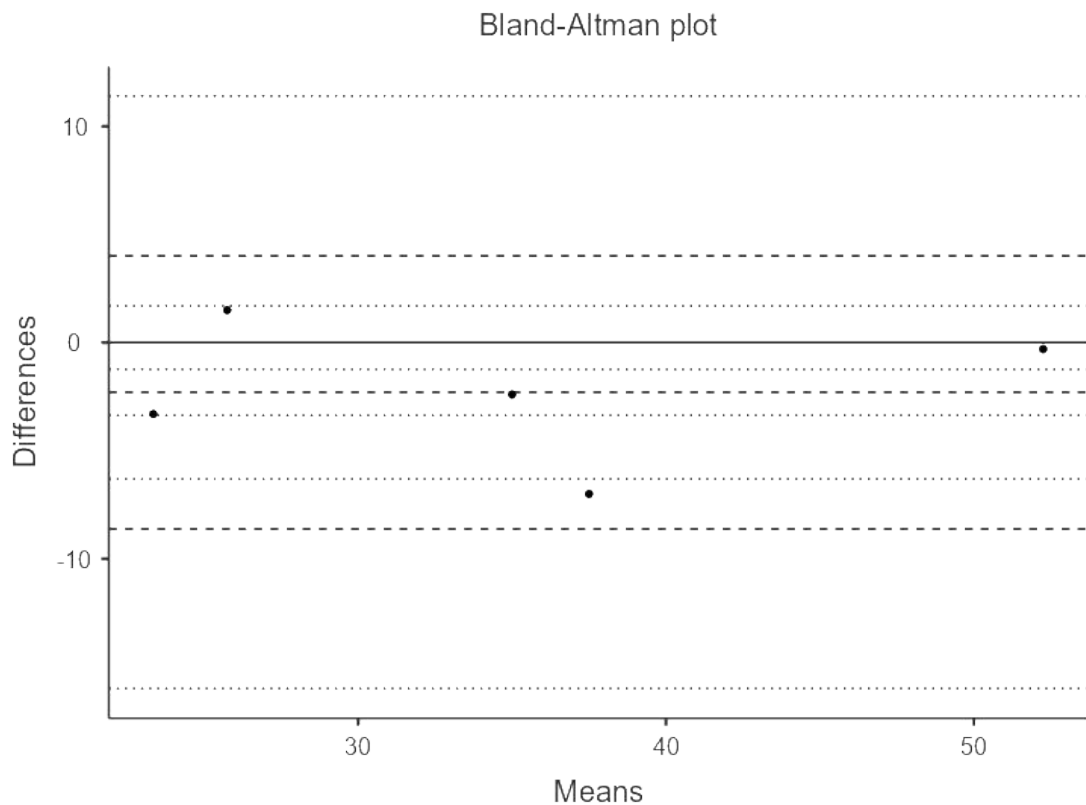
Graf č. 2: Bland-Altmanův graf – rozdíly měření tělesného tuku [kg] BIA-BIS v období G2



Vysvětlivky: *Differences* – rozdíly; *Means* – průměry; G2 – 28.-35. týden gravidity; BIA – bioelektrická impedanční analýza (duální bioimpedance); BIS – bioimpedanční spektroskopie

Průměrný rozdíl mezi měřeními tělesného tuku [kg] metodou BIA a BIS v období mezi 28.-35. týdnem gravidity je -4,20. 95% interval spolehlivosti (IS) je -7,94 až -0,463 – interval neobsahuje nulu – tedy odchylky mezi měřeními jsou vychýlené. Bland-Altmanův test v tomto období potvrdil, že se měření statisticky liší: $p = 0,04$.

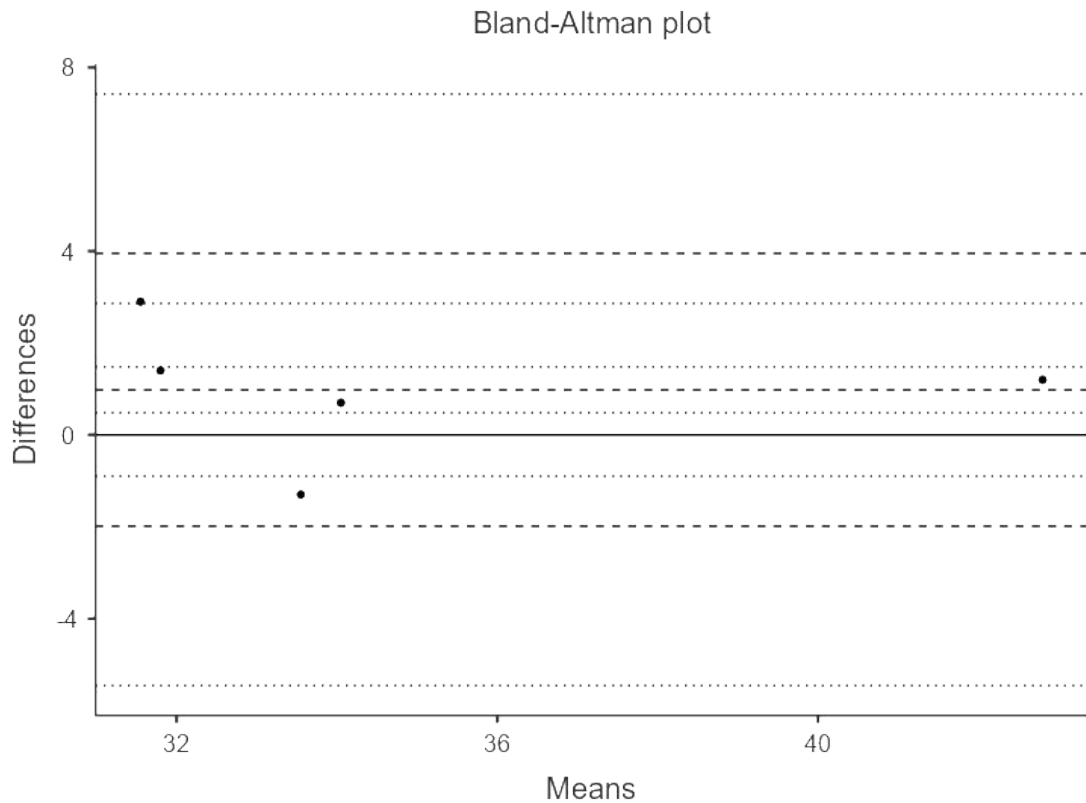
Graf č. 3: Bland-Altmanův graf – rozdíly měření tělesného tuku [kg] BIA-BIS v období G3



Vysvětlivky: *Differences* – rozdíly; *Means* – průměry; G3 – 36.-38. týden gravidity; BIA – bioelektrická impedanční analýza (duální bioimpedance); BIS – bioimpedanční spektroskopie

Průměrný rozdíl mezi měřeními tělesného tuku [kg] metodou BIA a BIS v období mezi 36.-38. týdnem gravidity je -2,30. 95% interval spolehlivosti (IS) je -6,30 až 1,70 – interval obsahuje nulu – tedy odchylky mezi měřeními nejsou vychýlené. Bland-Altmanův test v tomto období potvrdil, že se měření statisticky neliší: $p = 0,2$.

