

UNIVERZITA KARLOVA

FARMACEUTICKÁ FAKULTA V HRADCI KRÁLOVÉ

KATEDRA BIOLOGICKÝCH a LÉKAŘSKÝCH VĚD



## DIPLOMOVÁ PRÁCE

# SLOŽENÍ TĚLNÍCH TEKUTIN U ŽEN V DOBĚ GRAVIDITY

Petra Bardová

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

HRADEC KRÁLOVÉ, 2022

## **Poděkování**

Mé poděkování patří doc. PharmDr. Miloslavu Hronkovi, Ph.D. za odborné vedení, trpělivost, ochotu a čas, který mi v průběhu zpracování diplomové práce věnoval. Poděkování patří také Mgr. Simoně Najpaverové za odborné vedení při sběru dat k experimentální části této práce.

„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. 5. 2022

Petra Bardová

# OBSAH

|         |  |    |
|---------|--|----|
| 1       | ABSTRAKT .....   | 6  |
| 2       | ABSTRACT .....   | 7  |
| 3       | ÚVOD .....   | 8  |
| 4       | ZADÁNÍ – CÍL PRÁCE .....                                   | 9  |
| 5       | TEORETICKÁ ČÁST .....                                      | 10 |
| 5.1     | Složení lidského těla .....                                | 10 |
| 5.2     | Tělní tekutiny .....                                       | 12 |
| 5.3     | Změny v těhotenství .....                                  | 13 |
| 5.3.1   | Změny v těhotenství ovlivňující stav tělních tekutin ..... | 14 |
| 5.4     | Metody měření tělesného složení .....                      | 16 |
| 5.4.1   | Bioelektrická impedanční analýza .....                     | 16 |
| 5.4.1.1 | Celotělová a segmentová BIA .....                          | 18 |
| 5.4.1.2 | Jednofrekvenční a vícefrekvenční BIA .....                 | 21 |
| 5.4.1.3 | Bioimpedanční spektroskopie .....                          | 21 |
| 5.4.2   | Další možnosti určení objemu tělních tekutin .....         | 24 |
| 6       | EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST .....                                  | 27 |
| 6.1     | Informace o klinické studii .....                          | 27 |
| 6.2     | Charakteristika žen zařazených do studie .....             | 27 |
| 6.3     | Metodika a postup měření .....                             | 28 |
| 6.3.1   | Antropometrická měření .....                               | 28 |
| 6.3.2   | Bioimpedanční spektroskopie .....                          | 32 |
| 6.4     | Statistické zpracování výsledků .....                      | 34 |
| 7       | VÝSLEDKY .....   | 35 |
| 7.1     | Korelační analýza .....                                    | 44 |
| 8       | DISKUSE .....  | 51 |
| 9       | ZÁVĚR .....  | 56 |

|    |                         |    |
|----|-------------------------|----|
| 10 | POUŽITÉ ZKRATKY.....    | 57 |
| 11 | SEZNAM TABULEK .....    | 59 |
| 12 | SEZNAM OBRÁZKŮ .....    | 60 |
| 13 | SEZNAM GRAFŮ.....       | 60 |
| 14 | POUŽITÁ LITERATURA..... | 61 |

# 1 ABSTRAKT

Cílem této práce bylo změřit a vyhodnotit množství tělních tekutin těhotných žen v průběhu gravidity a jejich vztahy s dalšími sledovanými parametry.

Metodou bioimpedanční spektroskopie za využití přístroje *Body Composition Monitor* od společnosti *Fresenius Medical Care* byla získána data o stavu tělních tekutin u deseti těhotných žen zařazených do longitudinální klinické studie probíhající za spolupráce Farmaceutické fakulty Univerzity Karlovy a Porodnické a gynekologické kliniky Fakultní nemocnice v Hradci Králové. Přístroj měřil bioimpedanci na 50 frekvencích v rozsahu od 5 KHz do 1000 KHz a všechny ženy absolvovaly celkem tři vyšetření ve stanovených obdobích (17.–27. týden, 28.–35. týden a 36.–38. týden gravidity). Při každém měření se dbalo na dodržování standardních podmínek a správné provedení.

Ve sledovaném období byly u žen zaznamenány statisticky významné změny v objemech tělních tekutin. Medián objemu celkové tělesné tekutiny (TBW) se zvýšil o 3,8 l, medián objemu extracelulární tekutiny (ECW) o 1,4 l a medián objemu intracelulární tekutiny (ICW) se zvýšil o 2,3 l. Zvýšení tekutin v těle doprovázelo snížení hodnot rezistence. Snížení hodnot vykazoval během těhotenství také parametr převodnění.

Spearmanova korelace prokázala signifikantní vztahy mezi tělními tekutinami a hmotností těhotné ženy, její tělesnou výškou a věkem. Hmotnost v graviditě silně pozitivně korelovala s objemem TBW ( $r = 0,9052$ ;  $p = 6,46 \cdot 10^{-12}$ ), ECW ( $r = 0,8865$ ;  $p = 7,12 \cdot 10^{-11}$ ) a ICW ( $r = 0,8935$ ;  $p = 3,04 \cdot 10^{-11}$ ). Tělesná výška korelovala pozitivně s objemem TBW ( $r = 0,6979$ ;  $p = 1,81 \cdot 10^{-5}$ ), ECW ( $r = 0,7557$ ;  $p = 1,38 \cdot 10^{-6}$ ) a ICW ( $r = 0,6648$ ;  $p = 0,0001$ ) a věk těhotné ženy koreloval negativně s TBW ( $r = -0,4218$ ;  $p = 0,0202$ ) a ICW ( $r = -0,4749$ ;  $p = 0,0080$ ). Statisticky významný vztah mezi objemem tělních tekutin a samotným gestačním přírůstkem hmotnosti nebo gestačním věkem prokázán nebyl. Další signifikantní korelace byly zjištěny s měřeními tělesnými obvody, tloušťkou kožních řas a některými parametry kostry.

**Klíčová slova:** těhotenství, tělní tekutiny, bioimpedanční spektroskopie

## 2 ABSTRACT

The aim of this work was to measure and evaluate the amount of body fluids of pregnant women during pregnancy and its link with other monitored parameters.

The Bioimpedance spectroscopy method used the *Body Composition Monitor* from *Fresenius Medical Care* in order to collect data on body fluid status in ten pregnant women enrolled in a longitudinal clinical study conducted in collaboration with the Faculty of Pharmacy of Charles University and the Department of Obstetrics and Gynecology at the University Hospital in Hradec Králové. The device measured bioimpedance on 50 frequencies in the range from 5 KHz to 1000 KHz and all women underwent a total of three examinations in specified periods (week 17–27, 28–35 and 36–38 week of pregnancy). During each measurement, main focus was compliance with standard conditions and correct execution.

During the study period, statistically significant changes in body fluid volumes were observed in women. The median total body water (TBW) volume increased by 3.8 l, the median extracellular water (ECW) volume by 1.4 l and the median intracellular water (ICW) volume increased by 2.3 l. The increase in body fluids was accompanied by a decrease in resistance values. Decrease in values during pregnancy was also shown in the overhydration parameter.

Spearman's correlation showed significant relationships between body fluids and pregnant woman's weight, height, and age. Pregnancy weight was strongly positively correlated with TBW volume ( $r = 0,9052$ ;  $p = 6,46 \cdot 10^{-12}$ ), ECW ( $r = 0,8865$ ;  $p = 7,12 \cdot 10^{-11}$ ) and ICW ( $r = 0,8935$ ;  $p = 3,04 \cdot 10^{-11}$ ). Body height correlated positively with TBW volume ( $r = 0,6979$ ;  $p = 1,81 \cdot 10^{-5}$ ), ECW ( $r = 0,7557$ ;  $p = 1,38 \cdot 10^{-6}$ ) and ICW ( $r = 0,6648$ ;  $p = 0,0001$ ) and the age of the pregnant woman correlated negatively with TBW ( $r = -0,4218$ ;  $p = 0,0202$ ) and ICW ( $r = -0,4749$ ;  $p = 0,0080$ ). No statistically significant link between body fluid volume and gestational weight gain or gestational age alone was demonstrated. Other significant correlations were found with the measured body circumference, the thickness of the skin lashes and some skeletal parameters.

**Key words:** pregnancy, body fluids, bioimpedance spectroscopy

### 3 ÚVOD

Těhotenství je obdobím v životě ženy, které doprovází celá řada změn připravující tělo na budoucí porod a roli matky. Některé změny jsou viditelné pouhým okem, jiné však probíhají skrytě a nepozorovaně.

Aktuální tělesné složení lze určit pomocí řady metod. Poměrně jednoduše umožňuje sledovat a zhodnotit změny tělesné kompozice bioimpedanční spektroskopie. Díky neinvazivnosti, rychlosti a bezpečnosti této metody ji lze použít i během těhotenství a své opodstatnění nalézá také při hodnocení některých patologických stavů, které ho mohou doprovázet (Obuchowska et al., 2021).

Tělní tekutiny tvoří více než polovinu hmotnosti zdravého člověka a jejich objem se v průběhu života mění. Jak popisují některé publikace a studie, má na stav tělních tekutin vliv také těhotenství. Pomocí bioimpedanční spektroskopie je možné tyto změny a jejich vývoj v době gravidity blíže sledovat. Tato metoda umožňuje na základě svého principu získat informace jak o stavu celkové tělesné tekutiny, tak extracelulární tekutiny, intracelulární tekutiny i nadbytku extracelulární tekutiny neboli převodnění.



## **4 ZADÁNÍ – CÍL PRÁCE**

Cílem této práce bylo změřit a vyhodnotit změny ve složení těla těhotných žen se zaměřením výhradně na jejich tělní tekutiny v průběhu tří sledovaných období gravidity. Zároveň byly hledány a zhodnoceny významné vztahy mezi tělními tekutinami a dalšími sledovanými parametry.

## 5 TEORETICKÁ ČÁST

### 5.1 Složení lidského těla

Složení lidského těla je možné graficky znázornit jako určitý model složený z jednotlivých jeho složek, komponent.

Heymsfield et al. (2005) používá k popisu složení těla pětiúrovňový model. Podle toho, co přesně představují jednotlivé komponenty, lze složení lidského těla na základě tohoto modelu popsat na atomové, molekulární, buněčné, tkáňově-orgánové a celotělové úrovni.

Atomová úroveň vyjadřuje složení těla pomocí 11 chemických prvků. Více než 96 % tělesné hmoty tvoří kyslík, uhlík, vodík a dusík. Dalšími prvky tvořící lidské tělo jsou sodík, draslík, chlór, fosfor, vápník, hořčík a síra. Molekulární úroveň rozděluje lidské tělo na vodu, lipidy, proteiny, sacharidy, kostní minerály a minerály měkkých tkání. Kombinací těchto jednotlivých složek a jejich spojením do větších kompartmentů lze na této úrovni vytvořit dvou a vícekompartmentové modely. Buněčná úroveň zahrnuje extracelulární pevné látky, extracelulární tekutinu a buňky, které lze rozdělit na adipocyty a metabolicky aktivní buňky. Tkáňově-orgánová úroveň zahrnuje tukovou tkáň, kosterní svalovinu, kosti, viscerální orgány a ostatní tkáně a na celotělové úrovni je možné lidské tělo popsat jako končetiny, trup a hlavu. (Heymsfield et al., 2005)

Pro klinické a antropologické účely bývá k popisu složení lidského těla běžně využíván dvou, tří nebo čtyřkompartmentový model molekulární úrovně. (Riegerová et al., 2006)

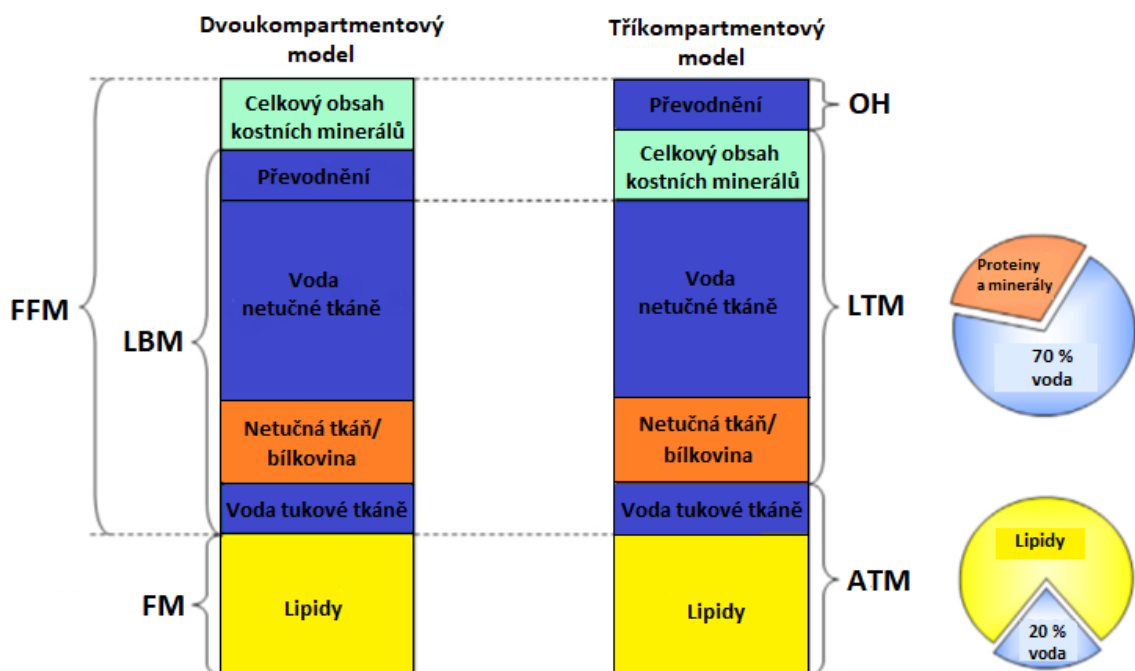
Dvoukompartmentový model rozlišuje pouze tukuprostou hmotu (*fat free mass*, FFM) a tuk (*fat mass*, FM). Odhad tukuprosté hmoty vychází z předpokladu, že tkáň bez tuku obsahuje 73 % vody. Protože ale tento model nedokáže rozlišit nadměrný objem v důsledku zadržování tekutin, je množství tukuprosté hmoty nadměrnou retencí tekutin ovlivněno. (Broers et al., 2020)

Tříkompartmentový model rozpoznává přítomnost extracelulární tekutiny a intracelulární tekutiny v tukové tkáni a na základě normálních hydratačních poměrů

pro netučnou a tukovou tkáň vypočítává kompartment převodnění neboli nadbytku extracelulární tekutiny (*overhydration*, OH). Ten může v případě vyčerpání tekutin nabývat negativních hodnot. Tento model rozděluje lidské tělo tedy na netučnou tkáň (*lean tissue mass*, LTM), tukovou tkáň (*adipose tissue mass*, ATM) a již zmíněné převodnění. LTM a ATM jsou obvykle normalizovány dělením tělesnou výškou v metrech umocněné na druhou a podle konvence jsou uváděny jako index netučné tkáně (*lean tissue index*, LTI) a index tukové tkáně (*fat tissue index*, FTI). (Broers et al., 2020)

Čtyřkompartmentový model rozděluje lidské tělo na buněčnou hmotu s metabolickou aktivitou (*body cell mass*), extracelulární tekutinu, tukoprosté extracelulární pevné látky a tělesný tuk (Dey et al., 2003).

Rozdíly mezi dvou a tříkompartmentovým modelem jsou znázorněné na obrázku 1.



Vysvětlivky: FFM (*fat free mass*) – tukuprostá hmotá, LBM (*lean body mass*) – netučná tělesná hmotá, FM (*fat mass*) – tuk, OH (*overhydration*), – převodnění, LTM (*lean tissue mass*) – netučná tkáň, ATM (*adipose tissue mass*) – tuková tkáň

**Obrázek 1 Modely složení lidského těla**

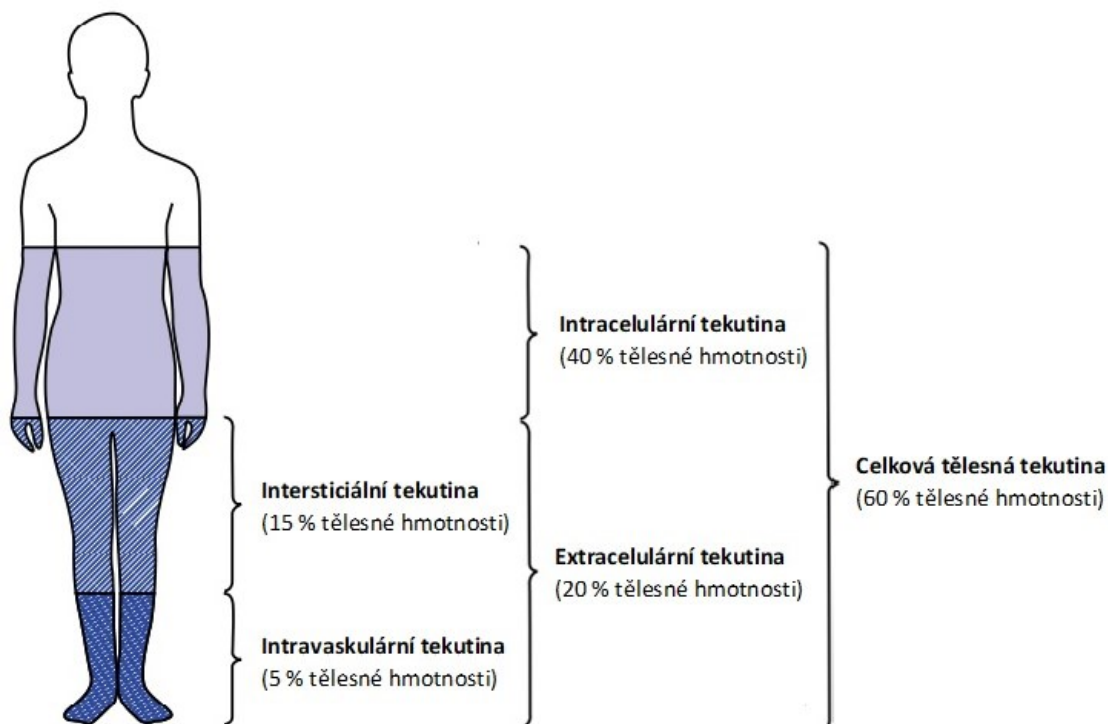
Zdroj: Broers et al., 2020 (převzato a přeloženo)

## 5.2 Tělní tekutiny

Tělní tekutiny svým množstvím a složením hrají významnou roli v udržování homeostázy lidského těla (Mourek, 2012). Základem tělních tekutin je voda, díky níž je vytvořeno v lidském organismu vhodné prostředí pro většinu probíhajících dějů (Navrátil, 2017). Množství celkové tělesné tekutiny (*total body water*, TBW) je závislé na věku, pohlaví a množství tělesného tuku (Verbalis, 2003). Obecně se ale uvádí, že tvoří přibližně 60 % tělesné hmotnosti dospělého člověka. Čím je člověk starší, je podíl celkové tělesné tekutiny menší. Menší podíl celkové tělesné tekutiny mají kvůli vyššímu obsahu tělesného tuku i ženy nebo jedinci s nadváhou. Naopak u malých dětí je podíl celkové tělesné tekutiny vyšší. (Navrátil, 2017)

Tekutina je v lidském těle nerovnoměrně rozdělena mezi buňky a okolní prostor. Na tomto základě ji lze rozdělit na intracelulární tekutinu (*intracellular water*, ICW) a extracelulární tekutinu (*extracellular water*, ECW). ICW představuje asi 2/3 z celkové tělesné tekutiny, tvoří tedy přibližně 40 % celkové tělesné hmotnosti. ECW představuje zbylou třetinu z objemu celkové tělesné tekutiny, tedy 20 % tělesné hmotnosti. Celkové množství extracelulární tekutiny lze dále rozdělit na intravaskulární tekutinu a intersticiální tekutinu. Intravaskulární tekutinu tvoří krevní plazma a nachází se v cévách. Představuje přibližně čtvrtinu z celkového objemu ECW, tedy 5 % z celkové tělesné hmotnosti. Intersticiální tekutina je tvořena tkáňovým mokem v mezibuněčném prostoru a tvoří zbylé 3/4 objemu ECW, tedy 15 % celkové tělesné hmotnosti. Toto rozdělení spolu s podílem na tělesné hmotnosti také znázorňuje obrázek 2. (Navrátil, 2017)

Bedogni et al. (2003) rozděluje ECW dokonce na 4 pododdíly, a to intersticiální tekutinu představující 14 % z tělesné hmotnosti, krevní tekutinu představující 4 % z tělesné hmotnosti a lymfatickou tekutinu a transcelulární tekutinu, kdy každá z nich představuje vždy 1 % z tělesné hmotnosti. Pojem transcelulární tekutina vyjadřuje tekutinu obsaženou v gastrointestinálním traktu (například sliny, žluč, trávicí šťávy), močovém traktu a tělních dutinách (Navrátil, 2017).



**Obrázek 2 Distribuce tekutin v lidském těle**

Zdroj: Verbalis, 2003 (upraveno a přeloženo)

### 5.3 Změny v těhotenství

V průběhu těhotenství prochází tělo ženy mnohými změnami, aby vyhovělo požadavkům vyvíjejícího se plodu a připravilo se na následný porod, laktaci a péči o novorozence. V reakci na požadavky rychle rostoucího plodu a placenty dochází k četným fyziologickým změnám především v kardiovaskulárním, endokrinním a urogenitálním systému ženy. Ovlivněn je ale také dýchací, gastrointestinální systém – tedy v podstatě každý orgánový systém. Rovněž dochází ke změnám metabolickým, které zasahují do metabolismu sacharidů, bílkovin i tuků. (Longo, 2018)

Fyziologicky dochází v průběhu těhotenství ke změně tělesné hmotnosti, navzdory doporučením však dosahuje podle Obuchowské et al. (2021) zdravého váhového přírůstku pouze jedna ze tří těhotných žen. Přiměřený gestační přírůstek hmotnosti, na kterém se podílí placenta, mléčné žláza, děloha, tuková tkáň, extracelulární tekutina, zvětšení objemu krve, plodová voda i samotný plod, je přitom důležitý

pro správný průběh těhotenství a zabránění komplikací jako je preeklampsie a nízká porodní hmotnost novorozence (Bosaeus et al., 2020).

