

UNIVERZITA KARLOVA

FARMACEUTICKÁ FAKULTA V HRADCI KRÁLOVÉ

KATEDRA BIOLOGICKÝCH A LÉKAŘSKÝCH VĚD



DIPLOMOVÁ PRÁCE

**HODNOCENÍ SLOŽENÍ TĚLA METODOU  
BIOIMPEDANČNÍ ANALÝZY U ZDRAVÝCH  
DOBROVOLNÍKŮ**

**Barbora Talová**

Vedoucí diplomové práce: PharmDr. Miroslav Kovařík, Ph.D.

HRADEC KRÁLOVÉ, 2019

## **Poděkování**

Tímto bych ráda poděkovala mému vedoucímu práce PharmDr. Miroslavu Kovaříkovi, Ph.D. za odborné vedení během měření dobrovolníků a pomoc se zpracováním výsledků. Děkuji mu za cenné rady, připomínky, pečlivost a za čas, který mi věnoval při psaní této diplomové 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, 28.3.2019

.....

Barbora Talová

## Obsah

## OBSAH

Obsah .....	4
1. ABSTRAKT.....	7
2. ABSTRACT.....	8
3. ÚVOD.....	9
4. CÍL PRÁCE .....	10
5. TEORETICKÁ ČÁST .....	11
5.1 Modely tělesného složení .....	11
5.1.1 Atomický model .....	11
5.1.2 Molekulární model.....	12
Buněčný model.....	13
5.1.3.....	13
5.1.4 Tkáňově-systémový model .....	14
5.1.5 Celotělový model .....	16
5.1.6 Tělesné modely podle počtu komponent .....	16
5.1.7 Odlišnosti tělesného složení.....	17
5.2 Složky tvořící hmotnost těla.....	18
5.2.1 Tukuprostá hmota.....	18
5.2.2 Tuková hmota .....	19
5.2.3 Celková tělesná voda.....	20
5.3 Obezita .....	22
5.3.1 Definice obezity.....	22
5.3.2 Klasifikace obezity .....	22
5.3.3 Etiopatogeneze obezity.....	24
5.3.4 Komplikace obezity .....	25
5.3.5 Prevalence nadváhy a obezity.....	26
5.4 Metody analýzy tělesného složení.....	30
5.4.1 Antropometrické měření .....	30

5.4.2	Bioelektrická impedance .....	35
5.4.3	Hydrodenzitometrie .....	36
5.4.4	Pletysmografie .....	38
5.4.5	Duální rentgenová absorpciometrie (DEXA) .....	39
5.4.6	Stanovení celkového tělesného draslíku .....	39
5.4.7	Izotopová diluční metoda .....	39
5.4.8	Kreatininurie .....	40
5.4.9	Celková tělesná vodivost .....	40
5.4.10	Počítačová tomografie .....	40
5.4.11	Ultrazvuk .....	41
6.	EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST .....	42
6.1	Použitá metodika .....	42
6.1.1	Antropometrické váhy .....	42
6.1.2	Abdominal fat analyser .....	45
6.1.3	Kaliper .....	48
6.2	Statistické zpracování dat .....	50
7.	VÝSLEDKY .....	51
7.1	Základní charakteristika .....	51
7.1.1	Tělesné obvody .....	53
7.1.2	Šířka kloubů .....	54
7.1.3	Kaliperace .....	55
7.2	Viscerální tuk .....	56
7.3	Tělesný tuk .....	58
7.3.1	Porovnání výsledků % FM .....	58
7.3.2	Bland-Altmanova analýza pro porovnání míry shody výsledků mezi celotělovou BIA a referenčními metodami .....	59
8.	DISKUSE .....	62
9.	ZÁVĚR .....	65
10.	POUŽITÉ ZKRATKY .....	66
11.	SEZNAM TABULEK .....	67

12.	SEZNAM OBRÁZKŮ .....	68
13.	SEZNAM GRAFŮ .....	68
14.	POUŽITÁ LITERATURA .....	69_

# 1. ABSTRAKT

Univerzita Karlova

Farmaceutická fakulta v Hradci Králové

Katedra biologických a lékařských věd

Student: Barbora Talová

Vedoucí diplomové práce: PharmDr. Miroslav Kovařík, Ph.D.