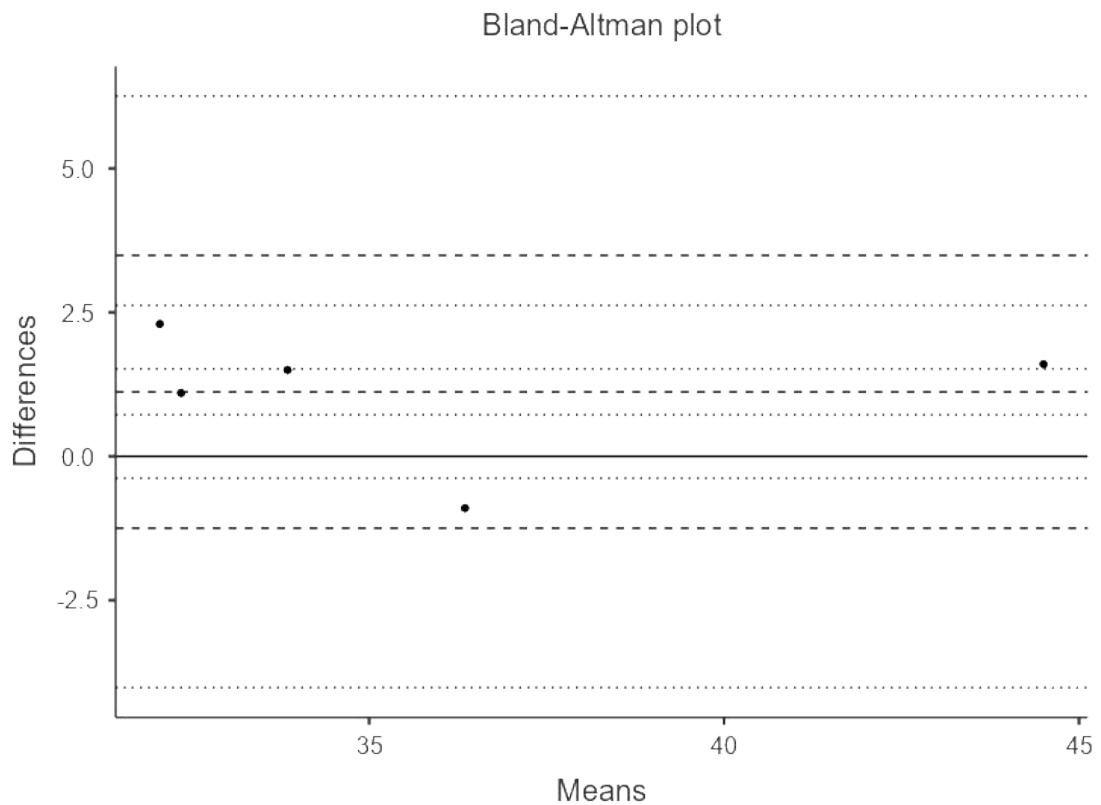
Graf č. 4: Bland-Altmanův graf – rozdíly měření tělesné vody [kg] BIA-BIS v období G1



Vysvětlivky: *Differences* – rozdíly; *Means* – průměry; G1 – 17.-27. týden gravidity; BIA – bioelektrická impedanční analýza (duální bioimpedance); BIS – bioimpedanční spektroskopie

Průměrný rozdíl mezi měřeními tělesné vody [kg] metodou BIA a BIS v období mezi 17.-27. týdnem gravidity je 0,980. 95% interval spolehlivosti (IS) je -0,902 až 2,86 – interval obsahuje nulu – tedy odchylky mezi měřeními nejsou vychýlené. Bland-Altmanův test v tomto období potvrdil, že se měření statisticky neliší: $p = 0,2$.

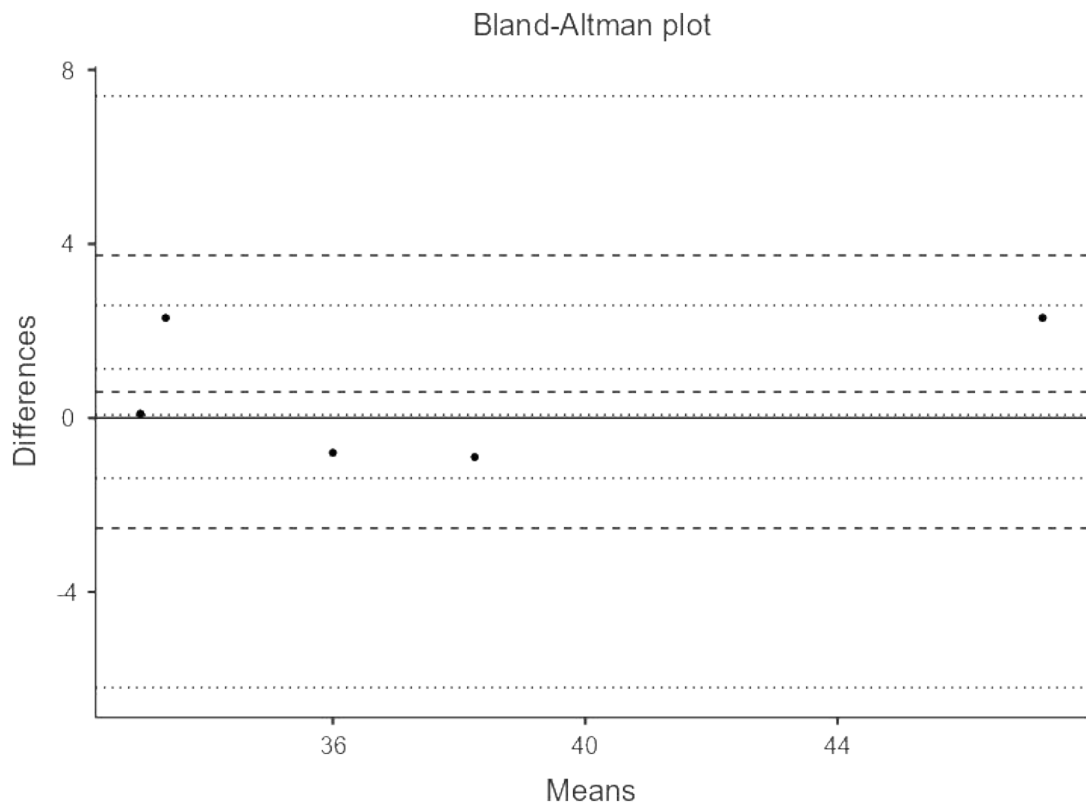
Graf č. 5: Bland-Altmanův graf – rozdíly měření tělesné vody [kg] BIA-BIS v období G2



Vysvětlivky: *Differences* – rozdíly; *Means* – průměry; G2 – 28.-35. týden gravidity; BIA – bioelektrická impedanční analýza (duální bioimpedance); BIS – bioimpedanční spektroskopie

Průměrný rozdíl mezi měřeními tělesné vody [kg] metodou BIA a BIS v období mezi 28.-35. týdnem gravidity je 1,12. 95% interval spolehlivosti (IS) je -0,381 až 2,62 – interval obsahuje nulu – tedy odchylky mezi měřeními nejsou vychýlené. Bland-Altmanův test v tomto období potvrdil, že se měření statisticky neliší: $p = 0,1$.

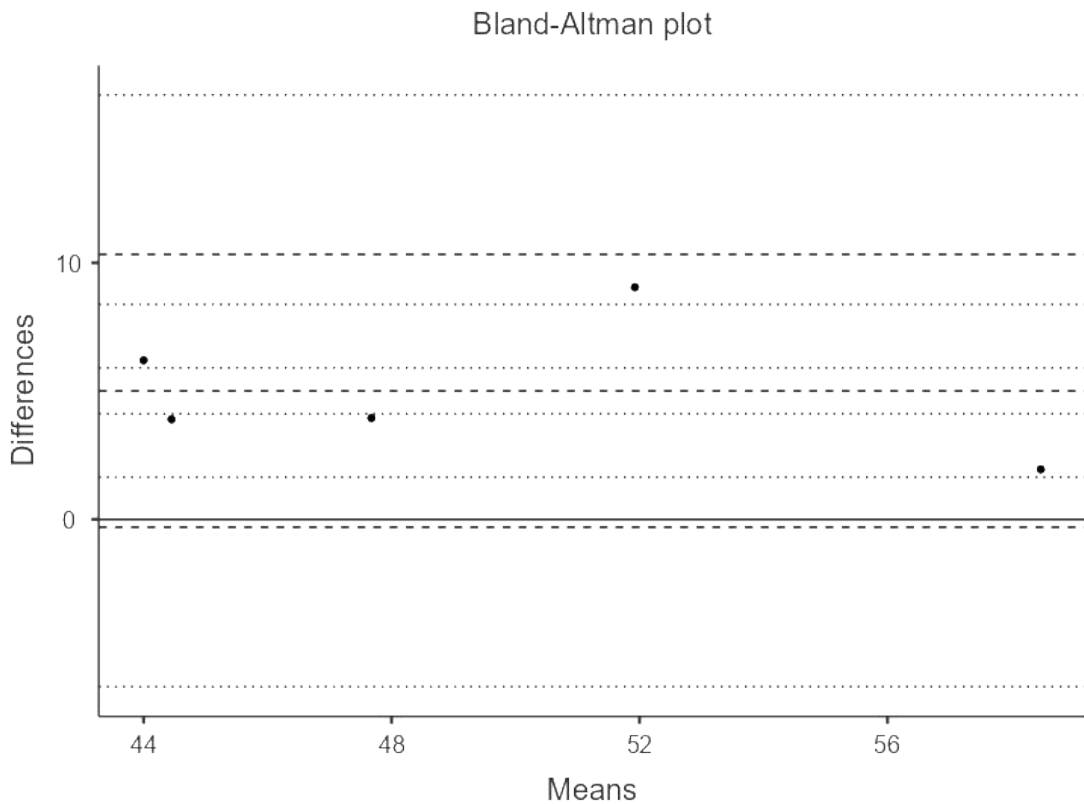
Graf č. 6: Bland-Altmanův graf – rozdíly měření tělesné vody [kg] BIA-BIS v období G3