### 5.3.1 Změny v těhotenství ovlivňující stav tělních tekutin

V průběhu těhotenství dochází ke zvýšení objemu krve. Zvyšuje se objem krevní plazmy i krevních buněk, ale zvýšení není vyvážené, proto je u těhotných žen možné pozorovat fyziologickou relativní (hemodiluční) anémii. (Kašánová a Wilhelmová, 2021)

Krevní plazma je součástí ECW i TBW, proto se se zvyšujícím objemem plazmy odpovídajícím způsobem mění i tyto dva parametry. Mimo to, je zvýšení objemů ECW a TBW způsobené také nárůstem svalové hmoty těhotných žen. (Gernand et al., 2012).

K expanzi mateřské plazmy dochází za účelem pokrytí větší oběhové potřeby mateřských orgánů (např. dělohy, prsů, kůže a ledvin) a placenty a tím zároveň zlepšení uteroplacentárního průtoku krve pro přenos živin k plodu. (Faupel-Badger et al., 2007; Gernand et al., 2012)

Z metaanalýzy provedené Agureem a Gernandem vyplývá, že u zdravých těhotných žen se objem plazmy začíná zvětšovat v prvním trimestru, nejstrměji se zvyšuje ve druhém trimestru a vrcholí pozdě ve třetím trimestru. Při porovnání s netěhotnými ženami se objem plazmy v prvním trimestru zvýšil o 6 %. Ve druhém trimestru byl objem plazmy zvýšen o 18 % ve 14.–20. gestačním týdnu a o 29 % ve 21.–27. týdnu. Ve třetím trimestru se objem plazmy zvýšil o 42 % ve 28.–34. gestačním týdnu a o 48 % ve 35.–38. týdnu. (Aguree a Gernand, 2019)

Gernand et al. (2012) uvádí, že na expanzi krevní plazmy, a tedy i objem ECW a TBW, má vliv také index tělesné hmotnosti (*Body mass index*, BMI) matky a její nutriční stav. Ve své studii zjistil, že BMI byl negativně spojen s časnými změnami ECW a TBW, ale pozitivně spojen s pozdější procentuální změnou objemu plazmy. Tyto výsledky tedy naznačují, že ženy s nižším BMI získávají více vody v těle tím, že přibírají více na váze, zatímco u nich dochází k nižší expanzi objemu plazmy způsobené pravděpodobně podvyživeným začátkem těhotenství. Snížená expanze krevní plazmy má podle něho za následek omezení růstu plodu.

Ke zvýšení objemu krevní plazmy začne podle Bernsteina et al. (2001) docházet až po šestém týdnu těhotenství a primárním signálem pro expanzi plazmy může být estrogen produkovaný placentou. Vytvořená placenta produkuje v průběhu těhotenství celou řadu dalších hormonů a enzymů a tím je výrazně ovlivněna sekrece hypofyzárních hormonů a funkce celého endokrinního systému ženy (Marek, 2013).

Jedním z enzymů produkovaných placentou je vazopresináza, která rozkládá antidiuretický hormon (Marek, 2013). Její maximální aktivita je během třetího trimestru, zůstává vysoká během porodu a poté klesá na nedetekovatelnou úroveň 2 až 4 týdny po porodu. Tělo matky zareaguje na vazopresinázy produkované placentou zvýšenou sekrecí vlastního antidiuretického hormonu (ADH). Zvýšená metabolická clearance ADH je pozorovatelná v 10. týdnu a v polovině těhotenství. Cheung a Lafayette také předpokládají, že roli ve zvýšené sekreci ADH v průběhu těhotenství může hrát vyšší hladina vazodilatačního hormonu relaxinu, který u zvířat v průběhu těhotenství způsoboval právě zvýšenou sekreci ADH a příjem tekutin. Dále předpokládají, že zvýšená produkce ADH souvisí s poklesem sérové hladiny sodíku, která je důsledkem změny fyziologie ledvin v průběhu těhotenství, kdy dochází ke zvýšení glomerulární filtrace a průtoku krevní plazmy a změněny jsou také tubulární funkce ledvin. (Cheung a Lafayette, 2013)

Zvýšenou sekrecí ADH i přes sníženou osmolalitu krevní plazmy, která je fyziologická v průběhu těhotenství, tělo ženy uznává svou potřebu zadržování tekutin. (Mottelson et al., 2019)

Další příčinou zvýšené retence tekutin v graviditě je snížení rychlosti proudění krve, venostáza a zhoršený venózní návrat vznikající jako následek útlaku dolní duté žíly dělohou. Tyto změny se mohou u některých těhotných žen projevovat otoky dolních končetin, k jejichž vzniku přispívá i snížený osmotický tlak, který je důsledkem zvýšení objemu krevní plazmy a snížení koncentrace sérového albuminu. (Kašanová a Wilhelmová, 2021; Longo, 2018)

Voda zadržovaná v těle těhotné ženy může představovat rezervu pro náhradu ztráty krve při porodu (Kašanová a Wilhelmová, 2021).

## 5.4 Metody měření tělesného složení

Pro zjištění aktuálního tělesného složení lze využít řadu metod od často jednoduchých a nenáročných antropometrických metod (například metoda kaliperace) až po přístrojově a časově náročnější a složitější metody využívající fyzikální nebo chemické vlastnosti složek lidského těla (například bioelektrická impedanční analýza a duální rentgenová absorpciometrie). (Hronek, 2013; Riegerová, 2006)

### 5.4.1 Bioelektrická impedanční analýza

Bioelektrická impedanční analýza (bioimpedanční analýza, BIA) je snadná, neinvazivní, relativně levná a přenosná metoda běžně využívaná pro měření složení těla a hodnocení klinického stavu (Khalil et al., 2014; Kyle et al., 2004b).

Na základě teoretických principů je vhodná pro hodnocení tělesné hydratace – to zahrnuje celkovou tělesnou tekutinu, intracelulární i extracelulární tekutinu (Ward a Müller, 2013).

BIA je založena na principu rozdílného šíření střídavého elektrického proudu o nízké intenzitě (přibližně 800  $\mu\text{A}$ ) různými biologickými tkáněmi (Riegerová et al., 2006). Tkáně mají schopnost se střídavému proudu bránit a kladou odpor definovaný jako bioelektrická impedance neboli bioimpedance (Khalil et al., 2014). Tkáně s vyšším obsahem vody a elektrolytů jsou dobrým vodičem a vyvíjí menší odpor na procházející střídavý proud (vykazují tedy nízkou bioimpedanci), naopak tkáně s vyšším obsahem tuku se chovají jako izolátory a vykazují bioimpedanci vysokou (Riegerová et al., 2006; Hronek, 2013).

Elektrická impedance ( $Z$ ) biologických buněk je komplexní číslo, které se skládá ze dvou částí – rezistence ( $R$ ) představující reálnou část impedance a kapacitní reaktance ( $X$ ) představující imaginární část impedance závislou na frekvenci. Jednotka impedance ohm ( $\Omega$ ) se shoduje s jednotkou rezistence a reaktance. (Ostermann et al., 2020)

Impedanci specifikuje jak její velikost – absolutní hodnota délky vektoru  $|Z|$  představující poměr přiváděného napětí a proudu, tak fázový úhel  $\phi$ , který vyjadřuje



fázový posun mezi proudem a napětím (Cseresnyés et al., 2018). U zdravých jedinců se velikost fázového úhlu pohybuje mezi 6° až 7°. V poslední době se mu věnuje stále větší pozornost (Hronek, 2013) a zdá se být citlivějším ukazatelem nutričního stavu ve srovnání s bioimpedancí, protože je úzce spjat s integritou buněčné membrány – nízký fázový úhel totiž ukazuje na poškození buněčné membrány (Marra et al., 2019). Berlit et al. (2013) sledává zajímavost fázového úhlu v tom, že odráží některé elektrické vlastnosti tkání, které jsou různými způsoby ovlivněny stavem hydratace a integritou buněčné membrány. Uvádí také fázový úhel jako identifikátor distribuce tělesné vody mezi intracelulárními a extracelulárními prostory, kdy vysoký fázový úhel odpovídá nízkému poměru extracelulární a intracelulární tekutiny.

K výpočtu bioelektrické impedance lze použít následující souhrnný vztah:

$$Z = |Z|e^{j\Phi} = R + jX,$$

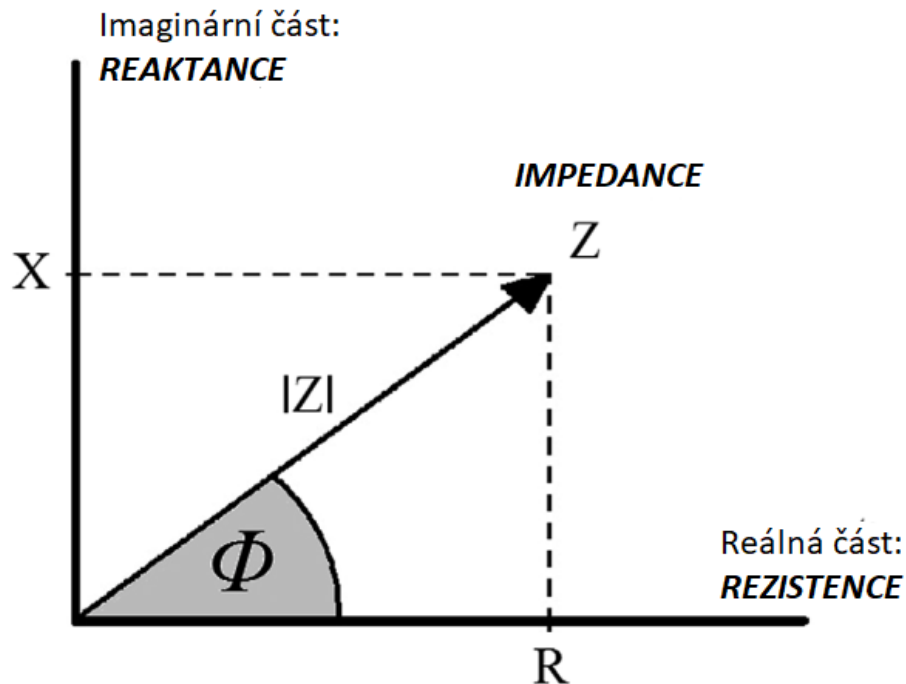
kde  $Z(\Omega)$  je impedance,  $|Z|$  absolutní hodnota velikosti vektoru komplexní impedance,  $e$  Eulerovo číslo,  $j$  imaginární jednotka,  $\Phi$  (°) velikost fázového úhlu,  $R(\Omega)$  je rezistence a  $X(\Omega)$  kapacitní reaktance (Ostermann et al., 2020).

Impedance a její složky jsou znázorněny na obrázku 3. Z grafického znázornění lze odvodit také vztahy pro výpočet rezistence a kapacitní reaktance:

$$R = |Z| * \cos \Phi,$$

$$X = |Z| * \sin \Phi,$$

ve kterých  $R(\Omega)$  vyjadřuje opět rezistenci,  $X(\Omega)$  kapacitní reaktanci,  $|Z|$  absolutní hodnotu délky vektoru komplexní impedance a  $\Phi$  (°) velikost fázového úhlu (Cseresnyés et al., 2018).



Vysvětlivky: X – reaktance ( $\Omega$ ); R – rezistence ( $\Omega$ ); Z – impedance ( $\Omega$ );  $|Z|$  – absolutní hodnota velikosti komplexní impedance, délka vektoru impedance;  $\phi$  – fázový úhel ( $^\circ$ )

**Obrázek 3 Grafické znázornění komplexní impedance**

Zdroj: Cseresnyés et al., 2018 (převzato a přeloženo)

Měření bioimpedance se získává z celého těla nebo segmentů těla odděleně za použití jedné, více nebo celého spektra frekvencí střídavého proudu. Existuje i několik alternativních metod hodnocení tělesného složení jako je bioimpedanční vektorová analýza a bioimpedanční analýza v reálném čase. (Khalil et al, 2014)

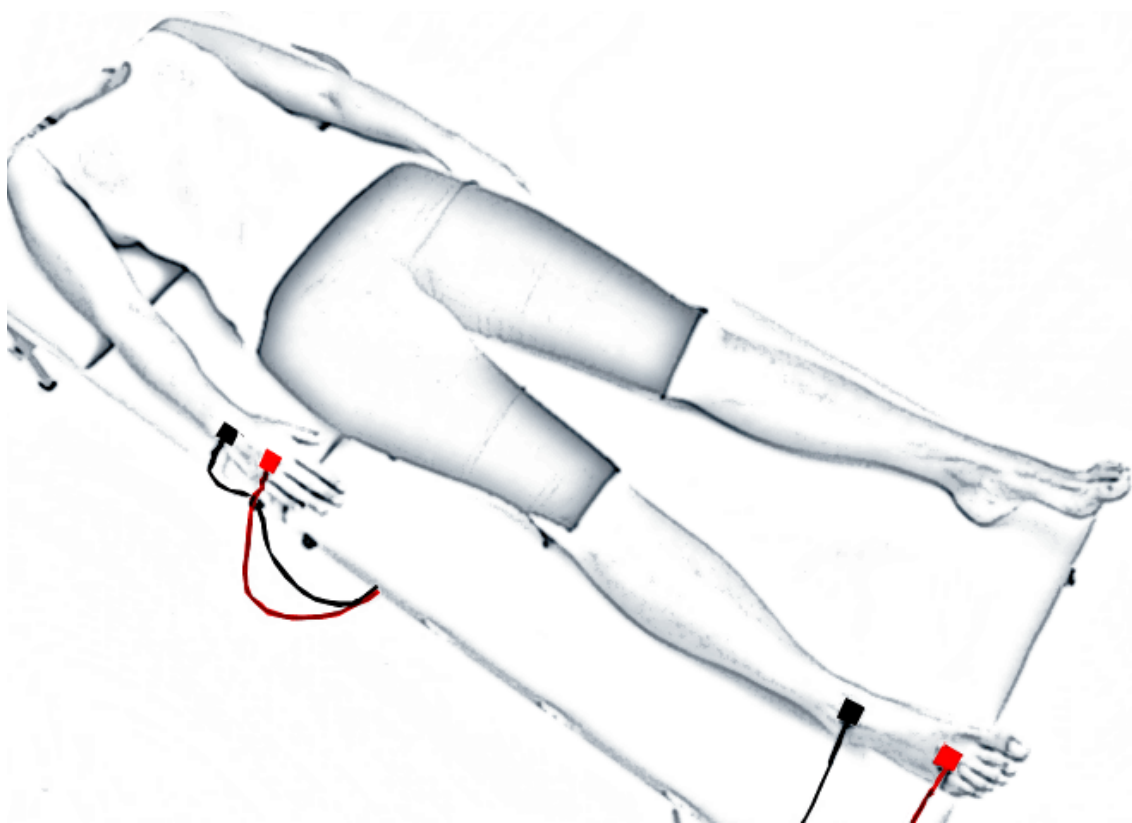
#### 5.4.1.1 Celotělová a segmentová BIA

Segmentová analýza rozděluje tělo při měření bioimpedance na pět segmentů, válců – dva představují horní končetiny, další dva dolní končetiny a poslední celý trup (Khalil et al, 2014).

Celotělová analýza považuje tělo za jeden válec a je nejčastěji používanou metodou při měření bioimpedance. Bioimpedance může být získána třemi způsoby měření, kdy se měří metodou ruka–noha, noha–noha a ruka–ruka. Zvolené metodě

odpovídá i umístění elektrod při samotném měření. Nejběžněji používaná je metoda ruka–noha. (Khalil et al., 2014; Thomas et al., 2003)

Měření pomocí celotělové metody a umístění elektrod je znázorněno na obrázku 4. Distálně umístěnými červenými elektrodami se do těla a z těla přivádí a odvádí střídavý elektrický proud (I) a proximální černé elektrody snímají elektrické napětí (U). Výsledná bioimpedance (Z) se vypočítá na základě Ohmova zákona jako  $Z = U/I$ . Aby byla výsledná bioimpedance uvedena v ohmech, dosadí se hodnota střídavého proudu v ampérech a elektrické napětí ve voltech. (Lopot, 2016)



**Obrázek 4 Čtyřelektrodové uspořádání při celotělové analýze metodou ruka–noha**

Zdroj : Castizo-Oliver, 2018 (převzato)

Srovnání účinnosti segmentové a celotělové metody měření bioimpedance u kontrolních osob a osob s nadváhou provedl Thomas et al. (2003) a došel k závěru, že použití segmentové analýzy vedlo k malému zlepšení v predikci celkové tělesné

tekutiny, které ale nebylo významně lepší než při použití celotělové analýzy. Dále uvádí, že výhody použití segmentové analýzy jsou sporné, protože metodika je časově podstatně náročnější než celotělový přístup.

Na přesnost výsledků získaných bioimpedanční analýzou má v první řadě vliv umístění elektrod, kdy jejich posun o  $\pm 2$  centimetry od standardního umístění představuje chybu v hodnotě měřené impedance  $\pm 4,1$  %. Výsledky mohou být dále zkresleny u osob užívajících léky ovlivňující hospodaření s vodou v lidském organismu, u žen v období menstruace a premenstruace, u osob s implantáty nebo pace markerem. Dalšímu zkreslení výsledků se předchází dodržováním standardních podmínek – 4 až 5 hodin před analýzou se nejí a nepije, minimálně 24 hodin se nepožívají alkoholické nápoje, necvičí se 12 hodin před a analýza se provádí po vyprázdnění močového měchýře. (Riegerová et al., 2006)

I v průběhu těhotenství je BIA považována za rychlou a bezpečnou metodu k určení tělesného složení, přestože nedokáže rozlišit mezi mateřskou a fetální tkání. Uplatnění nalézá také v různých klinických situacích a stavech spojených s těhotenstvím jako je například gestační diabetes mellitus, preeklampsie, gestační hypertenze, *hyperemesis gravidarum*, nadměrný gestační přírůstek hmotnosti a edémy. Aby se však minimalizoval účinek celkové denní změny vody v těle, je potřeba analýzu provádět vždy ve stejnou denní dobu a za dodržení standardních podmínek uvedených výše. (Obuchowska et al., 2021)

Kvůli zkreslení výsledků, které by mohlo nastat v důsledku přítomnosti plodové vody a plodu uvádí Larciprete et al. (2003) jako vhodnější měřit bioimpedanci v těhotenství metodou noha–noha. Děloha s plodovou vodou by mohla totiž snížit odpor trupu proti elektrickému proudu.

Využitím BIA v těhotenství se zabývá také Berlitz et al. (2013), který uvádí fázový úhel, ale i rezistenci a kapacitní reaktanci, jako užitečné prognostické markery pro nemoci spojené s těhotenstvím (např. hypertenze, preeklampsie). Stejně tak může být podle něho fázový úhel využit pro predikci klinického výsledku u řady jiných nemocí, které s těhotenstvím spojené nejsou.

#### 5.4.1.2 Jednofrekvenční a vícefrekvenční BIA

Při jednofrekvenční bioimpedanční analýze (*single frequency bioimpedance analysis* – SF-BIA) se obecně využívá frekvence 50 kHz a umožňuje odhadnout zastoupení tukuprosté hmoty a celkové tělesné tekutiny. Své využití nalézají především při hodnocení tělesného složení u normálně hydratovaných osob. (Kyle et al., 2004a)

Vícefrekvenční bioimpedanční analýza (*multiple frequency bioimpedance analysis* – MF-BIA) využívá k zjištění impedance dvě a více frekvencí, nejčastěji v rozmezí 5 kHz až 200 kHz. Hodnocení složení těla touto analýzou poskytuje obecně přesnější výsledky než při použití SF-BIA, avšak u starších a nemocných osob vykazuje menší citlivost na změny v distribuci nebo pohybu tekutiny mezi extracelulárním a intracelulárním prostorem. (Khalil et al, 2014; Kyle et al. 2004a)

#### 5.4.1.3 Bioimpedanční spektroskopie

Bioimpedanční spektroskopie (BIS) využívá v průběhu analýzy tělesného složení celé spektrum frekvencí střídavého elektrického proudu. Právě frekvence má velký vliv na chování a šíření elektrického proudu v lidském těle. Pokud je tedy na tělo aplikován potenciál střídavého proudu, prochází výsledný proud hlavně tkání bez tuku, přičemž podíl proudu v intracelulárním a extracelulárním prostoru je závislý na frekvenci. Při nízké frekvenci proud protéká hlavně extracelulárním prostorem, protože impedance intracelulárního prostoru spojená s kapacitací buněčné membrány je velmi velká, zatímco při vysoké frekvenci je proud rozdělen mezi extracelulární a intracelulární prostorové dráhy. (Thomas et al., 1998)

Predikce extracelulární tekutiny a celkové tělesné tekutiny je při BIS provedena na základě stanovení rezistence při nulové frekvenci ( $R_0$ ) a rezistence při nekonečné frekvenci ( $R_\infty$ ), kdy  $R_0$  teoreticky odpovídá rezistenci extracelulární tekutiny a  $R_\infty$  odpovídá rezistenci celkové tělesné tekutiny (Khalil et al., 2014; Kyle et al., 2004a). Vztahy mezi rezistencí a kompartmenty tělních tekutin jsou u bioimpedanční spektroskopie generovány na základě využití matematického

modelování a směsných rovnic – např. Cole-Cole diagramu a vzorců vycházejících z Hanaiovy teorie (Kyle et al., 2004a).