Název práce: Hodnocení složení těla metodou bioimpedanční analýzy u zdravých dobrovolníků

Cílem této práce bylo v teoretické části zpracovat dosavadní poznatky o složení lidského těla a metodách, kterými lze stanovit tělesný tuk. Dalším cílem bylo porovnat shodu a rozdíly mezi několika použitými metodami pro stanovení množství celkového a viscerálního tuku.

Studie se zúčastnilo celkem 43 žen, rozdělených do dvou skupin podle BMI. První skupinu tvořilo 35 žen s normální hodnotou BMI ( $21,2 \pm 2,2$ ) a do druhé skupiny bylo zařazeno 8 obézních žen s hodnotou BMI  $43,4 \pm 8,7$ . Pro stanovení množství tělesného tuku v těle byly využity tři metody-bioimpedanční metoda s bipedálním uspořádáním elektrod (přístroj Tanita), biimpedanční metoda za použití přístroje Abdominal fat analyser a měření tloušťky kožních řas. Procento tělesného tuku bylo stanoveno výpočtem podle Deurenberga, Brožka, Siriho, Bunce a Pařízkové.

Významné statistické odlišnosti mezi měřenými skupinami byly prokázány u věku, hmotnosti a BMI. U obézní skupiny žen bylo zaznamenáno větší množství tukové hmoty a menší zastoupení tukuprosté hmoty, a tudíž i celkové tělesné vody. Obézní skupina žen se také vyznačovala větším obvodem pasu a množstvím viscerálního tuku. Významná shoda mezi dvěma bioimpedančními metodami při stanovení procenta viscerálního tuku byla zaznamenána u obézní skupiny, zatímco u kontrolní skupiny byly výsledky odlišné.

Největší shoda při stanovení celkového tělesného tuku byla nalezena u kontrolní skupiny ve výpočtu podle Deurenberga v porovnání s bioimpedanční metodou s bipedálním uspořádáním elektrod. U obézní skupiny žen byla největší shoda zaznamenána mezi bioimpedančními metodami. Menší shoda ve výsledcích byla zaznamenána u obou skupin ve výpočtu podle Brožka, Siriho a Bunce v porovnání s bipedální metodou. Výpočet podle Pařízkové výrazně podhodnocoval tělesný tuk u obou skupin.

**Klíčová slova:** složení těla, biimpedanční analýza, kaliperace, predikční rovnice, obezita

## 2. ABSTRACT

Charles University

Faculty of Pharmacy in Hradec Králové

Department of Biological and Medical Sciences

Student: Barbora Talová

Supervisor of master thesis: PharmDr. Miroslav Kovařík, Ph.D.

Title of master thesis: Body composition determination by means of bioimpedance analysis in healthy volunteers

The aim of this thesis in theoretical part was to elaborate the existing knowledge about the composition of a human body and methods used for evaluation of body fat. The second aim was to compare the conformity and differences among several methods used to determine total and visceral fat.

A total of 43 women participated in the study. They were divided into two groups according to their BMI. The first group consisted of 35 women with normal BMI ( $21.2 \pm 2.2$ ). The second group consisted of 8 obese women with a BMI of  $43.4 \pm 8.7$ . Three methods were used to determine body fat in the body-bioimpedance method with bipedal electrode arrangement (Tanita instrument), bioimpedance method with Abdominal fat analyzer and skinfold thickness measurement. The body fat percentage was determined by using the Deurenberg, Brozek, Siri, Bunc and Parizkova calculations.