Vysvětlivky: *Differences* – rozdíly; *Means* – průměry; G3 – 36.-38. týden gravidity; BIA – bioelektrická impedanční analýza (duální bioimpedance); BIS – bioimpedanční spektroskopie

Průměrný rozdíl mezi měřeními tělesné vody [kg] metodou BIA a BIS v období mezi 36.-38. týdnem gravidity je 0,600. 95% interval spolehlivosti (IS) je -1,37 až 2,59 – interval obsahuje nulu – tedy odchylky mezi měřeními nejsou vychýlené. Bland-Altmanův test v tomto období potvrdil, že se měření statisticky neliší: $p = 0,4$.

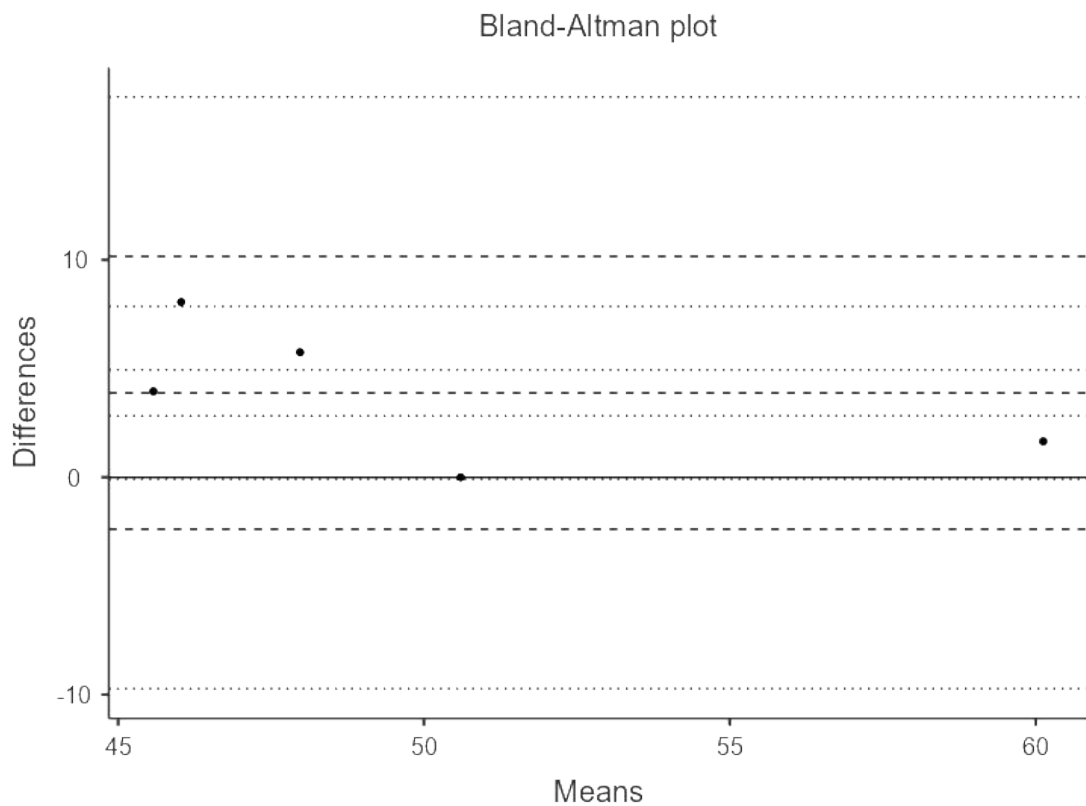
Graf č. 7: Bland-Altmanův graf – rozdíly měření netučné složky [kg] BIA-BIS v období G1



Vysvětlivky: *Differences* – rozdíly; *Means* – průměry; G1 – 17.-27. týden gravidity; BIA – bioelektrická impedanční analýza (duální bioimpedance); BIS – bioimpedanční spektroskopie

Průměrný rozdíl mezi měřeními netučné složky [kg] metodou BIA a BIS v období mezi 17.-27. týdnem gravidity je 5,01. 95% interval spolehlivosti (IS) je 1,64 až 8,38 – interval neobsahuje nulu – tedy odchylky mezi měřeními jsou vychýlené. Bland-Altmanův test v tomto období potvrdil, že se měření statisticky liší: $p = 0,01$.

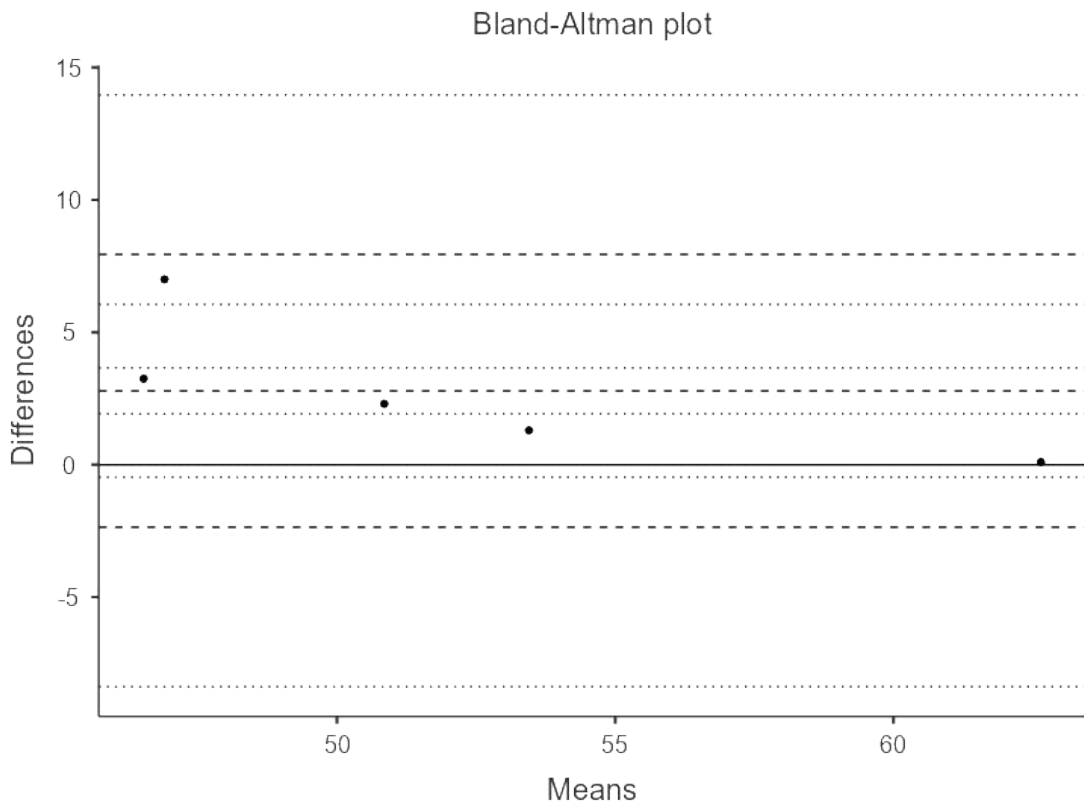
Graf č. 8: Bland-Altmanův graf – rozdíly měření netučné složky [kg] BIA-BIS v období G2