Protože rezistence při nulové a nekonečné frekvenci nemůže být reálně při BIS změřena, je využit k zjištění jejich hodnoty Cole-Cole diagram. Ten představuje grafické znázornění funkce, kterou Cole popsal změny jednotlivých složek impedance v biologických systémech:

$$Z = R_{\infty} + \frac{R_0 - R_{\infty}}{1 + (j\omega\tau)^{1-\alpha}},$$

kde  $Z(\Omega)$  vyjadřuje impedanci,  $R_0(\Omega)$  rezistenci při nulové frekvenci,  $R_{\infty}(\Omega)$  rezistenci při nekonečné frekvenci,  $j$  imaginární jednotku,  $\omega$  (rad/s) úhlovou frekvenci,  $\tau$  (s) časovou konstantu spojenou s buněčnou membránou a  $\alpha$  (°) úhel deprese ke středu kruhového grafu. (Thomas et al., 1998)

Cole-Cole diagram má tvar půlkružnice, která vyjadřuje ideální křivku impedance při určitých frekvencích a na základě statisticky určené nejlepší shody měřené křivky s tímto diagramem je možné extrapolací vypočítat  $R_0$  a  $R_{\infty}$ . (Thomas et al., 1998)

Hodnoty  $R_0$  a  $R_{\infty}$  zjištěné z Cole-Cole diagramu jsou využity v rovnicích založených na Hanaiově teorii, který považoval tělo za koncentrovanou suspenzi buněk ve vodivém médiu a předpovídal, že rezistence vodivých roztoků se bude zvyšovat s rostoucí koncentrací nevodivých částic suspendovaných v roztoku kvůli nárůstu délky vodivé dráhy, ke kterému dochází zakřivením kolem nevodivých částic. Hanai vyvinul vzorec k popisu tohoto jevu *in vitro*, aby však mohl být využitý *in vivo* došlo k úpravě do následující podoby:

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

kde  $ECW$  (l) vyjadřuje objem extracelulární tekutiny,  $k_{ecw}$  konstantu ECW zjištěnou měřením referenční metodou diluce bromidu sodného proti frekvenci odpovídající ECW a  $F_{ecw}$  (Hz) je frekvence střídavého proudu odpovídající extracelulární tekutině,

jejíž výpočet lze provést z následujícího vztahu:

$$F_{ecw} = \left( \frac{W^{1/2} * H^2}{R_0} \right)^{2/3},$$

ve kterém  $W$  (kg) představuje tělesnou hmotnost,  $H$  (cm) tělesnou výšku a  $R_0$  ( $\Omega$ ) odpovídá rezistenci při nulové frekvenci zjištěné z Cole-Cole diagramu. (Gudivaka et al., 1999; Thomas et al., 1998)

Zjištěný objem extracelulární tekutiny se dále použije ke zjištění objemu intracelulární tekutiny ze vztahu:

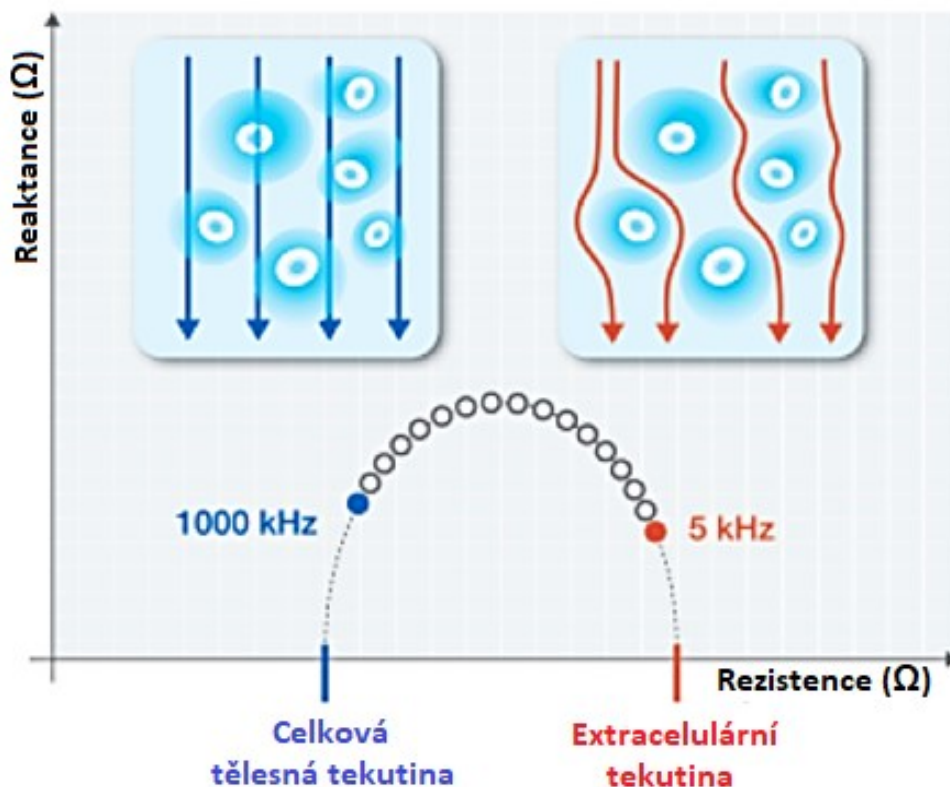
$$ICW = r_{IE} * ECW,$$

kde  $ICW$  (l) je objem intracelulární tekutiny,  $ECW$  (l) objem extracelulární tekutiny a  $r_{IE}$  poměr  $ICW$  a  $ECW$  vypočítaný iterací podle následující rovnice:

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

ve které  $r_{LH}$  vyjadřuje poměr nulové rezistence a rezistence při nekonečné frekvenci zjištěné z Cole-Cole diagramu a  $k_p$  je konstanta určená regresí  $[(1 + r_{IE})^{5/2}/r_{LH} - 1]$  proti  $r_{IE}$ . (Gudivaka et al., 1999; Thomas et al., 1998)

Obrázek 5 znázorňuje Cole-Cole diagram a chování střídavého proudu při průchodu tělem za použití měřícího přístroje *Body Composition Monitor* (BCM), který měří bioimpedanci při 50 frekvencích od 5 kHz do 1000 kHz. Střídavý elektrický proud o nízké frekvenci prochází extracelulárním prostorem (znázorněno červeně), zatímco proud o vysoké frekvenci (znázorněno modře) dokáže projít i přes buněčnou membránu. Data přístroj dále zpracuje a umožňuje určit TBW a ECW. (*BCM – Body Composition Monitor*, nedatováno)



**Obrázek 5 Cole-Cole diagram a chování střídavého proudu v organismu při použití přístroje BCM**

Zdroj: BCM – Body Composition Monitor, nedatováno (převzato a přeloženo)

#### 5.4.2 Další možnosti určení objemu tělních tekutin

Pro přesné měření množství celkové tělesné tekutiny lze využít metody izotopové diluce, při nichž použité izotopy volně difundují všemi částmi těla a z výsledné koncentrace izotopů po naředění v tělních tekutinách lze zjistit její objem (Gonzales-Correa et al., 2016; Watson et al., 1980). Metoda diluce deuteria je považována za referenční metodu pro měření celkové tělesné tekutiny (Gonzales-Correa et al., 2016). Jako referenční metoda pro stanovení objemu extracelulární tekutiny se využívá diluce bromidu sodného a referenční metodou pro stanovení intracelulární tekutiny je metoda celkového tělesného draslíku s radioaktivním izotopem draslíku  $^{40}\text{K}$ , který se přirozeně vyskytuje v lidských tkáních v konstantním množství a který emituje při svém rozpadu gama záření detekovatelné mimo tělo (Moissl et al., 2006).



Ačkoli jsou tyto metody pro zjištění objemu tělních tekutin nejpřesnější, nejsou v klinických podmínkách pro svou náročnost běžně používané. Proto bylo nutné najít další metody a možnosti, jak zjistit zastoupení tělních tekutin v lidském těle. (Gonzales-Correa et al., 2016)

Jednu takovou představil Watson et al. (1980), který použil pro výpočet celkové tělesné tekutiny u mužů a žen rovnice založené na jednoduchých antropometrických měřeních. U žen se objem celkové tělesné tekutiny v litrech vypočítá na základě jeho zjištění podle vztahu:

$$TBW = -2,097 + 0,1069 * H + 0,2466 * W,$$

ve kterém  $H$  (cm) vyjadřuje tělesnou výšku a  $W$  (kg) tělesnou hmotnost ženy.

Moissl et al. (2006) použil pro stanovení objemu extracelulární a intracelulární tekutiny snadno dostupný antropometrický index BMI a za využití křížové validace zjistil objem ECW a ICW v litrech podle následujících vztahů:

$$ECW = \left( \frac{0,188}{BMI} + 0,2883 \right) * \left( \frac{H^2 * \sqrt{W}}{R_0} \right)^{\frac{2}{3}},$$

$$ICW = \left( \frac{5,8758}{BMI} + 0,4194 \right) * \left( \frac{H^2 * \sqrt{W}}{R_\infty} \right)^{\frac{2}{3}},$$

kde BMI znamená antropometrický index tělesné hmotnosti vypočítaný jako podíl tělesné hmotnosti (kg) a tělesné výšky (m) umocněné na druhou,  $H$  (kg) vyjadřuje tělesnou hmotnost,  $W$  (cm) tělesnou výšku,  $R_0$  ( $\Omega$ ) rezistenci při nulové frekvenci a  $R_\infty$  ( $\Omega$ ) intracelulární rezistenci při nekonečné frekvenci. Finální objem celkové tělesné tekutiny je dán prostým součtem ECW a ICW.

Určením obsahu tělních tekutin se zabýval i Lukaski et al. (1994), který se zaměřoval přímo na těhotné ženy, ženy plánující těhotenství a ženy v období laktace. Jeho longitudinální studie se účastnilo 15 těhotných žen ve věku 21–37 let s normálním průběhem těhotenství a porodem bez komplikací, dále 50 zdravých netěhotných žen ve věku 22–35 let a 10 těhotných žen ve věku 22–35 let, které čekaly svého prvního potomka. Pomocí antropometrických měření, BIA a diluce deuteria

hodnotil změny v jejich tělesném složení každých přibližně 90 dní a na základě získaných poznatků a dat vytvořil rovnici pro predikci celkové tělesné tekutiny u těhotných žen vyjádřené v kilogramech:

$$TBW = 0,7 * \left(\frac{H^2}{R}\right) + 0,051 * C_{abd} - 0,069 * W - 0,029 * X - 0,043 * HCT + 2,833;$$

kde  $H$  (cm) vyjadřuje tělesnou výšku,  $R$  ( $\Omega$ ) rezistenci při 50 kHz,  $C_{abd}$  (cm) obvod břicha,  $W$  (kg) tělesnou hmotnost,  $X$  ( $\Omega$ ) reaktanci při 50 kHz a  $HCT$  je hematokrit.

Predikci objemu celkové tělesné tekutiny je možné provést také na základě znalosti hmotnosti tukuprosté hmoty. Gonzales-Correa et al. (2016) k tomu využila celotělovou bioimpedanční analýzu při frekvenci 50 kHz a hmotnost FFM v kilogramech zjistila ze vztahu:

$$FFM = 0,240 * W + 0,022 * R_{50} + 0,118 * X_{50} + 0,939 * \frac{H^2}{R_{50}},$$

ve kterém  $W$  (kg) vyjadřuje tělesnou hmotnost,  $R_{50}$  ( $\Omega$ ) rezistenci při frekvenci 50 kHz,  $X_{50}$  ( $\Omega$ ) reaktanci při frekvenci střídavého proudu 50 kHz a  $H$  (cm) tělesnou výšku. Zjištěnou hmotnost FFM (kg) spolu s hydratačním faktorem, který vyjadřuje procentuální zastoupení tekutiny v tukuprosté hmotě, využila k určení objemu TBW v litrech podle rovnice:

$$TBW = FFM * 72,9 \%$$

Tyto výsledky Gonzales-Correa et al. (2016) porovnávala s objemem TBW zjištěným pomocí vzorce na základě antropometrických měření podle Watsona a s objemem TBW získaného provedením referenční metody diluce deuteria. Zabývala se především vzájemnou zaměnitelností těchto dvou rychlých nepřímých metod k predikci TBW, které by vedlo k usnadnění v klinické praxi. V provedené studii ale došla k závěru, že se výsledky liší a metody by neměly být k predikci objemu TBW používány zaměnitelně.

## **6 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST**

### **6.1 Informace o klinické studii**

Jedná se o longitudinální klinickou studii, která probíhá za spolupráce Farmaceutické fakulty Univerzity Karlovy a Porodnické a gynekologické kliniky Fakultní nemocnice v Hradci Králové. Provádění klinické studie je schválené Etickou komisí Fakultní nemocnice v Hradci Králové.

Vyšetření těhotných žen probíhala pod vedením doc. PharmDr. Miloslava Hronka, PhD. a asistence Mgr. Simony Najpaverové v ambulanci klinické fyziologie ve Výukovém a výzkumném centru Univerzity Karlovy v Hradci Králové.

Účast ve studii je zcela dobrovolná a na začátku každého vyšetření byly ženy řádně poučeny o jeho průběhu. Svůj souhlas se zařazením do studie, s prováděnými procedurami a poskytnutím osobních dat potvrdily následně podpisem informovaného souhlasu.

### **6.2 Charakteristika žen zařazených do studie**

Naši výzkumnou skupinu tvořilo 10 těhotných žen ve věku 25 až 39 let, které se do probíhající studie dobrovolně přihlásily. Všechny ženy absolvovaly celkem tři vyšetření, ze kterých byla získána dále použitá data. Vzhledem k nenormálnímu rozdělení dat jsou uváděny jako jejich mediány a percentily.

Žena s výškou 164,0 cm byla nejmenší účastnicí studie a od nejvyšší ženy ji dělilo 13,0 cm. Medián tělesných výšek všech žen z této výzkumné skupiny byl 174,0 cm. Medián jejich hmotností před otěhotněním byl 65,0 kg. Při hodnocení podle antropometrického indexu BMI, měla před otěhotněním jedna žena podváhu, dvě měly nadváhu, jedna trpěla obezitou prvního stupně a zbylých šest žen spadalo podle Světové zdravotnické organizace do kategorie s normální hmotností. (Body mass index – BMI, 2022)

Základní antropometrické údaje žen zařazených do studie jsou uvedeny v tabulce 1.

**Tabulka 1 Vstupní antropometrické údaje žen v klinické studii**

| Iniciály těhotné ženy | Věk (roky) | Tělesná výška (cm) | Hmotnost před graviditou (kg) | NW (kg)      | BMI před graviditou |
|-----------------------|------------|--------------------|-------------------------------|--------------|---------------------|
| TT                    | 28         | 172,0              | 82,00                         | 63,40        | 27,7                |
| ZV                    | 28         | 169,5              | 65,00                         | 61,91        | 22,6                |
| ČI                    | 25         | 176,0              | 56,00                         | 65,77        | 18,1                |
| CHI                   | 29         | 177,0              | 81,00                         | 66,36        | 25,9                |
| VP                    | 39         | 169,0              | 54,00                         | 61,62        | 18,9                |
| ST                    | 29         | 166,5              | 62,00                         | 60,13        | 22,4                |
| HK                    | 29         | 177,0              | 76,00                         | 66,36        | 24,3                |
| HJ                    | 30         | 164,0              | 63,00                         | 58,65        | 23,4                |
| UM                    | 28         | 177,0              | 100,00                        | 66,36        | 31,9                |
| VSP                   | 30         | 177,0              | 65,00                         | 66,36        | 20,7                |
| <b>25 % percentil</b> | <b>28</b>  | <b>168,4</b>       | <b>60,50</b>                  | <b>61,25</b> | <b>20,3</b>         |
| <b>Medián</b>         | <b>29</b>  | <b>174,0</b>       | <b>65,00</b>                  | <b>64,58</b> | <b>23,0</b>         |
| <b>75 % percentil</b> | <b>30</b>  | <b>177,0</b>       | <b>81,25</b>                  | <b>66,36</b> | <b>26,3</b>         |

Vysvětlivky: NW (*normal weight*) – normální, ideální hmotnost, BMI – *Body mass index*

### 6.3 Metodika a postup měření

Každá těhotná žena byla vyšetřena v naší ambulanci třikrát. První vyšetření proběhlo mezi 17.–27. týdnem gravidity, druhé mezi 28.–35. týdnem a poslední mezi 36.–38. týdnem těhotenství.

Měření se uskutečnilo vždy v ranních a dopoledních hodinách (mezi 7 a 12 hodinou) s podmínkou lačnění v délce 12 hodin.

#### 6.3.1 Antropometrická měření

Mezi antropometrické parametry, které byly u žen zjišťovány, patřily tělesná výška, tělesná hmotnost a další šířkové, délkové a obvodové rozměry uvedené dále. Některé parametry byly měřeny při každém vyšetření, některé pouze při první návštěvě.

Měření tělesné výšky bylo u těhotných žen provedeno pomocí stadiometru při prvním vyšetření. Žena se postavila zády ke stupnici stadiometru, stála ve vzpřímené poloze s pažemi volně podél těla, paty a špičky nohou byly u sebe. Měření se provádělo bez obuvi. Hlava byla orientována ve frankfurtské horizontále, kdy dolní okraj očníce a horní okraj zevního zvukovodu byly v rovině (Hronek, 2011).

Vrchní pohyblivá část stadiometru se posouvala k temeni hlavy. Právě ve chvíli, kdy se temene hlavy dotkla, byla odečtena tělesná výška s přesností na 0,5 cm.

Při prvním vyšetření bylo provedeno také stanovení hmotnosti kostry těhotné ženy. Výpočet hmotnosti kostí se provedl na základě Matiegkovy metody. Měření potřebných parametrů probíhalo vleže na zádech, paže byly volně podél těla s dlaněmi otočenými dolů a posuvným měřítkem byly změřeny šířka epikondylu humeru, šířka zápěstí, šířka kotníku a šířka epikondylu femuru. Hodnoty byly odečteny s přesností na 1 milimetr. Naměřené hodnoty se poté dosadily do rovnice:

$$O = o^2 * v * k_1,$$

kde  $O$  (kg) vyjadřuje hmotnost kostry,  $v$  (cm) tělesnou výšku a za  $k_1$  je dosazen koeficient 1,2. Malé  $o$  bylo vypočítáno podle následujícího vztahu:

$$o = \frac{(o_1 + o_2 + o_3 + o_4)}{4},$$

do kterého se za  $o_1$  dosadila šířka epikondylu humeru, za  $o_2$  šířka epikondylu femuru, za  $o_3$  šířka zápěstí a za  $o_4$  šířka kotníku. Všechny hodnoty byly dosazeny vždy v milimetrech. (Kokaisl, 2007)

Tělesná hmotnost se u žen stanovovala vážením na váze při každém vyšetření. K vážení byla použita vždy osobní váha *Tanita RD-901* uvedená na obrázku 6, která uvádí tělesnou hmotnost s přesností na setiny kilogramu. Tato váha nám poskytla i orientační informace o množství tělesného tuku a celkové tělesné vody v procentech, hmotnosti svalové hmoty a kostí, fyzické kondici, viscerálním tuku, bazálním metabolismu a metabolickém věku těhotné ženy. Před samotným vážením se váha nastavila zadáním věku, pohlaví a tělesné výšky konkrétní těhotné ženy. Během vážení na ní žena klidně stála a provedeno bylo vždy ve spodním prádle a bez ponožek.



**Obrázek 6 Osobní váha Tanita používaní k určení tělesné hmotnosti**

Zdroj: <https://www.tanita-eshop.cz/tanita-rd-901-bila> (17. 11. 2021)

Při každém vyšetření byly také měřeny tělesné obvody. Vždy se měřilo celkem 9 přesně daných obvodových rozměrů, které jsou uvedeny v tabulce 2. Měřilo se za pomoci krejčovského metru u těhotné ženy, která uvolněně stála ve spodním prádle. Hodnoty se odečítaly s přesností na 0,5 cm.

**Tabulka 2 Obvodové míry a místa jejich měření**

| Měřený obvod        | Upřesnění místa pro měření  |
|---------------------|---|
| Obvod hlavy         | Vzadu přes největší vyklenutí týlu a vpředu nad kořenem nosu (těsně nad obočím)   |
| Obvod hrudníku      | Ve výšce středu hrudní kosti  |
| Obvod pasu          | Ve výši pupku   |
| Obvod boků          | Přes hýždě v jejich nejširším vyklenutí   |
| Obvod levé paže     | Uprostřed paže (mezi nadpažkem a výběžkem loketní kosti) – paže volně visí  |
| Obvod předloktí     | Nejširší místo předloktí, kde jsou nejmohutněji vyklenuté svaly   |
| Obvod stehna        | Těsně pod gluteální rýhou – v mírném rozkročení a váhou rovnoměrně rozloženou na obě končetiny  |
| Obvod středu stehna | Poloviční vzdálenost mezi kolenem a kyčlí (v polovině stehenní kosti)   |
| Obvod lýtky         | Nejširší místo lýtky, kde je nejmohutněji vyklenutý lýtkový sval – v mírném rozkročení a váhou rovnoměrně rozloženou na obě končetiny |

Zdroj: Kokaisl, 2007; Kopecký et al., 2013 (přepřacováno z textu do tabulky)

Posledním antropometrickým parametrem, který byl u těhotných žen při každém vyšetření zjišťován, byla tloušťka kožních řas. Ta byla měřena pomocí kaliperu *BEST II K-501* na předem určených místech. Měření se provádělo u ženy, která klidně a uvolněně stála ve spodním prádle. Kožní řasy bylo nutné zvedat správným způsobem a to tak, že ukazováčkem a palcem levé ruky se vytáhla kůže s podkožním vazivem a tukovou vrstvou a vytvořená řasa se změřila kaliperem přibližně ve vzdálenosti 1 centimetr od prstů levé ruky. Tloušťka kožní řasy se odečítala s přesností na milimetry do dvou sekund od přiložení kaliperu, aby nedošlo ke ztenčení řasy vlivem vytlačení podkožního tuku měřicími hroty kaliperu. Každá kožní řasa se takto změřila třikrát a výsledná tloušťka byla dána průměrem z těchto třech měření. (Hronek, 2011; Kopecký et al., 2013)

Technika měření a vytažení kožní řasy spolu s používaným kaliperem jsou na obrázku 7, měřené kožní řasy společně s poznámkami pro správné měření jsou uvedeny v tabulce 3.