Significant statistical differences between the measured groups were found in age, weight and BMI. A greater amount of fat mass and a lower proportion of fat-free mass and hence total body water were registered in the obese group of women. The obese group of women was also characterized by a larger waist circumference and the amount of visceral fat. While determining the percentage of visceral fat, there was a significant conformity between the two bioimpedance methods within the obese group, while the results of the control group were different.

While determining the total body fat, the highest agreement in the control group of women was between the Deurenberg calculation and the bioimpedance method with bipedal electrode arrangement. In the obese group of women, the highest agreement was recorded between bioimpedance methods. Less agreement of results was observed in both groups in the Brozek, Siri and Bunc calculations compared to the bipedal method. Calculation according to Parizkova significantly underestimated body fat in both groups.

**Key words:** body composition, bioelectrical impedance analysis, skinfold thickness measurement, prediction equation, obesity



### 3. ÚVOD

Měření podílu tělesného tuku je důležitým ukazatelem zdravotního a výživového stavu člověka. K hodnocení tělesného složení jsou dostupné různé metody, jejichž výsledky se mohou navzájem výrazně lišit. K diagnostice nadváhy a obezity se v běžné klinické praxi využívají nejčastěji body mass index (BMI), obvod pasu a poměr pas/boky. Jedná se o levné a jednoduché metody, jejichž nevýhoda spočívá v tom, že neodráží skutečný poměr tělesného tuku k svalové hmotě (Bužga et. al, 2011). V posledních letech došlo k rychlému rozvoji metod zaměřených na stanovení tělesného složení, zejména k vyhodnocení tělesného tuku (Ayvaz, Cimen, 2011).

V souvislosti se stále zvyšující se prevalencí nadváhy a obezity jsou metody měření tělesného složení využívány k diagnostice nadváhy a obezity, vyhodnocení rizik související s množstvím a distribucí tukové tkáně. Hodnocení tělesného složení je také důležitým ukazatelem pro přesné vyhodnocení výživového stavu u pacientů s malnutricí, chronickým onemocněním ledvin, chronickou obstrukční plicní nemocí a při dalších onemocněních.

K metodám měření tělesného složení patří např. bioelektrická impedanční analýza, měření tloušťky kožních řas pomocí kaliperů podle různých metodik, hydrodenzitometrie, duální rentgenová absorpciometrie, počítačová tomografie a ultrazvuk.

Metody se od sebe odlišují v přesnosti měření, nákladech na pořízení přístrojů, v časové a profesní náročnosti, použitelnosti pro danou věkovou kategorii a ve spolupráci s vyšetřovanou osobou.

## 4. CÍL PRÁCE

Cílem této práce je porovnat výsledky měření procenta tělesného tuku získané kaliperací a výpočtem podle rozdílných rovnic s výsledky získanými metodou bioimpedanční analýzy. Měření bude probíhat na skupině osob s normální hodnotou BMI, která bude srovnávána se skupinou osob trpící obezitou. Následně budou vyhodnoceny rozdíly mezi výsledky jednotlivých metod stanovení celkového a viscerálního tělesného tuku.

## 5. TEORETICKÁ ČÁST

### 5.1 Modely tělesného složení

#### 5.1.1 Atomický model

Základní stavební kameny lidského těla jsou atomy a prvky. V lidském těle bylo nalezeno 50 prvků a jejich distribuce v tkáních a orgánech byla dobře zdokumentována. Z celkového počtu zaujímá více než 98 % tělesné hmotnosti šest prvků (kyslík, uhlík, vodík, dusík, vápník a fosfor). Samotný kyslík se nachází v lidském těle v zastoupení okolo 60 %. Dalších 44 prvků tvoří méně než 2 % tělesné hmotnosti. Zastoupení jednotlivých prvků je uvedeno v tabulce č. 1 a hodnoty odpovídají pro referenčního člověka vážícího 70 kg. Výsledky byly získány pomocí chemické analýzy prováděné na mrtvých tělech a orgánech (Wang et al., 1992).