Vysvětlivky: *Differences* – rozdíly; *Means* – průměry; G2 – 28.-35. týden gravidity; BIA – bioelektrická impedanční analýza (duální bioimpedance); BIS – bioimpedanční spektroskopie

Průměrný rozdíl mezi měřeními netučné složky [kg] metodou BIA a BIS v období mezi 28.-35. týdnem gravidity je 3,88. 95% interval spolehlivosti (IS) je -0,093 až 7,86 – interval obsahuje nulu – tedy odchylky mezi měřeními nejsou vychýlené. Bland-Altmanův test v tomto období potvrdil, že se měření statisticky neliší: $p = 0,05$.

Graf č. 9: Bland-Altmanův graf – rozdíly měření netučné složky [kg] BIA-BIS v období G3



Vysvětlivky: *Differences* – rozdíly; *Means* – průměry; G3 – 36.-38. týden gravidity; BIA – bioelektrická impedanční analýza (duální bioimpedance); BIS – bioimpedanční spektroskopie

Průměrný rozdíl mezi měřeními netučné složky [kg] metodou BIA a BIS v období mezi 36.-38. týdnem gravidity je 2,79. 95% interval spolehlivosti (IS) je -0,473 až 6,05 – interval obsahuje nulu – tedy odchylky mezi měřeními nejsou vychýlené. Bland-Altmanův test v tomto období potvrdil, že se měření statisticky neliší: $p = 0,08$.

Tabulka č. 14: Shrnutí výsledků Bland-Altmanova testu v období G1 a G2

		Minimum	Percentil 25%	Medián	Percentil 75%	Maximum	Bland-Altmanův test
G1	BIA - Tělesný tuk [kg]	18	19	26,2	36,85	43,8	$p = 0,009$
	BIS - Fat [kg]	22	22,05	32,4	39,8	45,9	
	BIA - Obsah vody v těle [kg]	32,5	32,7	33	38,9	43,4	$p = 0,2$
	BIS - TBW [kg]	30,1	30,6	33,7	38,2	42,2	
	BIA - Netučná složka (FFM + MNL [kg])	46,4	46,75	49,65	57,95	59,45	$p = 0,01$
	BIS - Netučná složka (LTM + (ATM-Fat) + OH [kg])	40,9	41,7	45,7	52,45	57,5	
G2	BIA - Tělesný tuk [kg]	20,9	21,9	28,6	38,9	46,9	$p = 0,04$
	BIS - Fat [kg]	23,9	24,4	36,7	42,85	48,7	
	BIA - Obsah vody v těle [kg]	32,9	33,05	34,6	40,6	45,3	$p = 0,1$
	BIS - TBW [kg]	30,9	31,35	33,1	40,25	43,7	
	BIA - Neučná složka (FFM + MNL [kg])	47,55	48,81	50,6	55,9	60,95	$p = 0,05$
	BIS - Netučná složka (LTM + (ATM-Fat) + OH [kg])	42	42,8	45,1	54,95	59,3	

Vysvětlivky: G1 – 17.-27. týden gravidity; G2 – 28.-35. týden gravidity; BIA – bioelektrická impedanční analýza (duální bioimpedance); BIS – bioimpedanční spektroskopie; Fat – tuk; TBW – *total body water* (celková tělesná voda); FFM – *fat free mass* (netučná hmota); MNL – minerální látky; LTM – lean tissue mass (netučná tkáň); ATM – *adipose tissue mass* (tuková tkáň); OH – *overhydration* (převodnění, nadbytek extracelulární vody)

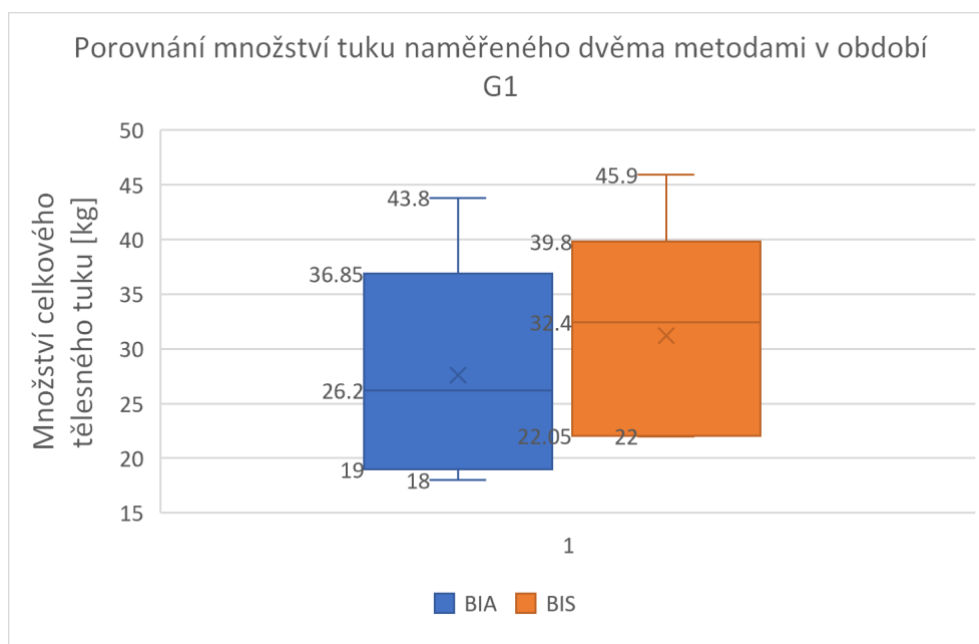
Tabulka č. 15: Shrnutí výsledků Bland-Altmanova testu v období G3

		Minimum	Percentil 25%	Medián	Percentil 75%	Maximum	Bland-Altmanův test
G3	BIA - Tělesný tuk [kg]	21,7	24,1	33,8	43,05	52,1	$p = 0,2$
	BIS - Fat [kg]	25	25	36,2	46,7	52,4	
	BIA - Obsah vody v těle [kg]	33	33,75	35,6	43,1	48,4	$p = 0,4$
	BIS - TBW [kg]	32,2	32,55	36,4	42,4	46,1	
	BIA - Neučná složka (FFM + MNL [kg])	48,15	49,28	52	58,4	62,7	$p = 0,08$
	BIS - Netučná složka (LTM + (ATM-Fat) + OH [kg])	43,4	44,15	49,7	57,7	62,6	

Vysvětlivky: G3 – 36.-38. týden gravidity; BIA – bioelektrická impedanční analýza (duální bioimpedance); BIS – bioimpedanční spektroskopie; *Fat* – tuk; TBW – *total body water* (celková tělesná voda); FFM – *fat free mass* (netučná hmota); MNL – minerální látky; LTM – lean tissue mass (netučná tkáň); ATM – *adipose tissue mass* (tuková tkáň); OH – *overhydration* (převodnění, nadbytek extracelulární vody)