**Obrázek 7 Technika měření tloušťky kožních řas**

Zdroj: <https://www.optingservis.cz/images/documents/antr%20kaliper%20best%20k%20501.pdf> (21. 11. 2021)

**Tabulka 3 Kožní řasy a místa jejich měření**

| Kožní řasa                | Upřesnění místa pro měření  |
|---------------------------|---|
| Řasa na tváři             | Pod spánkem – řasa se uchopí vodorovně v úrovni nozder  |
| Řasa na podbradku         | Svislá řasa na krku pod jazykou – hlava je lehce zvednutá, kůže na krku uvolněná  |
| Řasa subskapulární        | Pod dolním úhlem lopatky na zádech – řasa se uchopí pod úhlem 45°, aby kopírovala průběh žeber  |
| Řasa nad pravým tricipsem | Svislá řasa v polovině zadní strany paže (mezi nadpažkem a loktem) – paže je volně podél těla   |
| Řasa nad bicipsem         | Svislá řasa na přední straně paže nad vrcholem břiška dvojhlavého pažního svalu – paže je volně podél těla s dlaní otočenou dopředu                                   |
| Řasa předloktí            | Svislá řasa na dlaňové straně ve výšce, kde je obvod předloktí nejširší – paže je volně podél těla  |
| Řasa nad levým tricipsem  | Svislá řasa v polovině zadní strany paže (mezi nadpažkem a loktem) – paže je volně podél těla   |
| Řasa na hrudníku I        | Šikmo vedoucí řasa v místě <i>plica axillaris anterior</i>  |
| Řasa na hrudníku II       | Ve výšce desátého žebra, kde protíná přední axilární čáru – řasa se uchopí šikmo, aby kopírovala průběh žebra   |
| Řasa suprailiackální      | Nad hřebenem kyčelní kosti, kde protíná přední axilární čáru – řasa se uchopí šikmo, aby kopírovala průběh kyčelní kosti  |
| Řasa na bříše             | Mezi pupkem a předním horním trnem kyčelním – vodorovná řasa ve čtvrtině této vzdálenosti směrem od pupku   |
| Řasa na stehně            | Svislá řasa na přední straně stehna nad čéškou – váha těla je přenesená na druhou končetinu, měřená končetina je uvolněná, ohnutá v kolenu a opřená o špičku chodidla |
| Řasa ve středu stehna     | Svislá řasa ve středu přední strany stehna – váha těla je přenesená na druhou končetinu, měřená končetina je uvolněná, ohnutá v kolenu a opřená o špičku chodidla     |
| Řasa na lýtku             | Svislá řasa 5 cm pod zákolenní jamkou – váha těla je přenesená na druhou končetinu, měřená končetina je uvolněná, ohnutá v kolenu a opřená o špičku chodidla          |

Zdroj: Hronek, 2011; Kopecný et al., 2013 (přepřacováno z textu do tabulky)

### 6.3.2 Bioimpedanční spektroskopie

Individuální složení těla a stav tekutin byly u těhotných žen měřeny pomocí bioimpedanční spektroskopie, která se prováděla při každém vyšetření. Použit byl přístroj BCM – *Body Composition Monitor* od německé společnosti *Fresenius Medical Care* uvedený na obrázku 8. Bioimpedance je tímto přístrojem měřena na 50 frekvencích v rozsahu od 5 kHz do 1000 kHz. Měření nám poskytlo důležité informace o objemu celkové tělesné tekutiny, extracelulární tekutiny,



intracelulární tekutiny, převodnění, o množství netučné tkáně, tukové tkáně a buněčné hmotě, kterou tvoří metabolicky aktivní buňky těla. (BCM – Body Composition Monitor, nedatováno)



**Obrázek 8 Příklad BCM – Body Composition Monitor**

Zdroj: <https://www.freseniusmedicalcare.cz/cs/odborna-verejnost/hemodialyza/rizeni-prijmu-tekutin-pri-hemodialyze/> (22. 11. 2021)

V průběhu celého vyšetření těhotná žena ležela na zádech a na sobě měla pouze spodní prádlo. Paže s dlaněmi otočenými dolů byly mírně odtaženy od těla, aby se ho nedotýkaly a nevznikalo tak vodivostní přemostění, které by znemožnilo průběh měření. Ze stejného důvodu byly i dolní končetiny mírně roztaženy od sebe, aby se vzájemně nedotýkaly. Do přístroje se vložila prázdná paměťová karta *PatientCard* a zadáním pohlaví, věku, tělesné výšky a hmotnosti konkrétní vyšetřované ženy se přístroj připravil k použití. Kůže v místě přilepení elektrod se očistila roztokem lihobenzínu, na levou ruku a levou nohu se nalepilo vždy po dvou elektrodách. Proximální elektroda byla umístěna vodorovně v místě ohybu zápěstí a nártu, distální elektroda byla umístěna rovněž vodorovně těsně nad metakarpophalangeální a metatarsophalangeální klouby. Zkontrolovalo se jejich správné přilnutí k pokožce

a asi po pěti minutách od nalepení elektrod se na ně připevnilly svorky přístroje (červená svorka k distální elektrodě, černá svorka k proximální elektrodě). Poté se mohlo zahájit samotné měření, které trvalo přibližně 2 minuty. Po jeho dokončení bylo možné svorky a elektrody odstranit. Naměřené hodnoty byly uloženy na vloženou *PatientCard* a jejich další analýza byla provedena v softwaru *Fluid Management Tool (BCM – Body Composition Monitor, nedatováno)*.

## 6.4 Statistické zpracování výsledků

Zpracování dat bylo provedeno v tabulkovém procesoru *Microsoft Excel* a programu *GraphPad Prism*. Získaná data byla vyhodnocena pomocí deskriptivní statistiky.

Pro průkaz normality byl použit D'Agostino & Pearsonův test, který prokázal, že se jedná o data s nenormálním rozdělením. Proto jsou dále uváděny jako mediány a percentily.

K vyhodnocení statisticky významných změn jednotlivých parametrů v průběhu těhotenství byl použit neparametrický Friedmanův test. Statistická závislost mezi jednotlivými parametry byla vyhodnocena na základě provedení Spearmanovy korelace v programu *GraphPad Prism*. Korelační analýza byla provedena jako souhrnná se všemi vyšetřeními. Míra korelace je vyjádřena bezrozměrným korelačním koeficientem  $r$ , který může nabývat hodnot od -1 do +1. Kladná hodnota korelačního koeficientu vyjadřuje přímo úměrnou závislost mezi parametry, záporná hodnota nepřímo úměrnou závislost a hodnota 0 vyjadřuje, že mezi parametry závislost neexistuje. Jak je daná korelace silná, určuje velikost korelačního koeficientu. Čím více se korelační koeficient blíží -1 nebo +1, tím je korelace statisticky významnější. Hladina významnosti ( $\alpha$ ) byla u Friedmanova testu i Spearmanovy korelace nastavena vždy na hodnotu 0,05.

Naměřené a vypočítané hodnoty byly zpracovány do tabulek a grafů a jsou uvedené v kapitole 7.

## 7 VÝSLEDKY

Data o stavu tělních tekutin u těhotných žen byla získána měřením pomocí bioimpedanční spektroskopie. Hodnoty jsou uvedeny v tabulkách 4 až 6 podle období, ve kterém bylo měření uskutečněno. Protože spolu jednotlivé kompartmenty lidského těla úzce souvisejí, jsou pro úplnost uvedeny všechny hodnoty naměřené přístrojem spolu s aktuální hmotností dané ženy a hodnoty týkající se přímo tělních tekutin jsou v těchto tabulkách zvýrazněny červeně.

**Tabulka 4 Hodnoty z analýzy složení těla mezi 17.–27. týdnem gravidity**

| Iniciály těhotné ženy  | TT     | ZV     | ČI     | CHI    | VP     | ST     | HK     | HJ     | UM     | VSP    | 25% percentil | Medián | 75% percentil |
|------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------------|--------|---------------|
| Aktuální hmotnost (kg) | 85,10  | 76,75  | 59,80  | 90,35  | 64,60  | 72,00  | 82,80  | 73,35  | 107,30 | 68,90  | 67,83         | 75,05  | 86,41         |
| BMI                    | 28,8   | 26,6   | 19,3   | 28,9   | 23,2   | 25,8   | 26,4   | 27,3   | 34,8   | 22,0   | 22,9          | 26,5   | 28,8          |
| OH (l)                 | 1,1    | -0,4   | 1,4    | 0,6    | 1,2    | 0,7    | 1,0    | -0,6   | -0,6   | 1,6    | -0,5          | 0,9    | 1,3           |
| OH class               | +1     | 0      | +1     | 0      | +1     | 0      | 0      | 0      | 0      | +1     | +1            | +1     | +1            |
| TBW (l)                | 38,7   | 35,7   | 29,8   | 37,5   | 28,0   | 34,5   | 40,8   | 29,2   | 45,3   | 33,7   | 29,7          | 35,1   | 39,2          |
| ECW (l)                | 18,2   | 15,8   | 13,9   | 17,9   | 13,7   | 15,8   | 18,6   | 13,5   | 20,8   | 15,9   | 13,9          | 15,9   | 18,3          |
| ICW (l)                | 20,5   | 19,9   | 15,8   | 19,5   | 14,3   | 18,7   | 22,2   | 15,7   | 24,4   | 17,8   | 15,8          | 19,1   | 20,9          |
| E/l                    | 0,89   | 0,80   | 0,88   | 0,92   | 0,96   | 0,84   | 0,84   | 0,86   | 0,85   | 0,90   | 0,84          | 0,87   | 0,91          |
| E/l class              | +1     | 0      | +1     | +1     | +1     | +1     | +1     | +1     | +1     | +1     | +1            | +1     | +1            |
| LTM (kg)               | 40,0   | 40,0   | 32,5   | 35,9   | 26,9   | 37,9   | 45,5   | 28,4   | 45,6   | 36,1   | 31,5          | 37,0   | 41,4          |
| rel LTM (%)            | 47,0   | 52,1   | 54,3   | 39,7   | 41,7   | 52,6   | 55,0   | 38,8   | 41,9   | 52,3   | 41,2          | 49,6   | 53,0          |
| LTI                    | 13,5   | 13,8   | 10,5   | 11,5   | 9,6    | 13,6   | 14,5   | 10,6   | 14,6   | 11,5   | 10,6          | 12,5   | 14,0          |
| ATM (kg)               | 44,1   | 37,3   | 26,0   | 54,0   | 36,5   | 33,5   | 36,4   | 45,6   | 64,1   | 31,3   | 33,0          | 36,9   | 47,7          |
| FTI                    | 14,9   | 12,9   | 8,4    | 17,2   | 13,1   | 12,0   | 11,6   | 17,0   | 20,5   | 10,0   | 11,2          | 13,0   | 17,1          |
| Fat (kg)               | 32,4   | 27,4   | 19,1   | 39,7   | 26,8   | 24,7   | 26,7   | 33,5   | 47,1   | 23,0   | 24,3          | 27,1   | 35,1          |
| rel Fat (%)            | 38,1   | 35,7   | 32,0   | 43,9   | 41,5   | 34,2   | 32,3   | 45,7   | 43,3   | 33,4   | 33,1          | 36,9   | 43,5          |
| Body cell mass (kg)    | 21,9   | 22,1   | 16,1   | 18,4   | 13,0   | 20,9   | 25,4   | 14,4   | 25,4   | 18,6   | 15,7          | 19,8   | 22,9          |
| R <sub>0</sub> (Ω)     | 579,4  | 666,0  | 773,8  | 647,7  | 735,4  | 625,9  | 586,8  | 768,6  | 564,4  | 684,7  | 585,0         | 656,9  | 743,7         |
| R <sub>∞</sub> (Ω)     | 1421,7 | 1432,7 | 2309,2 | 1663,6 | 2246,2 | 1492,0 | 1375,8 | 1838,6 | 1193,4 | 1943,4 | 1410,2        | 1577,8 | 2019,1        |
| Cm (nF)                | 1,49   | 1,53   | 0,80   | 1,26   | 0,71   | 1,31   | 1,68   | 1,22   | 2,00   | 0,84   | 0,83          | 1,29   | 1,57          |
| Td (ns)                | 0,70   | 1,89   | 0,42   | 3,13   | -1,10  | 2,91   | 1,55   | -2,56  | 2,17   | 3,52   | 0,04          | 1,72   | 2,97          |

Vysvětlivky: BMI - *Body mass index*; OH - *overhydration* (převodnění, nadbytek extracelulární tekutiny); OH class – klasifikace převodnění (+1 – nadbytek, 0 - normální, -1 – dehydratace); TBW - *total body water* (celková tělesná tekutina); ECW - *extracellular water* (extracelulární tekutina); ICW - *intracellular water* (intracelulární tekutina); E/l - poměr ECW/ICW; E/l class – klasifikace poměru ECW/ICW (+1 – nadbytek ECW, 0 – normální, -1 – nadbytek ICW); LTM – *lean tissue mass* (netučná tkáň); rel LTM – procentuální zastoupení netučné tkáně; LTI – index netučné tkáně; ATM – *adipose tissue mass* (tuková tkáň); FTI – index tukové hmoty; Fat – tuk; rel Fat – procentuální zastoupení tuku; *Body cell mass* – buněčná hmota s metabolickou aktivitou; R<sub>0</sub> – rezistence při frekvenci 0 kHz; R<sub>∞</sub> – rezistence při nekonečné frekvenci; Cm – elektrická kapacitance intracelulární membrány; Td – nežádoucí rozptyl kapacitance

**Tabulka 5 Hodnoty z analýzy složení těla mezi 28.–35. týdnem gravidity**

| Iniciály těhotné ženy  | TT     | ZV     | ČI     | CHI    | VP     | ST     | HK     | HJ     | UM     | VSP    | 25 % percentil | Medián | 75 % percentil |
|------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|----------------|--------|----------------|
| Aktuální hmotnost (kg) | 88,20  | 81,20  | 62,25  | 96,05  | 69,55  | 72,15  | 86,00  | 71,70  | 114,90 | 74,00  | 71,16          | 77,60  | 90,16          |
| BMI                    | 29,8   | 28,1   | 20,1   | 30,6   | 24,4   | 25,9   | 27,5   | 26,7   | 36,7   | 23,6   | 24,2           | 27,1   | 30,0           |
| OH (l)                 | -0,2   | -0,9   | 1,0    | -0,8   | 1,5    | -0,8   | 0,2    | -0,7   | -1,4   | 1,3    | -0,8           | -0,5   | 1,1            |
| OH class               | 0      | 0      | 0      | 0      | +1     | 0      | 0      | 0      | -1     | +1     | -0,75          | +0,50  | +1             |
| TBW (l)                | 39,1   | 36,7   | 31,6   | 41,1   | 32,4   | 32,9   | 41,0   | 28,4   | 46,3   | 35,7   | 32,2           | 36,2   | 41,0           |
| ECW (l)                | 17,7   | 16,1   | 14,4   | 18,5   | 15,6   | 14,4   | 18,4   | 13,1   | 21,1   | 16,7   | 14,4           | 16,4   | 18,4           |
| ICW (l)                | 21,4   | 20,6   | 17,2   | 22,6   | 16,8   | 18,5   | 22,6   | 15,3   | 25,3   | 19,0   | 17,1           | 19,8   | 22,6           |
| E/I                    | 0,83   | 0,78   | 0,84   | 0,82   | 0,93   | 0,78   | 0,82   | 0,85   | 0,83   | 0,88   | 0,81           | 0,83   | 0,86           |
| E/I class              | +1     | 0      | +1     | 0      | +1     | 0      | 0      | +1     | +1     | +1     | +1             | +1     | +1             |
| LTM (kg)               | 41,7   | 40,8   | 35,8   | 43,2   | 33,0   | 36,8   | 45,7   | 27,7   | 46,4   | 38,4   | 35,1           | 39,6   | 43,8           |
| rel LTM (%)            | 47,3   | 50,3   | 57,4   | 45,0   | 47,5   | 50,9   | 53,2   | 38,7   | 40,4   | 51,9   | 43,9           | 48,9   | 52,2           |
| LTI                    | 14,1   | 14,1   | 11,5   | 13,8   | 11,6   | 13,2   | 14,6   | 10,3   | 14,8   | 12,2   | 11,6           | 13,5   | 14,2           |
| ATM (kg)               | 46,9   | 41,4   | 25,7   | 53,8   | 35,0   | 36,3   | 40,2   | 44,8   | 70,1   | 34,4   | 34,9           | 40,8   | 48,6           |
| FTI                    | 15,9   | 14,3   | 8,3    | 17,2   | 12,2   | 13,0   | 12,8   | 16,7   | 22,4   | 11,0   | 11,9           | 13,7   | 16,8           |
| Fat (kg)               | 34,5   | 30,4   | 18,9   | 39,5   | 25,7   | 26,7   | 29,6   | 32,9   | 51,5   | 25,3   | 25,6           | 30,0   | 35,8           |
| rel Fat (%)            | 39,1   | 37,4   | 30,3   | 41,2   | 36,9   | 37,0   | 34,4   | 45,9   | 44,8   | 34,2   | 34,4           | 37,2   | 42,1           |
| Body cell mass (kg)    | 23,1   | 22,7   | 18,4   | 23,7   | 17,2   | 20,1   | 25,5   | 13,9   | 26,0   | 20,2   | 18,1           | 21,5   | 24,2           |
| R <sub>0</sub> (Ω)     | 613,1  | 663,7  | 749,8  | 634,3  | 643,2  | 716,0  | 608,4  | 795,9  | 569,0  | 659,6  | 611,9          | 651,4  | 724,5          |
| R <sub>∞</sub> (Ω)     | 1330,9 | 1360,5 | 2029,1 | 1338,0 | 1825,9 | 1522,3 | 1339,6 | 1905,3 | 1140,4 | 1746,9 | 1336,2         | 1441,4 | 1845,8         |
| Cm (nF)                | 1,67   | 1,65   | 0,92   | 1,65   | 0,87   | 1,35   | 1,78   | 1,12   | 2,15   | 0,98   | 0,97           | 1,50   | 1,70           |
| Td (ns)                | 2,30   | 1,90   | -0,24  | 6,25   | 1,41   | 3,01   | 2,48   | 0,01   | 0,40   | 4,75   | 0,30           | 2,10   | 3,45           |

Vysvětlivky: BMI - *Body mass index*; OH - *overhydration* (převodnění, nadbytek extracelulární tekutiny); OH class – klasifikace převodnění (+1 – nadbytek, 0 - normální, -1 – dehydratace); TBW - *total body water* (celková tělesná tekutina); ECW - *extracellular water* (extracelulární tekutina); ICW - *intracellular water* (intracelulární tekutina); E/I - poměr ECW/ICW; E/I class – klasifikace poměru ECW/ICW (+1 – nadbytek ECW, 0 – normální, -1 – nadbytek ICW); LTM – *lean tissue mass* (netučná tkáň); rel LTM – procentuální zastoupení netučné tkáně; LTI – index netučné tkáně; ATM – *adipose tissue mass* (tuková tkáň); FTI – index tukové hmoty; Fat – tuk; rel Fat – procentuální zastoupení tuku; *Body cell mass* – buněčná hmota s metabolickou aktivitou; R<sub>0</sub> – rezistence při frekvenci 0 kHz; R<sub>∞</sub> – rezistence při nekonečné frekvenci; Cm – elektrická kapacitance intracelulární membrány; Td – nežádoucí rozptyl kapacitance

**Tabulka 6 Hodnoty z analýzy složení těla mezi 36.–38. týdnem gravidity**

| Iniciály těhotné ženy  | TT     | ZV     | ČI     | CHI    | VP     | ST     | HK     | HJ     | UM     | VSP    | 25% percentil | Medián | 75% percentil |
|------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------------|--------|---------------|
| Aktuální hmotnost (kg) | 91,50  | 85,80  | 65,45  | 100,00 | 72,45  | 74,85  | 89,25  | 74,60  | 119,70 | 77,60  | 74,06         | 81,70  | 93,63         |
| BMI                    | 30,9   | 29,7   | 21,1   | 31,9   | 25,4   | 26,9   | 28,5   | 27,7   | 38,2   | 24,8   | 25,3          | 28,1   | 31,2          |
| OH (l)                 | 0,7    | -0,6   | 0,5    | -0,1   | 1,2    | -0,1   | 0,4    | -0,5   | -2,0   | 1,9    | -0,5          | 0,2    | 0,8           |
| OH class               | 0      | 0      | 0      | 0      | +1     | 0      | 0      | 0      | -1     | +1     | -1            | +1     | +1            |
| TBW (l)                | 43,1   | 38,9   | 32,6   | 42,9   | 32,1   | 32,4   | 41,1   | 29,8   | 49,8   | 36,4   | 32,3          | 37,7   | 43,0          |
| ECW (l)                | 19,7   | 17,2   | 14,6   | 19,8   | 15,6   | 14,9   | 18,8   | 13,9   | 22,1   | 17,5   | 14,8          | 17,4   | 19,7          |
| ICW (l)                | 23,4   | 21,6   | 18,0   | 23,1   | 16,6   | 17,5   | 22,3   | 16,0   | 27,8   | 18,9   | 17,3          | 20,3   | 23,2          |
| E/l                    | 0,84   | 0,80   | 0,81   | 0,86   | 0,94   | 0,85   | 0,85   | 0,87   | 0,79   | 0,93   | 0,81          | 0,85   | 0,89          |
| E/l class              | +1     | 0      | 0      | +1     | +1     | +1     | +1     | +1     | 0      | +1     | +1            | +1     | +1            |
| LTM (kg)               | 46,9   | 42,8   | 37,2   | 43,9   | 31,7   | 33,4   | 44,1   | 29,0   | 52,5   | 37,4   | 33,0          | 40,1   | 44,8          |
| rel LTM (%)            | 51,3   | 49,9   | 56,8   | 43,9   | 43,7   | 44,5   | 49,4   | 38,9   | 43,9   | 48,2   | 43,9          | 46,4   | 50,3          |
| LTI                    | 15,9   | 14,8   | 12,0   | 14,0   | 11,1   | 12,0   | 14,1   | 10,8   | 16,8   | 11,9   | 11,7          | 13,0   | 15,1          |
| ATM (kg)               | 44,0   | 43,8   | 28,0   | 56,3   | 39,5   | 41,8   | 44,9   | 46,2   | 69,4   | 38,4   | 39,2          | 43,9   | 48,7          |
| FTI                    | 14,9   | 15,2   | 9,0    | 18,0   | 13,8   | 15,0   | 14,3   | 17,2   | 22,2   | 12,3   | 13,4          | 15,0   | 17,4          |
| Fat (kg)               | 32,4   | 32,2   | 20,6   | 41,4   | 29,0   | 30,7   | 33,0   | 34,0   | 51,0   | 28,2   | 28,8          | 32,3   | 35,9          |
| rel Fat (%)            | 35,4   | 37,5   | 31,4   | 41,4   | 40,1   | 41,0   | 36,9   | 45,5   | 42,6   | 36,4   | 36,2          | 38,8   | 41,7          |
| Body cell mass (kg)    | 26,9   | 24,1   | 19,5   | 24,2   | 16,2   | 17,7   | 24,4   | 14,8   | 30,4   | 19,5   | 17,3          | 21,8   | 25,0          |
| R <sub>0</sub> (Ω)     | 531,3  | 616,6  | 751,6  | 583,8  | 658,3  | 693,5  | 598,5  | 743,7  | 541,3  | 625,3  | 573,2         | 621,0  | 706,1         |
| R <sub>∞</sub> (Ω)     | 1165,4 | 1265,4 | 1884,9 | 1294,9 | 1856,6 | 1652,4 | 1366,7 | 1788,2 | 991,1  | 1754,5 | 1240,4        | 1509,6 | 1805,3        |
| Cm (nF)                | 1,77   | 1,72   | 0,96   | 1,57   | 0,90   | 1,15   | 1,72   | 1,18   | 2,48   | 0,87   | 0,95          | 1,38   | 1,73          |
| Td (ns)                | 1,21   | -0,18  | 4,60   | 7,39   | 1,72   | 1,48   | 4,79   | -0,52  | 2,45   | 0,93   | 0,65          | 1,60   | 4,65          |

Vysvětlivky: BMI - *Body mass index*; OH - *overhydration* (převodnění, nadbytek extracelulární tekutiny); OH class – klasifikace převodnění (+1 – nadbytek, 0 - normální, -1 – dehydratace); TBW - *total body water* (celková tělesná tekutina); ECW - *extracellular water* (extracelulární tekutina); ICW - *intracellular water* (intracelulární tekutina); E/l - poměr ECW/ICW; E/l class – klasifikace poměru ECW/ICW (+1 – nadbytek ECW, 0 – normální, -1 – nadbytek ICW); LTM – *lean tissue mass* (netučná tkáň); rel LTM – procentuální zastoupení netučné tkáně; LTI – index netučné tkáně; ATM – *adipose tissue mass* (tuková tkáň); FTI – index tukové hmoty; Fat – tuk; rel Fat – procentuální zastoupení tuku; *Body cell mass* – buněčná hmota s metabolickou aktivitou; R<sub>0</sub> – rezistence při frekvenci 0 kHz; R<sub>∞</sub> – rezistence při nekonečné frekvenci; Cm – elektrická kapacitance intracelulární membrány; Td – nežádoucí rozptyl kapacitance

Z výsledků je zřejmé, že se v průběhu těhotenství nezvyšovala jen hmotnost (medián hmotnosti těhotných žen se zvýšil z původních 75,05 kg na konečných 81,70 kg), ale zvyšovaly se i objemy TBW, ECW i ICW s výjimkou jedné ženy, u které došlo ke snížení.