**Tabulka č. 1 Tělesné složení na úrovni atomického modelu (muž, 70 kg)**

Prvek	Množství (kg)	Množství (%)
Kyslík	43,000	61,000
Uhlík	16,000	23,000
Vodík	7,000	10,000
Dusík	1,800	2,600
Vápník	1,000	1,400
Fosfor	0,580	0,830
Síra	0,140	0,200
Draslík	0,140	0,200
Sodík	0,100	0,140
Chlor	0,095	0,140
Hořčík	0,019	0,027
<b>Celkem</b>	<b>69,874</b>	<b>99,537</b>

Zdroj: Wang et al. 1992 (převzato a upraveno)

## 5.1.2 Molekulární model

Celkem 11 hlavních prvků (viz tabulka č. 1) vytvářejí molekuly představující více než 100 000 chemických sloučenin, které se nachází v lidském těle. Mezi 5 nejsledovanějších komponent patří voda, proteiny, lipidy, glykogen a minerální látky. Hodnoty jsou vždy uvedeny pro referenčního člověka (RČ-muž 70 kg).

- Nejhojněji zastoupená chemická sloučenina v lidském těle je voda, která činí až 60 % hmotnosti.
- Pojem bílkoviny (proteiny) v modelech tělesného složení většinou zahrnuje téměř všechny sloučeniny obsahující dusík od jednoduchých aminokyselin až po složité nukleoproteiny s molekulovou hmotností 2257,4 a hustotou 1,34 g/cm<sup>3</sup> při 37 °C.
- Lipidy bývají často zaměňovány s pojmem tuky. Důležité je si uvědomit, že tuky patří do vyšší skupiny. V lidském organismu bylo rozpoznáno kolem 50 různých druhů lipidů. Jednu z podskupin tvoří i triacylglyceroly s průměrnou molekulovou hmotností 806 a hustotou 0,900 g/cm<sup>3</sup> při 37 °C.
- Další komponentu tvoří glykogen jako zásobní forma cukrů vyskytující se v cytoplazmě buněk, zejména v játrech a svazech, s hustotou 1,52 g/cm<sup>3</sup> při 37 °C.
- Minerální látky obsahují ve svých strukturách vždy nějaký prvek kovu a nekovové prvky. Nejrozšířenějším prvkem je zde vápník, který je z 99 % uložen v kostech ve formě hydroxyapatitu.

V rovnici č. 1 je definována celková tělesná hmotnost jako součet tukové hmoty (FM) a tukuprosté hmoty (FFM) a ta je dále složena z čtyř komponent (Wang et al., 1992).

### Rovnice č. 1 Molekulární model

$\mathbf{BWt} = \mathbf{FFM} + \mathbf{FM}$ $\mathbf{FFM} = \text{bílkoviny} + \text{glykogen} + \text{voda} + \text{minerální látky}$
--

Zdroj: Wang et al., 1992

**Vysvětlivky:** **BWt** – *body weight*; tělesná hmotnost, **FFM** – *fat free mass*; tukuprostá hmotnost, **FM** – *fat mass*; tuková hmotnost

Měření celkové tělesné vody se realizuje izotopovou diluční metodou a kostní minerály se měří pomocí duální fotonové absorpciometrie (DEXA) (Riegerová et al., 2006). V následující tabulce č. 2 jsou rovnice pro odhad jednotlivých tělesných komponent a referenční metody, ze kterých byly tyto rovnice odvozeny.