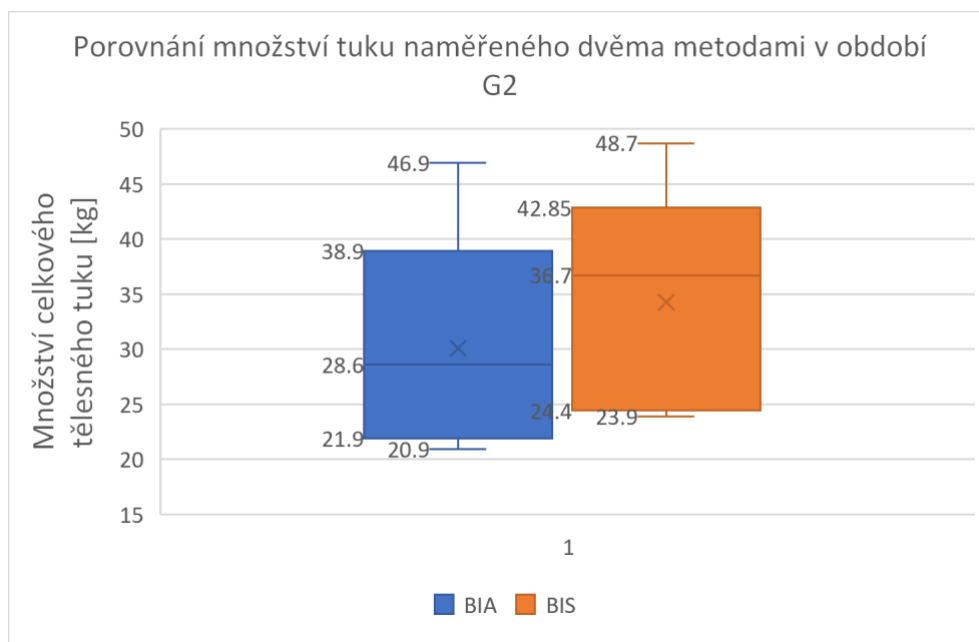
Ze shrnutí v tabulkách č. 14 a 15 můžeme vidět, že statisticky významné odchylky měření metodou BIA a BIS byly Bland-Altmanovým testem potvrzeny v případě měření tělesného tuku v období G1 a G2 a v případě měření netučné složky v období G1. U měření celkové tělesné vody nebyly Bland-Altmanovým testem potvrzeny statisticky významné odchylky v žádném ze sledovaných období. Statisticky odlišná měření jsou znázorněna v krabicových grafech č. 10-12.

Graf č. 10: Porovnání množství tuku naměřeného BIA a BIS v období G1



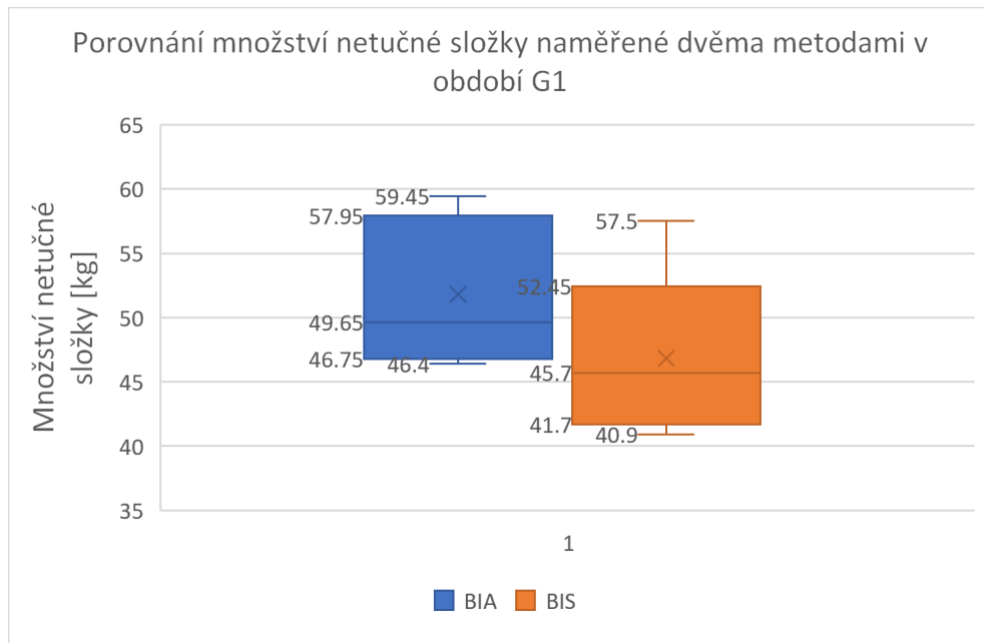
Vysvětlivky: G1: 17.-27. týden gravidity; BIA – bioimpedanční analýza (duální bioimpedance); BIS – bioimpedanční spektroskopie

Graf č. 11: Porovnání množství tuku naměřeného BIA a BIS v období G2



Vysvětlivky: G2: 28.-35. týden gravidity; BIA – bioimpedanční analýza (duální bioimpedance); BIS – bioimpedanční spektroskopie

Graf č. 12: Porovnání množství netučné složky naměřené BIA a BIS v období G2



Vysvětlivky: G2: 28.-35. týden gravidity; BIA – bioimpedanční analýza (duální bioimpedance); BIS – bioimpedanční spektroskopie

Tabulka č. 16: Porovnání měření BIA a BIS s predikčními rovnicemi Joop M.A. van Raaije

	Wilcoxonův test			Spearmanova korelace		
	G1	G2	G3	G1	G2	G3
FM (Raaij) [kg] BIA - Tělesný tuk [kg]	$p = 0,6250$	$p = 0,8125$	$p = 0,8125$	$r = 1$ $p = 0,0167$	$r = 1$ $p = 0,0167$	$r = 1$ $p = 0,0167$
FM (Raaij) [kg] Bis - Fat [kg]	$p = 0,1250$	$p = 0,1250$	$p = 0,3125$	$r = 1$ $p = 0,0167$	$r = 0,8$ $p = 0,1333$	$r = 0,9747$ $p = 0,0333$
FM from TBW (Raaij) [kg] BIA - Tělesný tuk [kg]	$p = 0,1250$	$p = 0,1875$	$p = 0,8125$	$r = 1$ $p = 0,0167$	$r = 1$ $p = 0,0167$	$r = 1$ $p = 0,0167$
FM from TBW (Raaij) [kg] Bis - Fat [kg]	$p = 0,1875$	$p = 0,1250$	$p = 0,3125$	$r = 1$ $p = 0,0167$	$r = 0,8$ $p = 0,1333$	$r = 0,9747$ $p = 0,0333$
FFM (Raaij) [kg] BIA - FFM + MNL [kg]	$p > 0,9999$	$p = 0,8125$	$p = 0,8125$	$r = 0$ $p > 0,9999$	$r = 0,4$ $p = 0,5167$	$r = 0,3$ $p = 0,6833$
FFM (Raaij) [kg] BIS - LTM + (ATM-Fat) + OH [kg]	$p = 0,1250$	$p = 0,1250$	$p = 0,3125$	$r = 0,1$ $p = 0,9500$	$r = 0,6$ $p = 0,3500$	$r = 0,4$ $p = 0,5167$

Vysvětlivky: G1 – 17.-27. týden gravidity; G2 – 28.-35. týden gravidity; G3 – 36.-38. týden gravidity; BIA – bioimpedanční analýza (duální bioimpedance); BIS – bioimpedanční spektroskopie; FM – *fat mass* (tuková hmota); TBW – *total body water* (celková tělesná voda); Fat – tuk; FFM – *fat free mass* (netučná hmota); MNL – minerální látky; ATM – *adipose tissue mass* (tuková tkáň); OH – *overhydration* (převodnění)

Z tabulky č. 16 je zřejmé, že Wilcoxonovým testem nebyla nalezena jediná statisticky významná odlišnost mezi hodnotami získanými měřeními BIA a BIS a hodnotami získanými z predikčních rovnic v žádném ze sledovaných období. Dále bylo nalezeno několik statisticky významných korelací. Přímá lineární závislost se potvrdila mezi BIA a predikční rovnicí v případě tělesného tuku ve všech třech sledovaných obdobích, a to i v případě predikce tukové hmoty z celkové tělesné vody. Dále se přímá lineární závislost potvrdila mezi BIS a predikčními rovnicemi v případě tělesného tuku, ale na rozdíl od BIA jen v prvním sledovaném období. U BIS a predikčních rovnic byly v rámci tělesného tuku nalezeny ještě velmi silné statisticky významné korelace ve třetím sledovaném období.