Medián objemu TBW byl při prvním vyšetření u těhotných žen 35,1 l, při druhém vyšetření byl 36,2 l a při posledním vyšetření vzrostl na 37,7 l. V průběhu prvního vyšetření byl pozorován rozdíl mezi maximálním objemem TBW a minimálním objemem TBW 17,3 l. Při druhém vyšetření byl nejnižší objem TBW roven 28,4 l a maximální objem roven 46,3 l. Rozdíl mezi objemy při druhém vyšetření byl tedy mezi ženami 17,9 l. Při třetím měření byl rozdíl mezi nejnižším a nejvyšším objemem TBW 20,0 l.

Medián objemu ECW byl u žen při prvním vyšetření 15,9 l, při druhém vyšetření se zvýšil o 0,5 l na 16,4 l. Mezi 36. až 38. týdnem gravidity se zvýšil o jeden celý litr na 17,4 l. Medián objemu ICW se v průběhu těhotenství také zvyšoval. Z původního mediánu 19,1 l při prvním vyšetření, 19,8 l při druhém vyšetření na konečný objem 20,3 l intracelulární tekutiny.

U parametru OH byl pozorován u mediánů mezi prvním a druhým vyšetřením pokles z původní hodnoty 0,9 l na -0,5 l. Při třetím vyšetření ale medián vzrostl na 0,2 l. Při prvním měření byl parametr OH u šesti žen v normě, u zbylých čtyřech žen byl klasifikován jako nadbytek extracelulární tekutiny. Při druhém vyšetření byl v normě u 7 žen, u dvou byl pozorován nadbytek extracelulární tekutiny a u jedné těhotné ženy byla zjištěna dehydratace. Stejně výsledky u stejných žen byly pozorovány i v průběhu třetího vyšetření.

Provedením Friedmanova testu, jehož výsledky jsou uvedené v tabulce 7, byly prokázány statisticky významné rozdíly mezi jednotlivými vyšetřeními u všech parametrů týkajících se stavu tělních tekutin, tedy u parametru OH, objemu TBW, objemu ECW i ICW a rovněž u poměru extracelulární a intracelulární tekutiny. Dále byly zjištěny statisticky významné rozdíly hodnot v průběhu těhotenství u aktuální hmotnosti ženy a indexu tělesné hmotnosti, hmotnosti tukové tkáně, indexu tukové hmoty, hmotnosti tuku, rezistence uvnitř buněk při nekonečné frekvenci a také u elektrické kapacity membrány.

**Tabulka 7 Statisticky významné změny měřených parametrů ve sledovaných obdobích**

| Měřený parametr        | FT<br><i>p</i> -hodnota |
|------------------------|-------------------------|
| Aktuální hmotnost (kg) | 0,0001                  |
| OH (l)                 | 0,0197                  |
| TBW (l)                | 0,0075                  |
| ECW (l)                | 0,0042                  |
| ICW (l)                | 0,0202                  |
| E/l                    | 0,0066                  |
| BMI                    | 0,0001                  |
| LTM (kg)               | 0,0608                  |
| rel LTM (%)            | 0,9048                  |
| LTI                    | 0,0608                  |
| ATM (kg)               | 0,0202                  |
| FTI                    | 0,0089                  |
| Fat (kg)               | 0,0108                  |
| rel Fat (%)            | 0,9048                  |
| Body cell mass (kg)    | 0,0608                  |
| R <sub>0</sub> (Ω)     | 0,0672                  |
| R <sub>∞</sub> (Ω)     | 0,0202                  |
| Cm (nF)                | 0,0247                  |
| Td (ns)                | 0,1496                  |

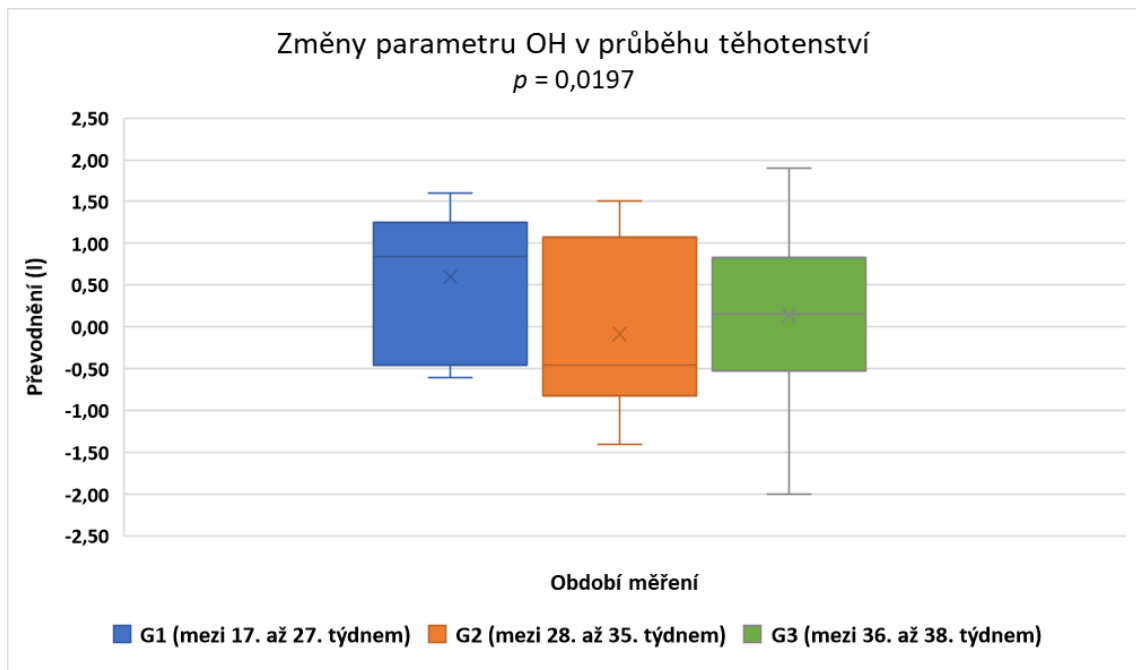
Vysvětlivky: FT – Friedmanův test; OH - *overhydration* (převodnění, nadbytek extracelulární tekutiny); TBW - *total body water* (celková tělesná tekutina); ECW - *extracellular water* (extracelulární tekutina); ICW - *intracellular water* (intracelulární tekutina); E/l - poměr ECW/ICW, BMI - *Body mass index*; LTM – *lean tissue mass* (netučná tkáň); rel LTM – procentuální zastoupení netučné tkáně; LTI – index netučné tkáně; ATM – *adipose tissue mass* (tuková tkáň); FTI – index tukové hmoty; Fat – tuk; rel Fat – procentuální zastoupení tuku; *Body cell mass* – buněčná hmota s metabolickou aktivitou; R<sub>0</sub> – rezistence při frekvenci 0 kHz; R<sub>∞</sub> – rezistence při nekonečné frekvenci; Cm – elektrická kapacitance intracelulární membrány; Td – nežádoucí rozptyl kapacitance

Změny v objemech tělních tekutin v průběhu těhotenství jsou vyjádřeny a graficky znázorněny také pomocí krabicových grafů 1 až 4. U tohoto typu grafu je možné pozorovat všechny statistické výsledky, a to minimální a maximální hodnotu, průměr, medián, horní kvartil (percentil 75 %) a spodní kvartil (percentil 25 %). Průměr je vyjádřen jako křížek, medián jako vodorovná čára uvnitř obdélníku. Horní a spodní hrana obdélníku vyjadřují horní a spodní kvartil a minimální a maximální hodnota je znázorněna jako čára nad a pod tímto obdélníkem.

Graf 1 znázorňuje, jak se v průběhu těhotenství měnil parametr převodnění. Medián OH byl při prvním vyšetření 0,9 l, při druhém měření klesl na –0,5 l.

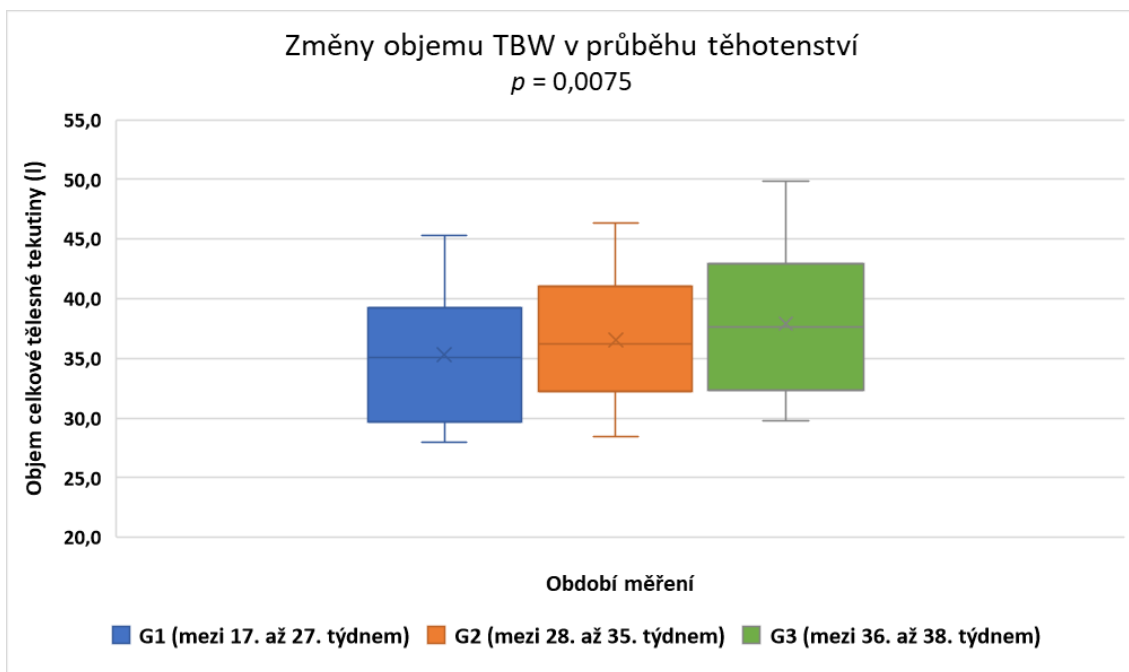


Při posledním měření je možné pozorovat nárůst oproti druhému vyšetření, ale hodnoty jsou stále nižší než při prvním, a to 0,2 l.



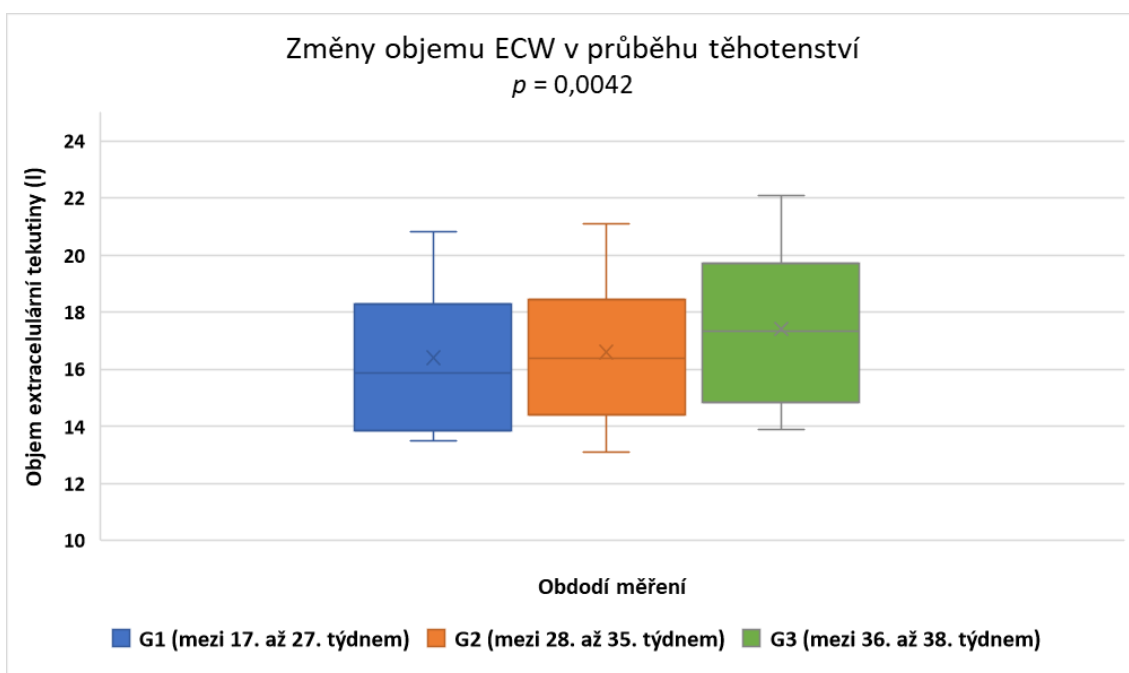
**Graf 1 Parametr převodnění a jeho změny u těhotných žen**

Graf 2 znázorňuje změnu objemu TBW u těhotných žen v naší výzkumné skupině. Zde je možné pozorovat postupný nárůst objemů z mediánu 35,1 l při prvním měření na 36,2 l při druhém měření a dále až na konečných 37,7 l.



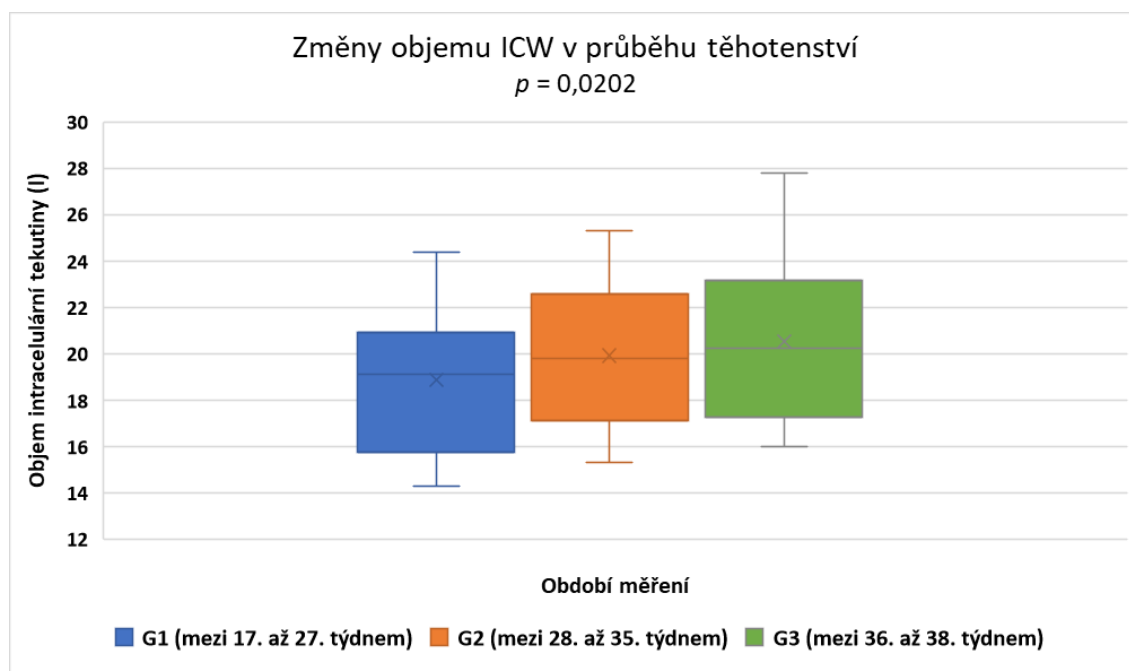
**Graf 2 Změny objemu celkové tělesné tekutiny u těhotných žen**

Nárůst v průběhu těhotenství nastal také u objemu ECW, jak zobrazuje graf 3. Z původní hodnoty mediánu 15,9 l vzrostl na následnou hodnotu 16,4 l a dále rostl na konečných 17,4 l.



**Graf 3 Změny objemu extracelulární tekutiny u těhotných žen**

Vzestupný trend je možné pozorovat také u objemu ICW, který je znázorněn na grafu 4. V průběhu těhotenství se zvýšil medián z původní hodnoty 19,1 l na hodnotu 19,8 l zjištěnou při druhém vyšetření a dále na hodnotu 20,3 l intracelulární tekutiny zjištěnou při posledním vyšetření.



**Graf 4 Změny objemu intracelulární tekutiny u těhotných žen**

Pro srovnání jsou v tabulce 8 uvedeny hodnoty TBW v kilogramech po přepočtu podle predikční rovnice pro těhotné ženy, kterou použil Lukaski et al. (1994). Protože součástí vyšetření těhotných žen nebylo sledování hodnot hematokritu, byly pro výpočet použity přibližné hodnoty, které však při této přesnosti, s jakou jsou výsledné hodnoty uváděny, nijak zásadně neovlivnily konečnou hmotnost TBW zjištěnou z této rovnice. Je patrné, že výsledné hodnoty TBW jsou vyšší, než které uvádí přístroj BCM, vzestupný trend v průběhu těhotenství však zůstává zachován. K výraznějšímu nárůstu dochází mezi druhým a třetím vyšetřením, tedy na konci gravidity. Friedmanův test prokázal i v tomto případě statisticky významný rozdíl mezi jednotlivými měřeními.

**Tabulka 8 Hodnoty TBW dle Lukaskiho predikční rovnice**

| Iniciály těhotné ženy                | TBW (kg) dle rovnice Lukaski |             |             |
|--------------------------------------|------------------------------|-------------|-------------|
|                                      | G1                           | G2          | G3          |
| TT                                   | 42,0                         | 40,4        | 46,3        |
| ZV                                   | 36,4                         | 36,9        | 39,5        |
| Či                                   | 32,9                         | 33,9        | 34,3        |
| CHI                                  | 39,3                         | 41,3        | 44,3        |
| VP                                   | 31,8                         | 36,3        | 35,6        |
| ST                                   | 37,1                         | 32,9        | 33,6        |
| HK                                   | 44,6                         | 43,5        | 44,0        |
| HJ                                   | 29,4                         | 28,3        | 30,3        |
| UM                                   | 45,9                         | 45,8        | 48,8        |
| VSP                                  | 36,9                         | 38,7        | 40,4        |
| <b>25 % percentil</b>                | <b>32,6</b>                  | <b>33,6</b> | <b>34,1</b> |
| <b>Medián</b>                        | <b>37,0</b>                  | <b>37,8</b> | <b>40,0</b> |
| <b>75 % percentil</b>                | <b>42,6</b>                  | <b>41,8</b> | <b>44,8</b> |
| <b>FT<br/><math>p</math>-hodnota</b> | <b>0,0247</b>                |             |             |

Vysvětlivky: TBW - *total body water* (celková tělesná tekutina); G1 - měření v období mezi 17. až 27. týdnem gravidity; G2 - měření v období mezi 28. až 35. týdnem gravidity; G3 - měření v období mezi 36. až 38. týdnem gravidity, FT – Friedmanův test

## 7.1 Korelační analýza

Výsledky korelační analýzy jsou uvedeny v tabulkách 9 až 13, kde jsou uvedeny hodnoty korelačního koeficientu  $r$  a  $p$ -hodnoty mezi jednotlivými parametry. Statisticky významné korelace jsou označeny červeně.

Tabulka 9 shrnuje korelace mezi parametry vypovídajícími o stavu tělních tekutin a základními antropometrickými údaji těhotných žen z naší výzkumné skupiny jako je věk, tělesná hmotnost před otěhotněním a v průběhu těhotenství, jejich ideální hmotnost, tělesná výška, index BMI, hmotnostní přírůstek v graviditě a zařazen je i gestační věk.