**Tabulka č. 2 Rovnice pro odhad tělesných komponent**

Referenční metoda	Rovnice
Antropometrie	$FM = 0,65 \cdot BW - 0,21 \cdot Ht + 14,1$
Bioimpedační analýza	$FFM = 0,85 \cdot Ht^2/Z + 4,1$
24-h exkrece kreatininu	$SM = 18,9 \cdot Cre + 4,1$
Hydrodenzitometrie	$FM = 4,95 \cdot BV - 4,50 \cdot BW$ $FFM = 5,50 \cdot BW - 4,95 \cdot BV$
Izotopová diluční metoda	$Protein = 0,335 \cdot TBW - 2,53$ $FFM = 1,37 \cdot TBW$
Neutronová aktivační analýza	$Protein = 6,25 \cdot TBN$
Celotělová detekce $^{40}K$	$BCM = 213 \cdot TBK$

*Zdroj: Heymsfield et al., 1997 (převzato a upraveno)*

**Vysvětlivky:** **BW** – tělesná hmotnost, **Ht** – výška, **FFM** – tukuprostá hmota, **Z** – impedance těla, **SM** – kosterní svalstvo, **Cre** – 24-hodinová exkrece kreatininu do moče, **BV** – objem těla, **TBW** – celková tělesná voda, **BCM** – buněčná hmota, **TBN** – celkový tělesný dusík, **TBK** – celkový tělesný draslík

### 5.1.3 Buněčný model

Tento model vychází z předpokladu spojení jednotlivých molekulárních komponent v jednotlivé orgány a celé buňky. Na buněčné úrovni se lidské tělo skládá ze tří hlavních kompartmentů: buňky, extracelulární tekutiny (ECF)<sup>1</sup> a extracelulární pevné látky (ECS)<sup>2</sup>. V dospělém lidském těle se vyskytuje přes  $10^{18}$  buněk, které se mohou lišit svým tvarem, velikostí, elementárním a molekulárním složením a metabolismem. Na základě těchto odlišností jsou rozděleny do 4 kategorií: svalové, pojivové, epiteliální a nervové buňky. ECF obklopuje buňky a zajišťuje vhodné prostředí pro výměnu plynů, přenos živin a metabolismus. Z 94 % je složena z vody a zbylých 6 % tvoří organické a anorganické komponenty. ECF tvoří hlavní součást plazmy v intravaskulárním prostoru a intersticiální tekutiny (ISF)<sup>3</sup> v extravaskulárním prostoru (Wang et al., 1992)

<sup>1</sup> **ECF** – extracellular fluid; extracelulární tekutina

<sup>2</sup> **ECS** – extracellular solid; extracelulární pevné látky

<sup>3</sup> **ISF** – interstitial fluid; intersticiální tekutina

Dle Wanga (1992) může být buněčný model popsán následujícími rovnicemi:

**Rovnice č. 2 Buněčný model**

$$\mathbf{Bwt} = \mathbf{CM} + \mathbf{ECF} + \mathbf{ECS}$$
$$\mathbf{CM} = \text{svalové buňky} + \text{pojivové buňky} + \text{epiteliární buňky} + \text{nervové buňky}$$
$$\mathbf{ECF} = \text{plasma} + \text{ISF}$$
$$\mathbf{ECS} = \text{organické ECS} + \text{anorganické ECS}$$

Zdroj: Wang et al., 1992 (převzato)

**Vysvětlivky:** **CM** – *cell mass*; buňky, **ECF** – *extracellular fluid*; extracelulární tekutina, **ECS** – *extracellular solid*; extracelulární pevné, **ISF** – *interstitial fluid*; intersticiální tekutina, **BWt** – *body weight*; tělesná hmotnost

ECF a plasmatická tekutina může být změřena pomocí neutronové aktivační analýzy nebo izotopovou diluční metodou (Riegerová et al., 2006).

#### 5.1.4 Tkáňově-systémový model

Čtvrtá úroveň složení těla organizuje molekuly do tkání s podobným vzhledem, funkcí a embryonálním původem. Lze rozlišit 4 druhy tkání: epiteliální, pojivovou, svalovou a nervovou. Až 75 % tělesné hmotnosti zaujímá kostní, svalová a tuková tkáň, a proto je soustředěna pozornost na tyto komponenty. Tuková i kostní tkáň patří do podskupiny pojivové tkáně. Dle distribuce v organismu lze rozlišit tukovou tkáň subkutánní, viscerální, intersticiální a žlutou kostní dřev. V tabulce č. 3 jsou uvedené jednotlivé složky a jejich procentní zastoupení v těle referenčního muže při váze 70 kg.