8. DISKUSE

Cílem této práce bylo ověřit, zda je predikce tělesného složení metodou duální bioimpedanční analýzy (BIA) dostatečně spolehlivá v porovnání s bioimpedanční spektroskopickou analýzou (BIS). Jinými slovy, zda predikce tělesného složení založená na měření bioimpedance při dvou různých frekvencích odpovídá nebo se alespoň přibližuje přesnosti analýzy založené na měření bioimpedance při padesáti různých frekvencích. Měření oběma metodami bylo prováděno u těhotných žen ve třech sledovaných obdobích, konkrétně mezi 17.-27. týdnem gravidity (G1), 28.-35. týdnem gravidity (G2) a 36.-38. týdnem gravidity (G3). Do vyšetřování žen nepříznivě zasáhla Covidová situace ve společnosti, a z tohoto důvodu bylo do studie možné zahrnout pouze pět žen, jelikož pouze u těchto pěti žen byly k dispozici výsledky ze všech tří vyšetření.

K měření byla využívána osobní digitální váha *Tanita RD-953*, která představuje duální bioimpedanční analýzu a přístroj BCM – *Body Composition Monitor*, který představuje bioimpedanční spektroskopickou analýzu. Současně s porovnáváním měření těchto dvou přístrojů jsme si všimli i jednotlivých výsledků popisujících tělesné složení a to, jak se mění v rámci sledovaných období. Dle očekávání byl zaznamenán výrazný nárůst hmotnosti, celkové tělesné vody, extracelulární i intracelulární vody, nárůst tělesného tuku, netučné hmoty i dalších parametrů, což odpovídá adaptaci těla matky na těhotenství (Piuri et al., 2016). Přestože u některých parametrů nebyly statistickou analýzou v rámci tří sledovaných období nalezeny statisticky významné změny, mediány výsledků jsou ukázkou trendů. Konkrétně například u parametru převodnění (nadbytek extracelulární tekutiny) nebo u parametru netučné tkáně, kde mediány vykazují jasně stoupající trend.

Pro zhodnocení predikce tělesného složení duální bioimpedanční analýzou ve srovnání s bioimpedanční spektroskopií byly porovnány výsledky tří parametrů. Celková tělesná voda, tělesný tuk a netučná složka. Poslední zmíněná se u našich metod vzájemně liší, jelikož u BIA je netučná složka reprezentována netučnou hmotou, zatímco u BIS je to netučná tkáň. Pro vzájemné porovnání byly tyto dva parametry upraveny přepočty. Sledovali jsme, zda jsou mezi výsledky metod u jednotlivých parametrů statisticky významné odchylky a zda výsledky vzájemně korelují.

Jakékoli statisticky významné odlišnosti mezi měřeními BIA a BIS nebyly nalezeny Wilcoxonovým testem v žádném ze sledovaných období. Byly nalezeny pouze dvě statisticky významné korelace, obě u parametru tělesného tuku, konkrétně v prvním ($r = 1$; $p = 0,0167$) a třetím ($r = 0,9747$; $p = 0,0333$) sledovaném období. Jedná se o silné korelace. Na druhou stranu byly Bland-Altmanovým testem nalezeny statisticky významné odlišnosti v měření tělesného tuku v prvním a druhém sledovaném období. Bland-Altmanovým testem byla také nalezena statisticky významná odlišnost v případě měření netučné složky v prvním sledovaném období.

Měření bioimpedance u těhotných žen je v dnešní době již běžně využíváno k odhadu tělesného složení nebo za účelem diagnostiky možných komplikací (Obuchowska et al., 2021). Nicméně je nutno zmínit, že jak *Tanita RD-953*, tak i BCM využívají k analýze tělesného složení obecné rovnice a koeficienty a nejsou primárně nastaveny pro analýzu v období těhotenství, jež se vyznačuje značnými fyziologickými odlišnostmi od běžné populace. Z tohoto důvodu jsme provedli porovnání hodnot tělesného tuku a netučné složky (získanými měřeními) s hodnotami získanými dle predikčních rovnic Joop M.A. van Raaije, které jsou přímo určeny pro těhotné ženy (Raaij et al., 1988). Pro tělesný tuk jsme měli k dispozici dvě predikční rovnice, z nichž jedna vychází z tělesné hustoty a druhá z celkové tělesné vody. Wilcoxonovým testem nebyly v žádném ze tří sledovaných období nalezeny statisticky významné odchylky, ať už se jednalo o hodnoty získané metodou BIA, nebo BIS. Tělesný tuk vyhodnocený metodou BIA vykázal statisticky významné silné korelace s výsledky obou predikčních rovnic ve všech třech obdobích ($r = 1$; $p = 0,0167$ – takto stejně ve všech případech). Tělesný tuk vyhodnocený metodou BIS vykázal s výsledky obou predikčních rovnic tělesného tuku také statisticky významné silné korelace, ale na rozdíl od BIA pouze v prvním ($r = 1$; $p = 0,0167$ – stejně pro obě rovnice) a třetím ($r = 0,9747$; $p = 0,0333$ – stejně pro obě rovnice) sledovaném období. S hodnotami netučné složky statisticky významné korelace zjištěny nebyly.

Podíváme-li se na výsledky porovnání měření metodou BIA a BIS, můžeme na základě nezjištěných statisticky významných odchylek jak Bland-Altmanovým, tak Wilcoxonovým testem říci, že metoda BIA je vzhledem k metodě BIS dostatečně spolehlivá a přesná v případě měření tělesné vody ve všech obdobích gravidity. Měření

celkového tělesného tuku se zdá být dostatečně přesné v období G3, v případě netučné složky v období G2 a G3, ale zde je třeba upozornit na fakt, že metody BIA a BIS v rámci netučné složky nevyhodnocují ten samý parametr. Dále můžeme zhodnotit, že z porovnání s predikčními rovnicemi Joop M.A. van Raaije, na základě množství nalezených statisticky významných korelací i jejich síly, vychází lépe metoda BIA.

Limitací této studie je skutečně velmi malé množství zahrnutých žen. K prověření závěrů této diplomové práce bude potřeba další studie s vyšším počtem žen, která by uvedené závěry exaktně zkorigovala.

9. ZÁVĚR

Studie se zúčastnilo pět těhotných žen s fyziologicky probíhajícím těhotenstvím. Každá podstoupila celkem tři vyšetření. První vyšetření proběhlo v období mezi 17.-27. týdnem gravidity, druhé mezi 28.-35. týdnem gravidity a třetí vyšetření v období mezi 36.-38. týdnem gravidity.

K měření tělesného složení byla využívána osobní digitální váha *Tanita RD-953* (*Tanita Corporation, Tokio, Japonsko*) představující duální bioimpedanční analýzu (BIA) a přístroj BCM – *Body Composition Monitor* (*Fresenius Medical Care, Bad Homburg, Německo*) představující bioimpedanční spektroskopickou analýzu (BIS).

V průběhu gravidity byly u žen zaznamenány významné nárůsty hmotnosti, celkové tělesné vody, extracelulární i intracelulární vody, nárůsty tělesného tuku i netučné složky.

Pro zhodnocení predikce tělesného složení duální bioimpedanční analýzou ve srovnání s bioimpedanční spektroskopií byly porovnány výsledky tří parametrů. Wilcoxonův test mezi měřeními BIA a BIS nenalezl žádné statisticky významné odchylky. Oproti tomu Bland-Altmanův test našel statisticky významné odchylky v měření tělesného tuku v prvním a druhém sledovaném období a dále v měření netučné složky v prvním sledovaném období. U výsledků měření tělesného tuku byly nalezeny statisticky významné silné korelace v prvním a třetím sledovaném období.