**Tabulka 9 Korelace vybraných parametrů s antropometrickými údaji těhotných žen a délkou gravidity**

|                                      | OH (l)                                    | TBW (l)                                   | ECW (l)                                   | ICW (l)                                   | E/I                           |
|--------------------------------------|---|---|---|---|-------------------------------|
| Věk (roky)                           | $r = 0,2998$<br>$p = 0,1075$              | $r = -0,4218$<br>$p = 0,0202$             | $r = -0,3238$<br>$p = 0,0808$             | $r = -0,4749$<br>$p = 0,0080$             | $r = 0,6161$<br>$p = 0,0003$  |
| Hmotnost před graviditou (kg)        | $r = -0,3992$<br>$p = 0,0289$             | $r = 0,8880$<br>$p = 5,95 \cdot 10^{-11}$ | $r = 0,8722$<br>$p = 3,42 \cdot 10^{-10}$ | $r = 0,8689$<br>$p = 4,79 \cdot 10^{-10}$ | $r = -0,2910$<br>$p = 0,1187$ |
| Tělesná výška (cm)                   | $r = 0,1305$<br>$p = 0,4918$              | $r = 0,6979$<br>$p = 1,81 \cdot 10^{-5}$  | $r = 0,7557$<br>$p = 1,38 \cdot 10^{-6}$  | $r = 0,6648$<br>$p = 0,0001$              | $r = -0,0239$<br>$p = 0,9001$ |
| Hmotnost v graviditě (kg)            | $r = -0,5080$<br>$p = 0,0042$             | $r = 0,9052$<br>$p = 6,46 \cdot 10^{-12}$ | $r = 0,8865$<br>$p = 7,12 \cdot 10^{-11}$ | $r = 0,8935$<br>$p = 3,04 \cdot 10^{-11}$ | $r = -0,3182$<br>$p = 0,0866$ |
| NW (kg)                              | $r = 0,1305$<br>$p = 0,4918$              | $r = 0,6979$<br>$p = 1,81 \cdot 10^{-5}$  | $r = 0,7557$<br>$p = 1,38 \cdot 10^{-6}$  | $r = 0,6648$<br>$p = 0,0001$              | $r = -0,0239$<br>$p = 0,9001$ |
| BMI                                  | $r = -0,6754$<br>$p = 4,22 \cdot 10^{-5}$ | $r = 0,7665$<br>$p = 7,86 \cdot 10^{-7}$  | $r = 0,7185$<br>$p = 7,78 \cdot 10^{-6}$  | $r = 0,7634$<br>$p = 9,28 \cdot 10^{-7}$  | $r = -0,3593$<br>$p = 0,0512$ |
| Přírůstek hmotnosti v graviditě (kg) | $r = -0,3950$<br>$p = 0,0307$             | $r = 0,1541$<br>$p = 0,4162$              | $r = 0,1303$<br>$p = 0,4927$              | $r = 0,1787$<br>$p = 0,3446$              | $r = -0,2009$<br>$p = 0,2871$ |
| Délka gravidity (dny)                | $r = -0,1588$<br>$p = 0,4020$             | $r = 0,1181$<br>$p = 0,5343$              | $r = 0,0831$<br>$p = 0,6625$              | $r = 0,1296$<br>$p = 0,4947$              | $r = -0,1927$<br>$p = 0,3075$ |

Vysvětlivky: BMI - *Body mass index*; OH - *overhydration* (převodnění, nadbytek extracelulární tekutiny); TBW - *total body water* (celková tělesná tekutina); ECW - *extracellular water* (extracelulární tekutina); ICW - *intracellular water* (intracelulární tekutina); E/I - poměr ECW/ICW; NW (*normal weight*) - normální, ideální hmotnost;  $r$  – korelační koeficient;  $p$  –  $p$ -hodnota

Antropometrický index BMI pozitivně koreloval s objemem TBW ( $r = 0,7665$ ;  $p = 7,86 \cdot 10^{-7}$ ), objemem ECW ( $r = 0,7185$ ;  $p = 7,78 \cdot 10^{-6}$ ) a ICW ( $r = 0,7634$ ;  $p = 9,28 \cdot 10^{-7}$ ). Parametr OH koreloval s hmotností před otěhotněním ( $r = -0,3992$ ;  $p = 0,0289$ ), s aktuální hmotností v graviditě ( $r = -0,5080$ ;  $p = 0,0042$ ) a BMI ( $r = -0,6754$ ;  $p = 4,22 \cdot 10^{-5}$ ) negativně. TBW korelovala negativně s věkem ( $r = -0,4218$ ;  $p = 0,0202$ ) a pozitivně s ostatními parametry kromě přírůstku hmotnosti v graviditě a délky těhotenství. Nejsilnější korelace byla zaznamenána mezi TBW a hmotností ženy v graviditě ( $r = 0,9052$ ;  $p = 6,49 \cdot 10^{-12}$ ), o něco slabší byla korelace s tělesnou výškou ( $r = 0,6979$ ;  $p = 1,81 \cdot 10^{-5}$ ). Stejně tomu bylo u ICW, která s věkem korelovala negativně ( $r = -0,4749$ ;  $p = 0,0080$ ), nejsilnější pozitivní korelace byla zjištěna mezi ICW a hmotností v graviditě ( $r = 0,8935$ ;  $p = 3,04 \cdot 10^{-11}$ ), slabší byla korelace s tělesnou výškou ( $r = 0,6648$ ;  $p = 0,0001$ ). ECW korelovala nejsilněji opět s aktuální hmotností v graviditě ( $r = 0,8865$ ;  $p = 7,12 \cdot 10^{-11}$ ) a s tělesnou výškou byla korelace slabší ( $r = 0,7557$ ;  $p = 1,38 \cdot 10^{-6}$ ). Na rozdíl od TBW a ICW nebyla prokázána

statisticky významná korelace mezi ECW a věkem těhotné ženy. U poměru E/I byla prokázána pozitivní korelace pouze s věkem ( $r = 0,6161$ ;  $p = 0,0003$ ). Mezi objemy TBW, ECW a ICW a délkou těhotenství nebo přírůstkem hmotnosti v graviditě nebyla prokázána významná korelace. Hmotnostní nárůst koreloval pouze slabě negativně s OH ( $r = 0,3950$ ;  $p = 0,0307$ ).

Z provedené korelační analýzy je tedy patrné, že se zvyšující se hmotností nebo výškou těhotných žen se zvyšoval i objem TBW, ECW a ICW, ale mezi samotným přírůstkem hmotnosti v těhotenství a objemem tělních tekutin statisticky významný vztah prokázán nebyl. Naopak se zvyšujícím se věkem těhotných žen se objem TBW a ICW snižoval.

Jak spolu souvisely tyto vybrané parametry týkající se stavu tělních tekutin těhotných žen a parametry kostry shrnuje tabulka 10. I zde byly zjištěny statisticky významné korelace.

**Tabulka 10 Korelace vybraných parametrů a parametrů kostry**

|                              | OH (l)                        | TBW (l)                      | ECW (l)                      | ICW (l)                      | E/I                           |
|------------------------------|-------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| Šířka epikondylu humeru (mm) | $r = -0,3732$<br>$p = 0,0422$ | $r = 0,2947$<br>$p = 0,1140$ | $r = 0,2859$<br>$p = 0,1256$ | $r = 0,2922$<br>$p = 0,1171$ | $r = -0,1305$<br>$p = 0,4918$ |
| Šířka zápěstí (mm)           | $r = -0,2020$<br>$p = 0,2844$ | $r = 0,2736$<br>$p = 0,1434$ | $r = 0,2784$<br>$p = 0,1363$ | $r = 0,2927$<br>$p = 0,1165$ | $r = -0,2141$<br>$p = 0,2560$ |
| Šířka kotníku (mm)           | $r = -0,0109$<br>$p = 0,9544$ | $r = 0,4335$<br>$p = 0,0167$ | $r = 0,4250$<br>$p = 0,0192$ | $r = 0,4306$<br>$p = 0,0175$ | $r = -0,1898$<br>$p = 0,3150$ |
| Šířka epikondylu femuru (mm) | $r = -0,5664$<br>$p = 0,0011$ | $r = 0,5126$<br>$p = 0,0038$ | $r = 0,4958$<br>$p = 0,0053$ | $r = 0,4845$<br>$p = 0,0067$ | $r = -0,1109$<br>$p = 0,5594$ |
| Hmotnost kostí (kg)          | $r = -0,2335$<br>$p = 0,2142$ | $r = 0,6311$<br>$p = 0,0002$ | $r = 0,6593$<br>$p = 0,0001$ | $r = 0,5981$<br>$p = 0,0005$ | $r = -0,0383$<br>$p = 0,8406$ |

Vysvětlivky: OH - *overhydration* (převodnění, nadbytek extracelulární tekutiny); TBW - *total body water* (celková tělesná tekutina); ECW - *extracellular water* (extracelulární tekutina); ICW - *intracellular water* (intracelulární tekutina); E/I - poměr ECW/ICW;  $r$  – korelační koeficient;  $p$  –  $p$ -hodnota

TBW korelovala pozitivně s hmotností kostí ( $r = 0,6311$ ;  $p = 0,0002$ ), se šířkou epikondylu femuru ( $r = 0,5126$ ;  $p = 0,0038$ ) a šířkou kotníku ( $r = 0,4335$ ;  $p = 0,0167$ ). ECW i ICW korelovaly s těmito parametry také pozitivně. OH korelovalo negativně

se šířkou epikondylu femuru ( $r = -0,5664$ ;  $p = 0,0011$ ) a slabě negativně se šířkou epikondylu humeru ( $r = -0,3732$ ;  $p = 0,0422$ ).

V tabulce 11 jsou uvedené korelace parametrů týkajících se stavu tělních tekutin s obvodovými mírami. Zahrnuty byly všechny obvodové míry dle tabulky 2 uvedené v kapitole 6.3.1.

**Tabulka 11 Korelace vybraných parametrů s obvodovými mírami**

|                          | OH (l)                        | TBW (l)                                   | ECW (l)                                   | ICW (l)                                   | E/I                           |
|--------------------------|-------------------------------|---|---|---|-------------------------------|
| Obvod hlavy (cm)         | $r = 0,1166$<br>$p = 0,5396$  | $r = 0,4543$<br>$p = 0,0117$              | $r = 0,5278$<br>$p = 0,0027$              | $r = 0,4092$<br>$p = 0,0248$              | $r = 0,2164$<br>$p = 0,2507$  |
| Obvod hrudníku (cm)      | $r = -0,6257$<br>$p = 0,0002$ | $r = 0,6459$<br>$p = 0,0001$              | $r = 0,6042$<br>$p = 0,0004$              | $r = 0,6632$<br>$p = 0,0001$              | $r = -0,3889$<br>$p = 0,0337$ |
| Obvod pasu (cm)          | $r = -0,5327$<br>$p = 0,0024$ | $r = 0,7275$<br>$p = 5,24 \cdot 10^{-6}$  | $r = 0,7047$<br>$p = 1,38 \cdot 10^{-5}$  | $r = 0,7151$<br>$p = 8,96 \cdot 10^{-6}$  | $r = -0,2982$<br>$p = 0,1095$ |
| Obvod boků (cm)          | $r = -0,5915$<br>$p = 0,0006$ | $r = 0,8071$<br>$p = 7,14 \cdot 10^{-8}$  | $r = 0,7677$<br>$p = 7,37 \cdot 10^{-7}$  | $r = 0,8029$<br>$p = 9,36 \cdot 10^{-8}$  | $r = -0,3585$<br>$p = 0,0517$ |
| Obvod levé paže (cm)     | $r = -0,5910$<br>$p = 0,0006$ | $r = 0,7362$<br>$p = 3,53 \cdot 10^{-6}$  | $r = 0,6887$<br>$p = 2,58 \cdot 10^{-5}$  | $r = 0,7578$<br>$p = 1,24 \cdot 10^{-6}$  | $r = -0,4449$<br>$p = 0,0138$ |
| Obvod předloktí (cm)     | $r = -0,4755$<br>$p = 0,0079$ | $r = 0,7358$<br>$p = 3,59 \cdot 10^{-6}$  | $r = 0,6899$<br>$p = 2,47 \cdot 10^{-5}$  | $r = 0,7386$<br>$p = 3,16 \cdot 10^{-6}$  | $r = -0,4139$<br>$p = 0,0230$ |
| Obvod stehna (cm)        | $r = -0,6100$<br>$p = 0,0003$ | $r = 0,6414$<br>$p = 0,0001$              | $r = 0,6236$<br>$p = 0,0002$              | $r = 0,6189$<br>$p = 0,0003$              | $r = -0,1779$<br>$p = 0,3469$ |
| Obvod středu stehna (cm) | $r = -0,4112$<br>$p = 0,0240$ | $r = 0,7573$<br>$p = 1,27 \cdot 10^{-6}$  | $r = 0,7719$<br>$p = 5,88 \cdot 10^{-7}$  | $r = 0,7276$<br>$p = 5,21 \cdot 10^{-6}$  | $r = -0,1016$<br>$p = 0,5934$ |
| Obvod lýtka (cm)         | $r = -0,3795$<br>$p = 0,0386$ | $r = 0,9139$<br>$p = 1,77 \cdot 10^{-12}$ | $r = 0,9081$<br>$p = 4,24 \cdot 10^{-12}$ | $r = 0,8905$<br>$p = 4,40 \cdot 10^{-11}$ | $r = -0,2572$<br>$p = 0,1701$ |

Vysvětlivky: OH - *overhydration* (převodnění, nadbytek extracelulární tekutiny); TBW - *total body water* (celková tělesná tekutina); ECW - *extracellular water* (extracelulární tekutina); ICW - *intracellular water* (intracelulární tekutina); E/I - poměr ECW/ICW;  $r$  – korelační koeficient;  $p$  –  $p$ -hodnota

Z výsledků je zřejmé, že TBW, ECW i ICW pozitivně korelovaly se všemi měřeními obvodů. Nejsilnější korelace byla vždy s obvodem lýtka – u TBW ( $r = 0,9139$ ;  $p = 1,77 \cdot 10^{-12}$ ), u ECW ( $r = 0,9081$ ;  $p = 4,24 \cdot 10^{-12}$ ) a u ICW ( $r = 0,8905$ ;  $p = 4,40 \cdot 10^{-11}$ ). Nejslabší korelace byla vždy s obvodem hlavy – u TBW ( $r = 0,4543$ ;  $p = 0,0117$ ), u ECW ( $r = 0,5278$ ;  $p = 0,0027$ ) a u ICW ( $r = 0,4092$ ;  $p = 0,0248$ ). Naopak u parametru OH byly pozorovány korelace negativní. Nejsilnější negativní korelace byla mezi OH a obvodem hrudníku ( $r = -0,6257$ ;  $p = 0,0002$ ), nejslabší mezi OH a obvodem lýtka ( $r = -0,3795$ ;  $p = 0,0386$ ).

Vztahy mezi parametry týkajícími se stavu tělních tekutin a tloušťkou kožních řas jsou zařazeny do tabulky 12. Zahrnuty do korelační analýzy byly opět všechny měřené kožní řasy u těhotných žen blíže specifikované v tabulce 3 v kapitole 6.3.1.

**Tabulka 12 Korelace vybraných parametrů s tloušťkou kožních řas**

|                                | OH (l)                        | TBW (l)                                  | ECW (l)                                  | ICW (l)                                  | E/I                           |
|--------------------------------|-------------------------------|--|--|--|-------------------------------|
| Řasa na tváři (mm)             | $r = -0,2319$<br>$p = 0,2175$ | $r = 0,4425$<br>$p = 0,0143$             | $r = 0,4081$<br>$p = 0,0252$             | $r = 0,4531$<br>$p = 0,0119$             | $r = -0,3212$<br>$p = 0,0835$ |
| Řasa na podbradku (mm)         | $r = -0,5386$<br>$p = 0,0021$ | $r = 0,4760$<br>$p = 0,0078$             | $r = 0,3940$<br>$p = 0,0312$             | $r = 0,4959$<br>$p = 0,0053$             | $r = -0,4694$<br>$p = 0,0089$ |
| Řasa subskapulární (mm)        | $r = -0,2609$<br>$p = 0,1638$ | $r = 0,8317$<br>$p = 1,24 \cdot 10^{-8}$ | $r = 0,8206$<br>$p = 2,82 \cdot 10^{-8}$ | $r = 0,8085$<br>$p = 6,49 \cdot 10^{-8}$ | $r = -0,2413$<br>$p = 0,1990$ |
| Řasa nad pravým tricipsem (mm) | $r = -0,3233$<br>$p = 0,0814$ | $r = 0,7655$<br>$p = 8,30 \cdot 10^{-7}$ | $r = 0,7275$<br>$p = 5,24 \cdot 10^{-6}$ | $r = 0,7750$<br>$p = 4,95 \cdot 10^{-7}$ | $r = -0,3522$<br>$p = 0,0563$ |
| Řasa nad bicipsem (mm)         | $r = -0,4324$<br>$p = 0,0170$ | $r = 0,5570$<br>$p = 0,0014$             | $r = 0,4985$<br>$p = 0,0051$             | $r = 0,5750$<br>$p = 0,0009$             | $r = -0,4060$<br>$p = 0,0260$ |
| Řasa předloktí (mm)            | $r = -0,3346$<br>$p = 0,0707$ | $r = 0,5286$<br>$p = 0,0027$             | $r = 0,4742$<br>$p = 0,0081$             | $r = 0,5320$<br>$p = 0,0025$             | $r = -0,3123$<br>$p = 0,0929$ |
| Řasa nad levým tricipsem (mm)  | $r = -0,3332$<br>$p = 0,0720$ | $r = 0,7069$<br>$p = 1,26 \cdot 10^{-5}$ | $r = 0,6721$<br>$p = 4,76 \cdot 10^{-5}$ | $r = 0,7242$<br>$p = 6,07 \cdot 10^{-6}$ | $r = -0,3777$<br>$p = 0,0396$ |
| Řasa na hrudníku I (mm)        | $r = -0,1061$<br>$p = 0,5767$ | $r = 0,2033$<br>$p = 0,2812$             | $r = 0,1730$<br>$p = 0,3605$             | $r = 0,1954$<br>$p = 0,3009$             | $r = -0,1090$<br>$p = 0,5663$ |
| Řasa na hrudníku II (mm)       | $r = -0,1431$<br>$p = 0,4505$ | $r = 0,5382$<br>$p = 0,0022$             | $r = 0,5023$<br>$p = 0,0047$             | $r = 0,5377$<br>$p = 0,0022$             | $r = -0,2331$<br>$p = 0,2150$ |
| Řasa suprailiakální (mm)       | $r = 0,0123$<br>$p = 0,9487$  | $r = 0,4803$<br>$p = 0,0072$             | $r = 0,4885$<br>$p = 0,0062$             | $r = 0,4588$<br>$p = 0,0108$             | $r = -0,0385$<br>$p = 0,8401$ |
| Řasa na břicho (mm)            | $r = -0,4860$<br>$p = 0,0065$ | $r = 0,4214$<br>$p = 0,0204$             | $r = 0,3616$<br>$p = 0,0496$             | $r = 0,4394$<br>$p = 0,0151$             | $r = -0,3973$<br>$p = 0,0297$ |
| Řasa na stehně (mm)            | $r = -0,3431$<br>$p = 0,0634$ | $r = 0,6384$<br>$p = 0,0001$             | $r = 0,5946$<br>$p = 0,0005$             | $r = 0,6477$<br>$p = 0,0001$             | $r = -0,3347$<br>$p = 0,0706$ |
| Řasa ve středu stehna (mm)     | $r = -0,1097$<br>$p = 0,5639$ | $r = 0,5038$<br>$p = 0,0045$             | $r = 0,4800$<br>$p = 0,0073$             | $r = 0,5021$<br>$p = 0,0047$             | $r = -0,1794$<br>$p = 0,3427$ |
| Řasa na lýtku (mm)             | $r = -0,4167$<br>$p = 0,0220$ | $r = 0,7058$<br>$p = 1,32 \cdot 10^{-5}$ | $r = 0,6669$<br>$p = 0,0001$             | $r = 0,7225$<br>$p = 6,53 \cdot 10^{-6}$ | $r = -0,3767$<br>$p = 0,0402$ |

Vysvětlivky: OH - *overhydration* (převodnění, nadbytek extracelulární tekutiny); TBW - *total body water* (celková tělesná tekutina); ECW - *extracellular water* (extracelulární tekutina); ICW - *intracellular water* (intracelulární tekutina); E/I - poměr ECW/ICW;  $r$  – korelační koeficient;  $p$  –  $p$ -hodnota

Parametry TBW, ECW a ICW pozitivně korelovaly se všemi tloušťkami kožních řas kromě řasy na hrudníku I. Nejsilnější byla korelace vždy se subskapulární řasou – u TBW ( $r = 0,8317$ ;  $p = 1,24 \cdot 10^{-8}$ ), u ECW ( $r = 0,8206$ ;  $p = 2,82 \cdot 10^{-8}$ ) a u ICW ( $r = 0,8085$ ;  $p = 6,49 \cdot 10^{-8}$ ). Nejslabší korelace byla s tloušťkou kožní řasy na břicho –



u TBW ( $r = 0,4214$ ;  $p = 0,0204$ ), u ECW ( $r = 0,3616$ ;  $p = 0,0496$ ), u ICW ( $r = 0,4394$ ;  $p = 0,0151$ ). OH koreloval nejsilněji s řasou na podbradku, jednalo se ale o korelaci negativní ( $r = -0,5386$ ;  $p = 0,0021$ ). Negativně koreloval s některými kožními řasami i poměr E/I.

Tabulka 13 shrnuje významné vztahy mezi vybranými parametry těhotných žen a rezistencí při nulové frekvenci, intracelulární rezistencí při nekonečné frekvenci, elektrickou kapacitancí a nežádoucím rozptylem kapacitance.

**Tabulka 13 Korelace vybraných parametrů s parametry rezistence a kapacitance**

|                         | OH (l)                        | TBW (l)                                    | ECW (l)                                    | ICW (l)                                    | E/I                           |
|-------------------------|-------------------------------|--|--|--|-------------------------------|
| $R_0$ ( $\Omega$ )      | $r = 0,1167$<br>$p = 0,5392$  | $r = -0,9085$<br>$p = 3,99 \cdot 10^{-12}$ | $r = -0,9368$<br>$p = 2,70 \cdot 10^{-14}$ | $r = -0,8780$<br>$p = 1,86 \cdot 10^{-10}$ | $r = 0,1595$<br>$p = 0,3997$  |
| $R_\infty$ ( $\Omega$ ) | $r = 0,5690$<br>$p = 0,0010$  | $r = -0,9150$<br>$p = 1,49 \cdot 10^{-12}$ | $r = -0,8487$<br>$p = 3,13 \cdot 10^{-9}$  | $r = -0,9323$<br>$p = 6,92 \cdot 10^{-14}$ | $r = 0,5579$<br>$p = 0,0014$  |
| $C_m$ (nF)              | $r = -0,6660$<br>$p = 0,0001$ | $r = 0,8495$<br>$p = 2,91 \cdot 10^{-9}$   | $r = 0,7658$<br>$p = 8,18 \cdot 10^{-7}$   | $r = 0,8815$<br>$p = 1,26 \cdot 10^{-10}$  | $r = -0,6520$<br>$p = 0,0001$ |
| $T_d$ (ns)              | $r = -0,0338$<br>$p = 0,8591$ | $r = 0,4654$<br>$p = 0,0096$               | $r = 0,4518$<br>$p = 0,0122$               | $r = 0,4492$<br>$p = 0,0128$               | $r = -0,2164$<br>$p = 0,2506$ |

Vysvětlivky: OH - *overhydration* (převodnění, nadbytek extracelulární tekutiny); TBW - *total body water* (celková tělesná tekutina); ECW - *extracellular water* (extracelulární tekutina); ICW - *intracellular water* (intracelulární tekutina); E/I - poměr ECW/ICW,  $R_0$  – rezistence při frekvenci 0 kHz;  $R_\infty$  – rezistence při nekonečné frekvenci;  $C_m$  – elektrická kapacitance intracelulární membrány;  $T_d$  – nežádoucí rozptyl kapacitance;  $r$  – korelační koeficient;  $p$  –  $p$ -hodnota

Byla zjištěna silná negativní korelace mezi TBW a rezistencí při frekvenci 0 kHz ( $r = -0,9085$ ;  $p = 3,99 \cdot 10^{-12}$ ) a mezi TBW a rezistencí uvnitř buněk při nekonečné frekvenci ( $r = -0,9150$ ;  $p = 1,49 \cdot 10^{-12}$ ). S nárůstem objemu TBW v průběhu těhotenství se tedy snižoval odpor.