Predikce tělesného tuku a netučné složky vyhodnocené metodami BIA a BIS byly dále porovnány s výsledky predikčních rovnic Joop M.A. van Raaije. Wilcoxonovým testem zde nebyly nalezeny statisticky významné odchylky. V případě tělesného tuku byly nalezeny statisticky významné silné korelace s metodou BIA ve všech třech sledovaných obdobích. S metodou BIS tomu tak bylo pouze v prvním a třetím sledovaném období.

Na základě výsledků této práce lze říci, že predikce tělesné kompozice duální bioimpedanční analýzou je ve srovnání se spektroskopickou bioimpedanční analýzou dostatečně přesná a zaměnitelná v případě celkové tělesné vody a lze ji využívat ve všech obdobích gravidity. Měření celkového tělesného tuku se zdá být dostatečně přesné v období mezi 36.-38. týdnem gravidity, v případě netučné složky v období mezi

28.-35. a mezi 36.-38. týdnem gravidity. Vzhledem k limitaci této studie bude ovšem nutné tyto závěry ověřit na větší skupině žen.

10. POUŽITÉ ZKRATKY

Použitá zkratka	Význam zkratky / český význam [jednotky]
A	Area / plocha [m ²]
ATM	Adipose tissue mass / tuková tkáň [kg]
BCM	Body cell mass / buněčná hmota s metabolickou aktivitou [kg]
BCM	Body Composition Monitor / monitor složení těla
BIA	Bioelektrická impedanční analýza, bioimpedanční analýza
BIS	Bioimpedanční spektroskopie
BIVA	Bioelektrická impedanční vektorová analýza
BMI	Body mass index / index tělesné hmotnosti
C	Capacitance / kapacitance [F]
E/I	Poměr extracelulární a intracelulární tekutiny
ECW	Extracellular water / extracelulární tekutina [l]
f	frekvence [Hz]
F _c	Charakteristická frekvence [Hz]
FFESC	Fat-free extracellular solids / netučné extracelulární pevné látky [kg]
FFM	Fat-free mass / netučná hmota [kg]
FM	Fat mass / tuková hmota [kg]
FTI	Index tukové hmoty

Použitá zkratka	Význam zkratky / český význam [jednotky]
G1	Období mezi 17.-27. týdnem gravidity
G2	Období mezi 28.-35. týdnem gravidity
G3	Období mezi 36.-38. týdnem gravidity
GWG	Gestational weight gain / gestační přírůstek hmotnosti [kg]
Ht	Height / výška [m]
I	Proud [A]
ICW	Intracellular water / intracelulární tekutina [l]
L	Length / délka vodivého materiálu [m]
LTI	Index netučné tkáně
LTM	Lean tissue mass / netučná tkáň [kg]
MF-BIA	Multiple frequency bioimpedance analysis / vícefrekvenční bioimpedanční analýza
NW	Normal weight / normální, ideální hmotnost [kg]
OH	Overhydration / převodnění [l]
OH class	Klasifikace převodnění
p	p-hodnota
r	Korelační koeficient
R	Rezistence, odpor [Ω]

Použitá zkratka	Význam zkratky / český význam [jednotky]
R_0, R_e, R_{ef}	Rezistence při nulové frekvenci [Ω]
R_∞	Rezistence při nekonečné frekvenci [Ω]
R_i	Rezistence nitra buněk [Ω]
rel Fat	Procentuální zastoupení tuku
rel LTM	Procentuální zastoupení netučné tkáně
SEG-BIA	Segmental bioimpedance analysis / segmentová bioimpedanční analýza
SF-BIA	Single frequency bioimpedance analysis / jednofrekvenční bioimpedanční analýza
TBW	Total body water / celková tělesná tekutina [l]
V_b	Body volume / tělesný objem [m^3]
W_t	Weight / hmotnost [kg]
W_{tBody}	Body weight / tělesná hmotnost [kg]
X_c	Kapacitní reaktance [Ω]
Z	Bioelektrická impedance, bioimpedance [Ω]
φ	Fázový úhel
Ω	Ohm
ρ	Rezistivita, specifický měrný odpor [$\Omega \cdot m$]

Použitá zkratka	Význam zkratky / český význam [jednotky]
2-C	Dvoukompartmentový model
3-C	Tříkompartmentový model
4-C	Čtyřkompartmentový model

11. SEZNAM TABULEK

Tabulka č. 1: Základní charakteristika studované skupiny	25
Tabulka č. 2: Základní charakteristika studované skupiny – data měnící se v čase	26
Tabulka č. 3: Základní charakteristika studované skupiny – data měnící se v čase	27
Tabulka č. 4: Výsledky měření metodou duální bioimpedance.....	29
Tabulka č. 5: Výsledky měření metodou duální bioimpedance.....	30
Tabulka 6: Výsledky měření metodou bioimpedanční spektroskopie	31
Tabulka č. 7: Výsledky měření metodou bioimpedanční spektroskopie	32
Tabulka č. 8: Výsledky měření metodou bioimpedanční spektroskopie	33
Tabulka č. 9: Výsledky měření metodou bioimpedanční spektroskopie	34
Tabulka č. 10: Výsledky měření metodou bioimpedanční spektroskopie	35
Tabulka č. 11: Porovnání měření BIA a BIS v období mezi 17.-27. týdnem gravidity.....	37
Tabulka č. 12: Porovnání měření BIA a BIS v období mezi 28.-35. týdnem gravidity.....	38
Tabulka č. 13: Porovnání měření BIA a BIS v období mezi 36.-38. týdnem gravidity.....	39
Tabulka č. 14: Shrnutí výsledků Bland-Altmanova testu v období G1 a G2	50
Tabulka č. 15: Shrnutí výsledků Bland-Altmanova testu v období G3.....	51
Tabulka č. 16: Porovnání měření BIA a BIS s predikčními rovnicemi Joop M.A. van Raaije.....	54

12. SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek č. 1: Pětiúrovňový model složení těla.....	10
Obrázek č. 2: Kompartmentové modely složení těla.....	11
Obrázek č. 3: Diagram grafického odvození fázového úhlu; vztah mezi odporem (R), reaktancí (X_c), impedancí (Z) a frekvencí aplikovaného proudu.....	13
Obrázek č. 4: Průtok střídavého proudu tkání při nízkých a vysokých frekvencích	14
Obrázek č. 5: Cole-Cole diagram při použití přístroje Body Composition Monitor	17
Obrázek č. 6: Způsoby provedení celotělového měření bioimpedance	20
Obrázek č. 7: Způsoby provedení segmentového měření bioimpedance	21

13. SEZNAM GRAFŮ

Graf č. 1: Bland-Altmanův graf – rozdíly měření tělesného tuku [kg] BIA-BIS v období G1	41
Graf č. 2: Bland-Altmanův graf – rozdíly měření tělesného tuku [kg] BIA-BIS v období G2	42
Graf č. 3: Bland-Altmanův graf – rozdíly měření tělesného tuku [kg] BIA-BIS v období G3	43
Graf č. 4: Bland-Altmanův graf – rozdíly měření tělesné vody [kg] BIA-BIS v období G1	44
Graf č. 5: Bland-Altmanův graf – rozdíly měření tělesné vody [kg] BIA-BIS v období G2	45
Graf č. 6: Bland-Altmanův graf – rozdíly měření tělesné vody [kg] BIA-BIS v období G3	46
Graf č. 7: Bland-Altmanův graf – rozdíly měření netučné složky [kg] BIA-BIS v období G1	47
Graf č. 8: Bland-Altmanův graf – rozdíly měření netučné složky [kg] BIA-BIS v období G2	48
Graf č. 9: Bland-Altmanův graf – rozdíly měření netučné složky [kg] BIA-BIS v období G3	49
Graf č. 10: Porovnání množství tuku naměřeného BIA a BIS v období G1	52
Graf č. 11: Porovnání množství tuku naměřeného BIA a BIS v období G2	52

Graf č. 12: Porovnání množství netučné složky naměřené BIA a BIS v období G2..... 53

14. POUŽITÁ LITERATURA

AMINI, M., J. HISDAL a H. KALVØY. Applications of bioimpedance measurement techniques in tissue engineering. *Journal of Electrical Bioimpedance* [online]. 2018, 9(1):142-158. [cit. 2023-04-04] ISSN 1891-5469. Dostupné z: doi:10.2478/joeb-2018-0019

BCM – Body composition monitor: Innovation for better outcome [online]. Fresenius Medical Care [cit. 2023-04-01]. Dostupné z: <https://5.imimg.com/data5/SJ/UA/MY-8488004/electrode-cable-bcm-m351351.pdf>

BERLIT, SEBASTIAN, BENJAMIN TUSCHY, MARLÈNE STOJAKOWITS, CHRISTEL WEISS, HANS LEWELING, MARC SÜTTERLIN a SVEN KEHL. Bioelectrical Impedance Analysis in Pregnancy: Reference Ranges. *In Vivo* [online]. 2013, 27(6):851-4 [cit. 2023-04-15]. ISSN 1791-7549. Dostupné z: <https://iv.iijournals.org/content/27/6/851.long>

BROERS, Natascha J. H., Bernard CANAUD, Marijke J. E. DEKKER, Frank M. VAN DER SANDE, Stefano STUARD, Peter WABEL a Jeroen P. KOOMAN. Three compartment bioimpedance spectroscopy in the nutritional assessment and the outcome of patients with advanced or end stage kidney disease: What have we learned so far?. *Hemodialysis International* [online]. 2020, 24(2):148–161 [cit. 2023-03-22]. ISSN 1492-7535. Dostupné z: doi:10.1111/hdi.12812

DEY, D. K., I. BOSAEUS, L. LISSNER a B. STEEN. Body composition estimated by bioelectrical impedance in the Swedish elderly. Development of population-based prediction equation and reference values of fat-free mass and body fat for 70- and 75-y olds. *European Journal of Clinical Nutrition* [online]. 2003, 57(8):909-16 [cit. 2023-03-23]. ISSN 1476-5640. Dostupné z: doi:10.1038/sj.ejcn.1601625

GUDIVAKA, R., D. A. SCHOELLER, R. F. KUSHNER a M. J. G. BOLT. Single- and multifrequency models for bioelectrical impedance analysis of body water compartments. *Journal of Applied Physiology* [online]. 1999, 87(3):1087-96 [cit. 2023-04-06]. ISSN 1522-1601. Dostupné z: doi:10.1152/jappl.1999.87.3.1087

HEYMSFIELD, Steven B., ZiMian WANG, Marjolein VISSER, Dympna GALLAGHER a Richard N. PIERSON JR. Techniques used in the measurement of body composition: an overview with emphasis on bioelectrical impedance analysis. *Am J Clin Nutr* [online]. 1996, 64(3):478S-484S [cit. 2023-03-20]. ISSN 1938-3207. Dostupné z: doi: 10.1093/ajcn/64.3.478S

HRONEK, Miloslav. Antropometrické metody a jejich využití ke stanovení složení těla. In: ZADÁK, Zdeněk a Jaroslav KVĚTINA. *Metodologie předklinického a klinického výzkumu v metabolismu, výživě, imunologii a farmakologii*. Praha: Galén, 2011, s. 244. ISBN 978-80-7262-748-6.

JAFFRIN, Michel Y. a Hélène MOREL. Body fluid volumes measurements by impedance: A review of bioimpedance spectroscopy (BIS) and bioimpedance analysis (BIA) methods. *Medical Engineering & Physics* [online]. 2008, 30(10):1257-69 [cit. 2023-04-05]. ISSN 1873-4030. Dostupné z: doi:10.1016/j.medengphy.2008.06.009

JEBB, Susan A., Timothy J. COLE, Deanne DOMAN, Peter R. MURGATROYD a Andrew M. PRENTICE. Evaluation of the novel Tanita body-fat analyser to measure body composition by comparison with a four-compartment model. *British Journal of Nutrition* [online]. 2000, 83(2):115-22 [cit. 2023-03-22]. ISSN 1475-2662. Dostupné z: doi:10.1017/s0007114500000155

KHALIL, Sami F., Mas S. MOHKOTAR a Fatimah SAMI F. KHALIL 1,2,3, MAS S. MOHKOTAR 1,2 AND FATIMAH. The Theory and Fundamentals of Bioimpedance Analysis in Clinical Status Monitoring and Diagnosis of Diseases. *Sensors* [online]. 2014, 14(6):10895-928 [cit. 2023-03-31]. ISSN 1424-8220. Dostupné z: doi:10.3390/s140610895

KYLE, Ursula G., Ingvar BOSAEUS, Antonio D. DE LORENZO, et al. Bioelectrical impedance analysis - part I: review of principles and methods. *Clinical Nutrition* [online]. 2004, 23(5):1226-43 [cit. 2023-03-26]. ISSN 0261-5614. Dostupné z: doi:10.1016/j.clnu.2004.06.004

LOPOT, František. Bioimpedometrie a její využití v dialyzační léčbě. *Vnitřní Lékařství* [online]. 2016, 62(12, Suppl 6): 6S47–6S54 [cit. 2023-03-31]. ISSN 1801-7592. Dostupné z: <https://www.prolekare.cz/casopisy/vnitri-lekarstvi/2016-suppl-6/bioimpedometrie-a-jeji-vyuziti-v-dialyzacni-lecbe-60096>

MULASI, Urvashi, Adam J. KUCHNIA, Abigail J. COLE a Carrie P. EARTHMAN. Bioimpedance at the Bedside: Current Applications, Limitations, and Opportunities. *Nutrition in Clinical Practise* [online]. 2015, 30(2):180-93 [cit. 2023-04-01]. ISSN 1941-2452. Dostupné z: doi:10.1177/0884533614568155

OBUCHOWSKA, Aleksandra, Arkadiusz STANDYŁO, Żaneta KIMBER-TROJNAR a Bożena LESZCZYŃSKA-GORZELAK. The Possibility of Using Bioelectrical Impedance Analysis in Pregnant and Postpartum Women. *Diagnostics* [online]. 2021, 11(8):1370 [cit. 2023-03-26]. ISSN 2075-4418. Dostupné z: doi: 10.3390/diagnostics11081370

PIURI, Gabriele, Enrico FERRAZZI, Camilla BULFONI, Luciana MASTRICCI, Daniela Di MARTINO a Attilio Francesco SPECIANI. Longitudinal changes and correlations of bioimpedance and anthropometric measurements in pregnancy: Simple possible bedside tools to assess pregnancy evolution. *The Journal of Maternal-Fetal & Neonatal Medicine* [online]. 2016, 30(23):2824-2830 [cit. 2023-04-17]. ISSN 1476-4954. Dostupné z: doi:10.1080/14767058.2016.1265929

PRASAD, Anamika a Mukesh ROY. Bioimpedance analysis of vascular tissue and fluid flow in human and plant body: A review. *Biosystems Engineering* [online]. 2020, 197(2020):170-187 [cit. 2023-03-26]. ISSN 1537-5110. Dostupné z: doi:10.1016/j.biosystemseng.2020.06.006

RAAIJ, Joop MA van, Meta EM PEEK, Susan H VERMAAT-MIEDEMA, Casja M SCHONK a Joseph GAJ HAUTVAST. New equations for estimating body fat mass in pregnancy from body density or total body water. *The American Journal of Clinical Nutrition* [online]. 1988, 48(1):24-9 [cit. 2023-04]-17. ISSN 1938-3207. Dostupné z: doi:10.1093/ajcn/48.1.24

VINCENZO, Olivia, Maurizio MARRA a Luca SCALFI. Bioelectrical impedance phase angle in sport: a systematic review. *Journal of the International Society of Sports Nutrition* [online]. 2019, 16(1):49 [cit. 2023-04-01]. ISSN 1550-2783. Dostupné z: doi:10.1186/s12970-019-0319-2