Obdobné výsledky byly pozorovány i u objemu ECW a ICW. ECW silně negativně korelovala s rezistencí při 0 kHz ( $r = -0,9368$ ;  $p = 2,70 \cdot 10^{-14}$ ) a intracelulární rezistencí při nekonečné frekvenci ( $r = -0,8487$ ;  $p = 3,13 \cdot 10^{-9}$ ). Mezi ICW a intracelulární rezistencí při nekonečné frekvenci a rezistencí při nulové frekvenci byl prokázán také silný vztah. ICW korelovala silně negativně s rezistencí při frekvenci 0 kHz ( $r = -0,8780$ ;  $p = 1,86 \cdot 10^{-10}$ ) a rezistencí při nekonečné frekvenci ( $r = -0,9323$ ;  $p = 6,92 \cdot 10^{-14}$ ).

OH korelovalo statisticky významně s rezistencí uvnitř buněk při nekonečné frekvenci ( $r = 0,5690$ ;  $p = 0,0010$ ).

Elektrická kapacitance intracelulární membrány korelovala pozitivně s TBW ( $r = 0,8495$ ;  $p = 2,91 \cdot 10^{-9}$ ), ECW ( $r = 0,7658$ ;  $p = 8,18 \cdot 10^{-7}$ ) i ICW ( $r = 0,8815$ ;  $p = 1,26 \cdot 10^{-10}$ ). U parametru OH byla zjištěna korelace negativní ( $r = -0,6660$ ;  $p = 0,0001$ ). Negativní korelace byla také zjištěna u poměru E/I ( $r = -0,6520$ ;  $p = 0,0001$ ).

## 8 DISKUSE

Cílem této práce bylo změřit a vyhodnotit změny tělesného složení v průběhu gravidity se zaměřením výhradně na tělní tekutiny a zhodnotit vztahy s dalšími sledovanými parametry. Změny byly vyhodnocovány u deseti žen ve věku 25 až 39 let, které v průběhu těhotenství absolvovaly celkem tři vyšetření – první bylo provedeno mezi 17. až 27. týdnem gravidity, druhé mezi 28. až 35. týdnem a třetí mezi 36. až 38. týdnem gravidity. K zjištění stavu tělních tekutin byla v rámci této studie využita bioimpedanční spektroskopie, při které byla bioimpedance měřena na 50 frekvencích v rozsahu od 5 kHz do 1000 kHz. Při každém měření se dbalo na dodržování standardních podmínek a správné provedení.

O vhodnosti použití této metody k hodnocení stavu tělních tekutin se zmínili i Ward a Müller (2013) a jako vhodnou a bezpečnou metodu k hodnocení tělesného složení i v průběhu těhotenství ji uvádí Obuchowska et al. (2021).

Během těhotenství je možné pozorovat nárůst tělesné hmotnosti žen. Medián tělesné hmotnosti žen v naší výzkumné skupině byl před těhotenstvím 65,00 kg, při prvním vyšetření po otěhotnění medián vzrostl na 75,05 kg, při druhém vyšetření bylo zjištěno zvýšení mediánu o 2,55 kg a při posledním měření byl pozorován další nárůst o 4,1 kg. Na gestačním přírůstku hmotnosti, jak uvádí Bosaeus et al. (2020), se podílí právě i tělní tekutiny, které v průběhu těhotenství také mění svůj objem. Bezesporu se na něm podílí i v našem případě, protože docházelo ke změnám v objemech tělních tekutin, ale statisticky významný vztah mezi TBW, ECW a ICW a samotným přírůstkem hmotnosti prokázán nebyl na rozdíl od studie provedené Ghezzi et al. (2001). Ten uvádí zjištěnou signifikantní pozitivní korelaci mezi hmotnostním přírůstkem v těhotenství a TBW. Hmotnostní přírůstek koreloval v našem případě slabě negativně pouze s parametrem OH ( $r = -0,3950$ ;  $p = 0,0307$ ). Statisticky významný vztah byl korelační analýzou v průběhu tohoto výzkumu zjištěn mezi objemem tělních tekutin a celkovou tělesnou hmotností. Hmotnost v graviditě silně pozitivně korelovala s objemem TBW ( $r = 0,9052$ ;  $p = 6,46 \cdot 10^{-12}$ ), ECW ( $r = 0,8865$ ;  $p = 7,12 \cdot 10^{-11}$ ) a ICW ( $r = 0,8935$ ;  $p = 3,04 \cdot 10^{-11}$ ). Parametr OH koreloval s tělesnou hmotností negativně ( $r = -0,5080$ ;  $p = 0,0042$ ). Další statisticky významný

vztah byl zjištěn mezi tělesnou výškou a objemem TBW ( $r = 0,6979$ ;  $p = 1,81 \cdot 10^{-5}$ ), ECW ( $r = 0,7557$ ;  $p = 1,38 \cdot 10^{-6}$ ) a ICW ( $r = 0,6648$ ;  $p = 0,001$ ). Z výše uvedeného tedy vyplývá, že se zvyšující se tělesnou hmotností těhotné ženy nebo tělesnou výškou se zvyšoval i objem tělních tekutin, samotný přírůstek hmotnosti však neměl v tomto směru na tělní tekutiny statisticky významný vliv. Naopak tomu je v případě věku, kdy se zvyšujícím se věkem těhotné ženy docházelo u žen v naší studii k statisticky významnému poklesu objemu TBW ( $r = 0,4218$ ;  $p = 0,0202$ ) a ICW ( $r = -0,4749$ ;  $p = 0,0080$ ). Pozitivní korelaci mezi TBW a tělesnou hmotností ( $r = 0,614$ ;  $p < 0,0005$ ) a slabou pozitivní korelaci mezi TBW a tělesnou výškou ( $r = 0,250$ ;  $p < 0,05$ ) uvádí ve své studii i Lukaski et al. (1994). Existenci lineární korelace mezi tělesnou hmotností a TBW, ECW a ICW potvrzuje rovněž Larciprete et al. (2003) a také Gernand et al. (2012) zjistil pozitivní korelaci mezi tělesnou výškou a TBW ( $r = 0,57$ ;  $p = 0,001$ ) a ECW ( $r = 0,59$ ;  $p = 0,001$ ).

V průběhu těhotenství docházelo u sledovaných žen ke změně objemů TBW, ECW i ICW – u devíti žen došlo ke zvýšení, u jedné došlo ke snížení. Pokud ale sledujeme naši výzkumnou skupinu jako celek, vzrostl medián objemu TBW z počáteční hodnoty 35,1 l zjištěné při prvním vyšetření na hodnotu 36,2 l a dále na konečnou hodnotu 37,7 l zjištěnou při posledním měření. Medián objemu ECW se zvýšil z prvotně zjištěné hodnoty 15,9 l na 16,4 l a dále na konečných 17,4 l. Také u ICW byl v průběhu těhotenství při jednotlivých vyšetřeních pozorován nárůst, a to z hodnoty 19,1 l na 19,8 l a dále na 20,3 l. Narůstající medián hmotnosti TBW s výraznějším nárůstem ke konci gravidity lze pozorovat také u hodnot po přepočtu podle Lukaskiho predikční rovnice speciálně vyvinuté pro těhotné ženy. Mezi hodnotami přímo vypovídajícími o stavu tělních tekutin naměřenými při jednotlivých vyšetřeních existuje statisticky významný rozdíl. Statisticky významná rozdílnost byla prokázána také u hodnot TBW podle Lukaskiho predikční rovnice. Trend nárůstu a zvyšování objemu tělních tekutin v průběhu těhotenství, lze pozorovat i v jiných studiích. Lukaski et al. (1994), Van Loan et al. (1995), Valensise et al. (2000), Larciprete et al. (2003), Lof a Forsum (2004), Lukaski et al. (2007) a Berlitz et al. (2013) uvádějí narůstající hodnoty tělních tekutin během těhotenství. Kvůli rozdílům v metodice nelze ale jednotlivé výsledky blíže porovnat, vzestupný trend je však nezpochybnitelný stejně jako v naší studii, která

oproti některým výše zmíněným studiím zahrnuje jen malý vzorek těhotných žen. Soulad lze v tomto směru nalézt i ve studii, kterou provedl Ghezzi et al. (2001) a který rovněž popisuje významně zvyšující se množství TBW a ECW s postupujícím těhotenstvím.

Ke zvýšení objemu ECW a TBW přispívá také expanze krevní plazmy, ke které v těhotenství dochází a která tvoří část ECW a tím i TBW, jak uvádí Gernand et al. (2012). Podle metaanalýzy Agureea a Gernanda (2019) začne narůstat objem krevní plazmy v prvního trimestru, k nejstrmějšímu nárůstu však dochází v druhém trimestru a vrcholí pozdě ve třetím trimestru. Podle Gernanda et al. (2012) souvisí nárůst krevní plazmy také s BMI a nutričním stavem matky, k nárůstu objemu ECW a TBW však dochází v průběhu těhotenství dle jeho měření vždy. Bez ohledu na tělesnou výšku a BMI pozoroval ve všech výzkumných skupinách zvyšující se hodnoty hmotnosti ECW a TBW, stejně tomu bylo i v naší výzkumné skupině. Nelze ale blíže určit, jakou část z celkového objemu ECW nebo TBW zaujímá právě krevní plazma, protože tyto údaje nebyly součástí našeho výzkumu.

Přestože prokazatelně dochází v průběhu těhotenství ke zvyšování objemu tělních tekutin, nebyla u žen v této výzkumné skupině prokázána statisticky významná korelace mezi objemy tělních tekutin a gestačním věkem. Stejně tomu bylo u žen ve studii provedené Larcipretem et al. (2003).

Zvýšení ECW a TBW je podle Gernanda et al. (2012) částečně způsobeno zvýšením svalové tkáně těhotných žen a produktů početí. I v našem případě lze pozorovat v průběhu těhotenství nárůst mediánu hmotnosti LTM, který se zvýšil mezi prvním a třetím vyšetřením o 3,1 kilogramu.

Lukaski et al. (1994) také zjistil statisticky významnou negativní korelaci mezi TBW a hodnotou rezistence ( $r = -0,821$ ;  $p < 0,0001$ ) a reaktance a uvádí je jako dobré prediktory TBW po celou dobu těhotenství. Jeho tvrzení souhlasí s naší studií, kde byla nalezena silná negativní korelace mezi TBW a rezistencí při nulové frekvenci ( $r = -0,9085$ ;  $p = 3,99 \cdot 10^{-12}$ ) i nekonečné frekvenci ( $r = -0,9150$ ;  $p = 1,49 \cdot 10^{-12}$ ). Se zvyšujícím se objemem tekutin v těle se tedy snižovala měřená rezistence. Tato skutečnost je navíc podpořena také studiemi, které provedli Ghezzi et al. (2001), Larciprete et al. (2003), Lof a Forsum (2004), Lukaski et al. (2007) a Berlit et al. (2013)

a kteří rovněž uvádějí s vyšším stupněm těhotenství nižší hodnoty rezistence. Vzhledem k zaznamenanému nárůstu objemu tělních tekutin a samotnému principu BIS byly však tyto výsledky očekávatelné.

Statisticky významné korelace byly nalezeny i mezi měřenými tělesnými obvody a tělními tekutinami. Parametr OH koreloval kromě obvodu hlavy se všemi měřenými obvody negativně. U obvodu lýtky byla zjištěna korelace nejslabší ( $r = -0,3795$ ;  $p = 0,0386$ ). Naopak TBW, ECW i ICW korelovaly se všemi obvody pozitivně a s obvodem lýtky byla korelace vždy nejsilnější – u TBW ( $r = 0,9139$ ;  $p = 1,77 \cdot 10^{-12}$ ), u ECW ( $r = 0,9081$ ;  $p = 4,24 \cdot 10^{-12}$ ) a u ICW ( $r = 0,8905$ ;  $p = 4,40 \cdot 10^{-11}$ ). Tyto korelace by mohly souviset se snížením rychlosti proudění krve, venostázou, zhoršeným venózním návratem a případnými otoky dolních končetin, které zmiňuje i Kašanová a Wilhelmová (2021).

Další zajímavé korelace byly zjištěny mezi parametry tělních tekutin a tloušťkou kožních řas a parametry vypovídajícími o kostře těhotných žen. Hmotnost kostí korelovala pozitivně s TBW ( $r = 0,6311$ ;  $p = 0,0002$ ), ECW ( $r = 0,6593$ ;  $p = 0,0001$ ) a ICW ( $r = 0,5981$ ;  $p = 0,0005$ ). TBW, ECW a ICW dále pozitivně korelovaly se všemi tloušťkami kožních řas kromě řasy na hrudníku I. Nejsilnější byla korelace vždy se subskapulární řasou – u TBW ( $r = 0,8317$ ;  $p = 1,24 \cdot 10^{-8}$ ), u ECW ( $r = 0,8206$ ;  $p = 2,82 \cdot 10^{-8}$ ) a u ICW ( $r = 0,8085$ ;  $p = 6,49 \cdot 10^{-8}$ ). Nejslabší korelace byla s tloušťkou řasy na břicho – u TBW ( $r = 0,4214$ ;  $p = 0,0204$ ), u ECW ( $r = 0,3616$ ;  $p = 0,0496$ ), u ICW ( $r = 0,4394$ ;  $p = 0,0151$ ). Nejvýznamnější korelace u parametru OH byla zjištěna s řasou na podbradku a jednalo se o korelaci negativní ( $r = -0,5386$ ;  $p = 0,0021$ ). Nalezené asociace se nepodařilo porovnat s jinými pracemi. Souvislosti mezi těmito parametry a tělními tekutinami během gravidity by se tak mohly stát předmětem dalšího zkoumání.

V průběhu těhotenství byl ve stavu tělních tekutin u žen v naší výzkumné skupině zaznamenán obdobný vývoj, jaký popisují zahraniční studie a také byla nalezena řada dalších podobností, které s nimi souvisejí. V rámci České republiky je možné výsledky porovnat s kvalifikačními pracemi, které byly součástí tohoto longitudinálního výzkumu v minulých letech. Najpaverová (2017) uvádí výsledné hodnoty tělních tekutin jako průměr a směrodatnou odchylku, nicméně nárůst objemů TBW, ECW a ICW během

těhotenství je viditelný. Shodu lze nalézt také s prací Noskové (2019), která uvádí narůstající hodnoty mediánů tělních tekutin zjištěné u sedmi těhotných žen. U parametru OH však výsledky tak jednoznačné nejsou. Shodně ale lze pozorovat velký pokles hodnot mezi prvním a druhým vyšetřením. Najpaverová (2021) uvádí ve své práci výsledky většího počtu žen, které se účastnily této studie v průběhu 3 let. Také uvádí nárůst TBW, ECW i ICW se zvyšujícím se stádiem těhotenství, kdy mezi prvním a posledním vyšetřením v těhotenství pozoruje nárůst o 4,2 l v případě TBW a o 1,8 l v případě ECW i ICW. Dále také uvádí zjištěnou signifikantní souvislost mezi objemy TBW, ECW a ICW a tělesnou hmotností těhotných žen shodující se s námi provedenou korelační analýzou.

## 9 ZÁVĚR

Tato práce poskytuje výsledky zjištěných změn tělních tekutin u deseti těhotných žen, které byly získány provedením bioimpedanční spektroskopie ve stanovených obdobích gravidity. Použitá metoda se ukázala jako rychlá, bezpečná a vhodná k dosažení stanoveného cíle. Současně byly také hledány souvislosti a vztahy mezi tělními tekutinami a dalšími sledovanými parametry. Každá žena podstoupila tři měření a zjištěné hodnoty jsou součástí jak této práce, tak longitudinální klinické studie probíhající za spolupráce Farmaceutické fakulty Univerzity Karlovy a Porodnické a gynekologické kliniky Fakultní nemocnice v Hradci Králové.

Mezi hodnotami vypovídajícími o stavu tělních tekutin zjištěnými při jednotlivých měřeních byly prokázány statisticky významné rozdíly. Medián objemu TBW se zvětšil během sledovaného období postupně o 3,8 l, medián objemu ECW o 1,4 l a medián objemu ICW se zvýšil o 2,3 l. Nárůst tekutin v těle byl doprovázen snížením hodnot měřené rezistence. U parametru převodnění byl zaznamenán také pokles.

Provedením korelační analýzy byly zjištěny statisticky významné vztahy mezi tělními tekutinami a hmotností těhotné ženy, tělesnou výškou a věkem. Hmotnost v graviditě silně pozitivně korelovala s objemem TBW ( $r = 0,9052$ ;  $p = 6,46 \cdot 10^{-12}$ ), ECW ( $r = 0,8865$ ;  $p = 7,12 \cdot 10^{-11}$ ) a ICW ( $r = 0,8935$ ;  $p = 3,04 \cdot 10^{-11}$ ). Tělesná výška korelovala s objemem TBW ( $r = 0,6979$ ;  $p = 1,81 \cdot 10^{-5}$ ), ECW ( $r = 0,7557$ ;  $p = 1,38 \cdot 10^{-6}$ ) a ICW ( $r = 0,6648$ ;  $p = 0,001$ ) a věk těhotné ženy koreloval negativně s TBW ( $r = -0,4218$ ;  $p = 0,0202$ ) a ICW ( $r = -0,4749$ ;  $p = 0,0080$ ). Další statisticky významné korelace byly nalezeny mezi tělními tekutinami a měřenými antropometrickými parametry – tělesnými obvody, tloušťkou kožních řas a parametry kostry.

Přestože docházelo k nárůstu objemu tělních tekutin během těhotenství, statisticky významný vztah mezi nimi a délkou gravidity prokázán nebyl. Signifikanční korelace nebyla prokázána ani mezi objemem tělních tekutin a samotným gestačním přírůstkem hmotnosti.



## 10 POUŽITÉ ZKRATKY

| Použitá zkratka | Význam zkratky / český význam (jednotky)   |
|-----------------|--|
| ADH             | antidiuretický hormon  |
| ATM             | <i>adipose tissue mass</i> / tuková tkáň (kg)  |
| BCM             | přístroj <i>Body Composition Monitor</i>   |
| BIA             | bioelektrická impedanční analýza, bioimpedanční analýza                                |
| BIS             | bioimpedanční spektroskopie  |
| BMI             | <i>Body mass index</i> / index tělesné hmotnosti                                       |
| Cm              | elektrická kapacitance intracelulární membrány (nF)                                    |
| E/I             | poměr ECW ku ICW   |
| E/I class       | klasifikace poměru ECW ku ICW  |
| ECW             | <i>extracellular water</i> / extracelulární tekutina (l)                               |
| FFM             | <i>fat free mass</i> / tukuprostá hmota (kg)   |
| FM              | <i>fat mass</i> / tuk (kg)   |
| FT              | Friedmanův test  |
| FTI             | index tukové hmoty   |
| G1              | období gravidity mezi 17. až 27. týdnem  |
| G2              | období gravidity mezi 28. až 35. týdnem  |
| G3              | období gravidity mezi 36. až 38. týdnem  |
| H               | tělesná výška (cm)   |
| I               | elektrický proud (A)   |
| ICW             | <i>intracellular water</i> / intracelulární tekutina (l)                               |
| LBM             | <i>lean body mass</i> / netučná tělesná hmota (kg)                                     |
| LTI             | index netučné tkáně  |
| LTM             | <i>lean tissue mass</i> / netučná tkáň (kg)  |
| MF-BIA          | <i>multiple frequency bioimpedance analysis</i> / vícefrekvenční bioimpedanční analýza |
| NW              | <i>normal weight</i> / normální, ideální hmotnost (kg)                                 |
| OH              | <i>overhydration</i> / převodnění, nadbytek extracelulární tekutiny (l)                |

| Použitá zkratka       | Význam zkratky / český význam (jednotky)  |
|-----------------------|---|
| <b>OH class</b>       | klasifikace převodnění  |
| <b><i>p</i></b>       | <i>p</i> -hodnota   |
| <b>R</b>              | rezistence ( $\Omega$ )   |
| <b><i>r</i></b>       | korelační koeficient  |
| <b>R<sub>0</sub></b>  | rezistence při frekvenci 0 kHz ( $\Omega$ )   |
| <b>R<sub>∞</sub></b>  | rezistence při nekonečné frekvenci ( $\Omega$ )                                       |
| <b>rel <i>Fat</i></b> | procentuální zastoupení tuku  |
| <b>rel LTM</b>        | procentuální zastoupení netučné tkáně   |
| <b>SF-BIA</b>         | <i>single frequency bioimpedance analysis</i> / jednofrekvenční bioimpedanční analýza |
| <b>TBW</b>            | <i>total body water</i> / celková tělesná tekutina (l)                                |
| <b>Td</b>             | nežádoucí rozptyl kapacitance (ns)  |
| <b>U</b>              | elektrické napětí (V)   |
| <b>W</b>              | tělesná hmotnost (kg)   |
| <b>WHO</b>            | <i>World Health Organization</i> / Světová zdravotnická organizace                    |
| <b>X</b>              | kapacitní reaktance ( $\Omega$ )  |
| <b>Z</b>              | bioelektrická impedance, bioimpedance ( $\Omega$ )                                    |

## 11 SEZNAM TABULEK

|  |    |
|--|----|
| Tabulka 1 Vstupní antropometrické údaje žen v klinické studii .....                                    | 28 |
| Tabulka 2 Obvodové míry a místa jejich měření.....   | 30 |
| Tabulka 3 Kožní řasy a místa jejich měření .....   | 32 |
| Tabulka 4 Hodnoty z analýzy složení těla mezi 17.–27. týdnem gravidity.....                            | 36 |
| Tabulka 5 Hodnoty z analýzy složení těla mezi 28.–35. týdnem gravidity.....                            | 37 |
| Tabulka 6 Hodnoty z analýzy složení těla mezi 36.–38. týdnem gravidity.....                            | 38 |
| Tabulka 7 Statisticky významné změny měřených parametrů ve sledovaných obdobích.....                   | 40 |
| Tabulka 8 Hodnoty TBW dle Lukaskiho predikční rovnice .....  | 44 |
| Tabulka 9 Korelace vybraných parametrů s antropometrickými údaji těhotných žen a délkou gravidity..... | 45 |
| Tabulka 10 Korelace vybraných parametrů a parametrů kostry .....                                       | 46 |
| Tabulka 11 Korelace vybraných parametrů s obvodovými mírami.....                                       | 47 |
| Tabulka 12 Korelace vybraných parametrů s tloušťkou kožních řas.....                                   | 48 |
| Tabulka 13 Korelace vybraných parametrů s parametry rezistence a kapacitance .....                     | 49 |

## 12 SEZNAM OBRÁZKŮ

|  |    |
|--|----|
| Obrázek 1 Modely složení lidského těla.....  | 11 |
| Obrázek 2 Distribuce tekutin v lidském těle .....  | 13 |
| Obrázek 3 Grafické znázornění komplexní impedance.....   | 18 |
| Obrázek 4 Čtyřelektrodové uspořádání při celotělové analýze metodou ruka–noha .....                    | 19 |
| Obrázek 5 Cole-Cole diagram a chování střídavého proudu v organismu při použití přístroje<br>BCM ..... | 24 |
| Obrázek 6 Osobní váha Tanita používání k určení tělesné hmotnosti.....                                 | 30 |
| Obrázek 7 Technika měření tloušťky kožních řas.....  | 31 |
| Obrázek 8 Přístroj BCM – Body Composition Monitor .....  | 33 |

## 13 SEZNAM GRAFŮ

|  |    |
|--|----|
| Graf 1 Parametr převodnění a jeho změny u těhotných žen.....       | 41 |
| Graf 2 Změny objemu celkové tělesné tekutiny u těhotných žen ..... | 42 |
| Graf 3 Změny objemu extracelulární tekutiny u těhotných žen .....  | 42 |
| Graf 4 Změny objemu intracelulární tekutiny u těhotných žen.....   | 43 |

## 14 POUŽITÁ LITERATURA

1. AGUREE, S. a A. D. GERNAND. Plasma volume expansion across healthy pregnancy: a systematic review and meta-analysis of longitudinal studies. *BMC Pregnancy and Childbirth* [online]. 2019, **19**(1) [cit. 2022-01-13]. ISSN 1471-2393. Dostupné z: doi:10.1186/s12884-019-2619-6
2. *BCM – Body composition monitor: Innovation for better outcome* [online]. Fresenius Medical Care [cit. 2021-11-23]. Dostupné z: [https://www.surgicalhouses.com/assets/images/1091793798\\_electrode-cable-bcm-m351351.pdf](https://www.surgicalhouses.com/assets/images/1091793798_electrode-cable-bcm-m351351.pdf)
3. BEDOGNI, G., A. BORGHI a N. BATTISTINI. Body water distribution and disease. *Acta Diabetologica* [online]. 2003, **40**, s200-s202 [cit. 2021-12-02]. ISSN 0940-5429. Dostupné z: doi:10.1007/s00592-003-0065-3
4. BERLIT, S., B. TUSCHY, M. STOJAKOWITS, CH. WEISS, H. LEWELING, M. SÜTTERLIN a S. KEHL. Bioelectrical Impedance Analysis in Pregnancy: Reference Ranges. *In vivo* [online]. 2013, **27**(6), 851-854 [cit. 2022-02-24]. PMID: 24292592. Dostupné z: <https://iv.iijournals.org/content/invivo/27/6/851.full.pdf>
5. BERNSTEIN, I. M., W. ZIEGLER a G. J. BADGER. Plasma volume expansion in early pregnancy. *Obstetrics & Gynecology* [online]. 2001, **97**(5), 669-672 [cit. 2022-01-13]. ISSN 00297844. Dostupné z: doi:10.1016/S0029-7844(00)01222-9
6. Body mass index - BMI. *WHO Regional Office for Europe* [online]. World Health Organization, c2022 [cit. 2022-01-13]. Dostupné z: <https://www.euro.who.int/en/health-topics/disease-prevention/nutrition/a-healthy-lifestyle/body-mass-index-bmi>
7. BOSAEUS, M., U. ANDERSSON-HALL, L. ANDERSSON, T. KARLSSON, L. ELLEGÅRD a A. HOLMÄNG. Body Composition During Pregnancy: Longitudinal Changes and Method Comparisons. *Reproductive Sciences* [online]. 2020, **27**(7), 1477-1489 [cit. 2021-12-29]. ISSN 1933-7191. Dostupné z: doi:10.1007/s43032-020-00141-6

8. BROERS, N. J. H., B. CANAUD, M. J. E. DEKKER, F. M. SANDE, S. STUARD, P. WABEL a J. 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. 2021-12-28]. ISSN 1492-7535. Dostupné z: doi:10.1111/hdi.12812
9. CASTIZO-OLIVER, J. *Bioelectrical Impedance Vector Analysis (BIVA) in Exercise and Sports Practice* [online]. Barcelona, 2018 [cit. 2022-01-26]. DOI: 10.13140/RG.2.2.23653.24803. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/publication/329519896\\_Bioelectrical\\_Impedance\\_Vector\\_Analysis\\_BIVA\\_in\\_Exercise\\_and\\_Sports\\_Practice](https://www.researchgate.net/publication/329519896_Bioelectrical_Impedance_Vector_Analysis_BIVA_in_Exercise_and_Sports_Practice). Disertační práce. Universitat de Barcelona. Vedoucí práce F. A. Rodríguez Guisado.
10. CSERESNYÉS, I., K. RAJKAI, T. TAKÁCS a E. VOZÁRY. Electrical impedance phase angle as an indicator of plant root stress. *Biosystems Engineering* [online]. 2018, **169**, 226-232 [cit. 2022-01-22]. ISSN 15375110. Dostupné z: doi: 10.1016/j.biosystemseng.2018.03.004
11. 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), 909-916 [cit. 2021-12-28]. ISSN 0954-3007. Dostupné z: doi:10.1038/sj.ejcn.1601625
12. FAUPEL-BADGER, J. M., Ch-Ch. HSIEH, R. TROISI, P. LAGIOU a N. POTISCHMAN. Plasma Volume Expansion in Pregnancy: Implications for Biomarkers in Population Studies. *Cancer Epidemiology Biomarkers & Prevention* [online]. 2007, **16**(9), 1720-1723 [cit. 2022-01-13]. ISSN 1055-9965. Dostupné z: doi:10.1158/1055-9965.EPI-07-0311

13. GERNAND, A. D., P. CHRISTIAN, K. J. SCHULZE, S. SHAIKH, A. B. LABRIQUE, A. A. SHAMIM a K. P. WEST. Maternal Nutritional Status in Early Pregnancy Is Associated with Body Water and Plasma Volume Changes in a Pregnancy Cohort in Rural Bangladesh. *The Journal of Nutrition* [online]. 2012, **142**(6), 1109-1115 [cit. 2022-01-13]. ISSN 0022-3166. Dostupné z: doi:10.3945/jn.111.155978
14. GHEZZI, F., M. FRANCHI, D. BALESTRERI, B. LISCHETTI, M. C. MELE, S. ALBERICO a P. BOLIS. Bioelectrical impedance analysis during pregnancy and neonatal birth weight. *European Journal of Obstetrics & Gynecology and Reproductive Biology* [online]. 2001, **98**(2), 171-176 [cit. 2022-02-23]. ISSN 03012115. Dostupné z: doi:10.1016/S0301-2115(01)00330-X
15. GONZALEZ-CORREA, C. H., J. C. CAICEDO-ERASO a D. GALLAGHER. Total Body Water (TBW) for Body Composition Assessment in Young Adult Females from Colombia. SIMINI, Franco a Pedro BERTEMES-FILHO, ed. *II Latin American Conference on Bioimpedance* [online]. Singapore: Springer Singapore, 2016, 2016-01-03, s. 40-43 [cit. 2022-01-31]. IFMBE Proceedings. ISBN 978-981-287-926-4. Dostupné z: doi:10.1007/978-981-287-928-8\_11
16. 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), 1087-1096 [cit. 2022-01-26]. ISSN 8750-7587. Dostupné z: doi:10.1152/jappl.1999.87.3.1087
17. HEYMSFIELD, S. B., T. G. LOHMAN, Z. WANG a S. B. GOING. *Human Body Composition*. 2. vydání. USA: Human Kinetics, 2005. ISBN 0-7360-4655-0.
18. HRONEK, M. Antropometrické metody a jejich využití ke stanovení složení těla. In: ZADÁK, Z. a J. KVĚTINA. *Metodologie předklinického a klinického výzkumu v metabolismu, výživě, imunologii a farmakologii*. Praha: Galén, 2011, s. 244-254. ISBN 9788072627486.
19. HRONEK, M. *Praktická cvičení z morfologie a fyziologie pro posluchače Farmaceutické fakulty*. Praha: Karolinum, 2013. ISBN 978-80-246-2293-4.

20. CHEUNG, K. L. a R. A. LAFAYETTE. Renal Physiology of Pregnancy. *Advances in Chronic Kidney Disease* [online]. 2013, **20**(3), 209-214 [cit. 2022-01-16]. ISSN 15485595. Dostupné z: doi:10.1053/j.ackd.2013.01.012
21. KAŠANOVÁ, L. a R. WILHELMOVÁ. Těhotenské změny v organismu a v životě ženy. In: WILHELMOVÁ, R. a kol. *Vybrané kapitoly Porodní asistence I a II: Učební texty umožňující využití metody Problem Based Learning* [online]. Brno: Masarykova univerzita, c2021 [cit. 2022-01-13]. ISSN 1802-128X. Dostupné z: [https://is.muni.cz/do/rect/el/estud/lf/ps20/porodni\\_asistence/web/docs/vybrane\\_kapitoly\\_porodni\\_asistence.pdf](https://is.muni.cz/do/rect/el/estud/lf/ps20/porodni_asistence/web/docs/vybrane_kapitoly_porodni_asistence.pdf)
22. KHALIL, S. , M. MOHKTAR a F. IBRAHIM. The Theory and Fundamentals of Bioimpedance Analysis in Clinical Status Monitoring and Diagnosis of Diseases. *Sensors* [online]. 2014, **14**(6), 10895-10928 [cit. 2022-01-18]. ISSN 1424-8220. Dostupné z: doi:10.3390/s140610895
23. KOKAISL, P. *Základy antropologie*. V Praze: Česká zemědělská univerzita, Provozně ekonomická fakulta, 2007. ISBN 9788021317222.
24. KOPECKÝ, M., L. KREJČOVSKÝ a M. ŠVARC. *Antropometrický instrumentář a metodika měření antropometrických parametrů*. V Olomouci: Vydavatelství Univerzity Palackého, c2013. ISBN 978-80-244-3613-5
25. KYLE, U. G., I. BOSAEUS, A. D. DE LORENZO, P. DEURENBERG, M: ELIA, J: M. GOMÉZ, B. L. HEITMANN, L. KENT-SMITH, J-C. MELCHIOR, M. PIRLICH, H. SCHARFETTER, A. M. W. J. SCHOLS a C. PICHARD Bioelectrical impedance analysis – part I: review of principles and methods. *Clinical Nutrition* [online]. 2004a, **23**(5), 1226-1243 [cit. 2022-01-23]. ISSN 02615614. Dostupné z: doi:10.1016/j.clnu.2004.06.004
26. KYLE, U. G., I. BOSAEUS, A. D. DE LORENZO, P. DEURENBERG, M: ELIA, J: M. GOMÉZ, B. L. HEITMANN, L. KENT-SMITH, J-C. MELCHIOR, M. PIRLICH, H. SCHARFETTER, A. M. W. J. SCHOLS a C. PICHARD. Bioelectrical impedance analysis—part II: utilization in clinical practice. *Clinical Nutrition* [online]. 2004b, **23**(6), 1430-1453 [cit. 2022-01-18]. ISSN 02615614. Dostupné z: doi:10.1016/j.clnu.2004.09.012



27. LARCIPRETE, G., H. VALENSISE, B. VASAPOLLO, F. ALTOMARE, R. SORGE, B. CASALINO, A. DE LORENZO a D. ARDUINI. Body composition during normal pregnancy: reference ranges. *Acta Diabetologica* [online]. 2003, **40**(S1), s225-s232 [cit. 2022-02-23]. ISSN 0940-5429. Dostupné z: doi:10.1007/s00592-003-0072-4
28. LOF, M. a E. FORSUM. Evaluation of bioimpedance spectroscopy for measurements of body water distribution in healthy women before, during, and after pregnancy. *Journal of Applied Physiology* [online]. 2004, **96**(3), 967-973 [cit. 2022-02-23]. ISSN 8750-7587. Dostupné z: doi:10.1152/jappphysiol.00900.2003
29. LONGO, L. D. Maternal Physiology of Pregnancy. In: LONGO, L. D. *The Rise of Fetal and Neonatal Physiology* [online]. New York, NY: Springer New York, 2018, s. 217-280 [cit. 2022-01-13]. ISBN 978-1-4939-7482-5. Dostupné z: doi:10.1007/978-1-4939-7483-2\_10
30. LOPOT, F. Bioimpedometrie a její využití v dialyzační léčbě. *Vnitřní lékařství* [online]. 2016, **62**(Suppl. 6), 47-54 [cit. 2022-01-26]. Dostupné z: [https://www.casopisvnitrnilekarstvi.cz/artkey/vnl-201693-0009\\_bioimpedometry-and-its-utilization-in-dialysis-therapy.php](https://www.casopisvnitrnilekarstvi.cz/artkey/vnl-201693-0009_bioimpedometry-and-its-utilization-in-dialysis-therapy.php)
31. LUKASKI, H. C., C. B. HALL a W. A. SIDERS. Assessment of change in hydration in women during pregnancy and postpartum with bioelectrical impedance vectors. *Nutrition* [online]. 2007, **23**(7-8), 543-550 [cit. 2022-02-24]. ISSN 08999007. Dostupné z: doi:10.1016/j.nut.2007.05.001
32. LUKASKI, H. C., W. A. SIDERS, E. J. NIELSEN a C. B. HALL. Total body water in pregnancy: assessment by using bioelectrical impedance. *The American Journal of Clinical Nutrition* [online]. 1994, **59**(3), 578-585 [cit. 2022-02-06]. ISSN 0002-9165. Dostupné z: doi:10.1093/ajcn/59.3.578
33. MAREK, J. Jak ovlivňuje gravidita onemocnění hypofýzy. *Vnitřní lékařství* [online]. 2013, **59**(6), 472-477 [cit. 2022-01-26]. Dostupné z: [https://casopisvnitrnilekarstvi.cz/artkey/vnl-201306-0011\\_impact-of-pregnancy-on-pituitary-disorders.php](https://casopisvnitrnilekarstvi.cz/artkey/vnl-201306-0011_impact-of-pregnancy-on-pituitary-disorders.php)

34. MARRA, M., R. SAMMARCO, A. DE LORENZO, F. IELLAMO, M. SIERVO, A. PIETROBELLI, L. M. DONINI, L. SANTARPIA, M. CATALDI, F. PASANISI A F. CONTALDO. Assessment of Body Composition in Health and Disease Using Bioelectrical Impedance Analysis (BIA) and Dual Energy X-Ray Absorptiometry (DXA): a Critical Overview. *Contrast Media & Molecular Imaging* [online]. 2019, **2019**, 1-9 [cit. 2022-01-26]. ISSN 1555-4309. Dostupné z: doi:10.1155/2019/3548284
35. MOISSEL, U. M., P. WABEL, P. W. CHAMNEY, I. BOSAEUS, N. W. LEVIN, A. BOSY-WESTPHAL, O. KORTH, M. J. MÜLLER, L. ELLEGÅRD, V. MALMROS, CH. KAITWATCHARACHAI, M. K. KUHLMANN, F. ZHU A N. J. FULLER. Body fluid volume determination via body composition spectroscopy in health and disease. *Physiological Measurement* [online]. 2006, **27**(9), 921-933 [cit. 2022-01-31]. ISSN 0967-3334. Dostupné z: doi:10.1088/0967-3334/27/9/012
36. MOTTELSON, M. N., Ch. C. LUNDSGAARD a S. MØLLER. Mechanisms in fluid retention – towards a mutual concept. *Clinical Physiology and Functional Imaging* [online]. 2019, **40**(2), 67-75 [cit. 2022-01-16]. ISSN 1475-0961. Dostupné z: doi:10.1111/cpf.12615
37. MOUREK, J. *Fyziologie: učebnice pro studenty zdravotnických oborů. 2., dopl. vyd.* Praha: Grada, 2012. Sestra (Grada). ISBN 8024739186.
38. NAJPAVEROVÁ, S. *Bioimpedančná analýza zloženia telesných tekutín v období gravidity* [online]. Univerzita Karlova, Farmaceutická fakulta v Hradci Králové, 2017 [cit. 2022-02-23]. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/20.500.11956/84980>. Diplomová práca. Univerzita Karlova, Farmaceutická fakulta v Hradci Králové, Katedra biologických a lekářských věd. Vedoucí práce Miloslav Hronek.
39. NAJPAVEROVÁ, S. Zmeny nutričie, pokojového energetického výdaja a telesnej kompozície u českých žien v období gravidity a laktácie vo vzťahu k pôrodným parametrom a produkcii materského mlieka [online]. Univerzita Karlova, Farmaceutická fakulta v Hradci Králové, 2021 [cit. 2022-02-23]. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/20.500.11956/170190>. Rigorózní práce. Univerzita Karlova, Farmaceutická fakulta v Hradci Králové, Katedra biologických a lekářských věd. Vedoucí práce Miloslav Hronek.

40. NAVRÁTIL, L. *Vnitřní lékařství pro nelékařské zdravotnické obory*. 2., zcela přepracované a doplněné vydání. Praha: Grada Publishing, 2017. ISBN 978-80-271-0210-5.
41. NOSKOVÁ, A. *Bioimpedanční spektroskopická analýza kompozice těla v době gravidity* [online]. Univerzita Karlova, Farmaceutická fakulta v Hradci Králové, 2019 [cit. 2022-02-23]. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/20.500.11956/108572>. Diplomová práce. Univerzita Karlova, Farmaceutická fakulta v Hradci Králové, Katedra biologických a lékařských věd. Vedoucí práce Miloslav Hronek.
42. OBUCHOWSKA, A., A. STANDYŁO, Ź. KIMBER-TROJNAR a B. LESZCZYŃSKA-GORZELAK. The Possibility of Using Bioelectrical Impedance Analysis in Pregnant and Postpartum Women. *Diagnostics* [online]. 2021, **11**(8) [cit. 2022-01-26]. ISSN 2075-4418. Dostupné z: [doi:10.3390/diagnostics11081370](https://doi.org/10.3390/diagnostics11081370)
43. OSTERMANN, M., A. SAUTER, Y. XUE, Eivind BIRKELAND, J. SCHOELERMANN, B.HOLST a M. R. CIMPAN. Label-free impedance flow cytometry for nanotoxicity screening. *Scientific Reports* [online]. 2020, **10**(1) [cit. 2022-01-18]. ISSN 2045-2322. Dostupné z: [doi: 10.1038/s41598-019-56705-3](https://doi.org/10.1038/s41598-019-56705-3)
44. RIEGEROVÁ, J., M. PŘIDALOVÁ a M. ULBRICHOVÁ. Aplikace fyzické antropologie v tělesné výchově a sportu: (příručka funkční antropologie). 3. vyd. Olomouc: Hanex, 2006. ISBN 80-85783-52-5.
45. THOMAS, B. J., B. H. CORNISH, M. J. PATTEMORE, M. JACOBS a L. C. WARD. a comparison of the whole-body and segmental methodologies of bioimpedance analysis. *Acta Diabetologica* [online]. 2003, **40**, s236-s237 [cit. 2022-01-23]. ISSN 0940-5429. Dostupné z: [doi:10.1007/s00592-003-0074-2](https://doi.org/10.1007/s00592-003-0074-2)
46. THOMAS, B. J., L. C. WARD a B. H. CORNISH. Bioimpedance spectrometry in the determination of body water compartments: Accuracy and clinical significance. *Applied Radiation and Isotopes* [online]. 1998, **49**(5-6), 447-455 [cit. 2022-01-22]. ISSN 09698043. Dostupné z: [doi: 10.1016/S0969-8043\(97\)00052-3](https://doi.org/10.1016/S0969-8043(97)00052-3)

47. VALENSISE, H., A. ANDREOLI, S. LELLO, F. MAGNANI, C. ROMANINI a A. DE LORENZO. Multifrequency bioelectrical impedance analysis in women with a normal and hypertensive pregnancy. *The American Journal of Clinical Nutrition* [online]. 2000, **72**(3), 780-783 [cit. 2022-02-24]. ISSN 0002-9165. Dostupné z: doi:10.1093/ajcn/72.3.780
48. VAN LOAN, M. D., L. E. KOPP, J. C. KING, W. W. WONG a P. L. MAYCLIN. Fluid changes during pregnancy: use of bioimpedance spectroscopy. *Journal of Applied Physiology* [online]. 1995, **78**(3), 1037-1042 [cit. 2022-02-24]. ISSN 8750-7587. Dostupné z: doi:10.1152/jappl.1995.78.3.1037
49. VERBALIS, J. G. *Disorders of body water homeostasis* [online]. 2003, **17**(4), 471-503 [cit. 2021-12-02]. ISSN 1521690X. Dostupné z: doi:10.1016/S1521-690X(03)00049-6
50. WARD, L. C. a M. J. MÜLLER. Bioelectrical Impedance Analysis. *European Journal of Clinical Nutrition* [online]. 2013, **67**(S1), S1-S1 [cit. 2022-01-18]. ISSN 0954-3007. Dostupné z: doi:10.1038/ejcn.2012.148
51. WATSON, P. E., I. D. WATSON a R. D. BATT. Total body water volumes for adult males and females estimated from simple anthropometric measurements. *The American Journal of Clinical Nutrition* [online]. 1980, **33**(1), 27-39 [cit. 2022-01-31]. ISSN 0002-9165. Dostupné z: doi:10.1093/ajcn/33.1.27