**Tabulka č. 3 Tělesné složení na úrovni tkáňově-systémového modelu (muž, 70 kg)**

Tkáň nebo orgán	Množství (kg)	Procenta tělesné váhy (%)
Kosterní sval	28,0	40,0
Tuková tkáň		
Podkožní tuk	7,5	11,0
Viscerální tuk	5,0	7,1
Intestinální tuk	1,0	1,4
Žlutá kostní dřev	1,5	2,1
Kosti	5,0	7,1
Krev	5,5	7,9
Kůže	2,6	3,7
Játra	1,8	2,6
Centrální nervový systém	1,4	2,0
Gastrointestinální trakt	1,2	1,7
Plíce	1,0	1,4

Zdroj: Wang et al. 1992 (převzato a upraveno)

Dle Wang a kol. (1992) se v lidském těle vyskytuje devět hlavních systémů, které lze definovat následující rovnicí č. 3:

**Rovnice č. 3 Tkáňově-systémový model**

$\text{BWt} = \text{muskuloskeletální} + \text{kožní} + \text{nervový} + \text{respirační} + \text{oběhový} + \text{zažívací} + \text{vyměšovací} + \text{reprodukční} + \text{endokrinní systém}$
--

Zdroj: Wang et al., 1992

**Vysvětlivky: BWt** – *body weight*; tělesná hmotnost

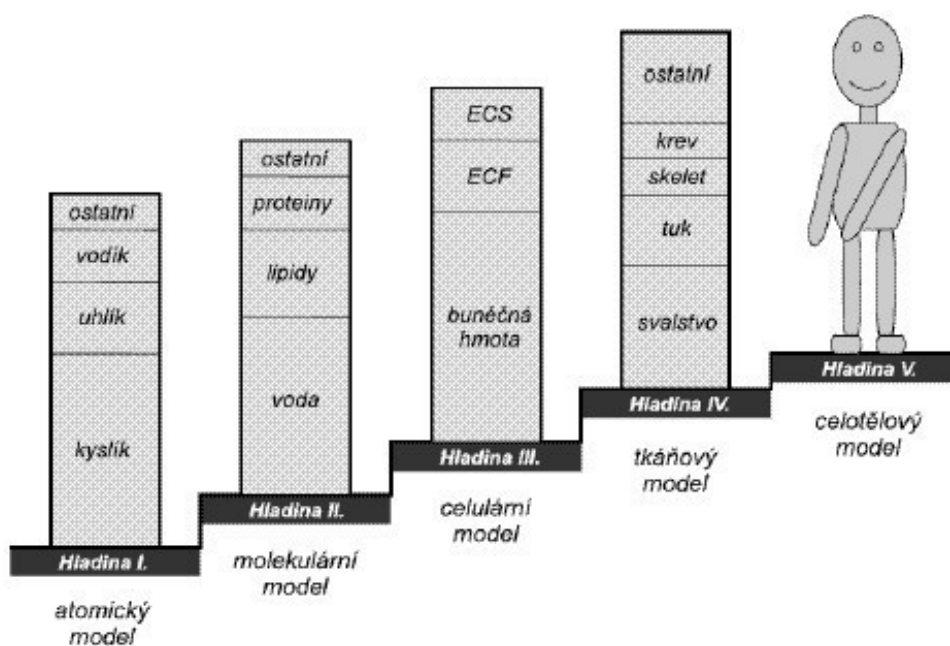
Používanými metodami jsou magnetická rezonance a tomografie, které patří mezi přímé metody. Některé z těchto komponent lze stanovit i nepřímými metodami jako je např. množství kosterní svalové hmoty zjišťované pomocí vyloučeného kreatininu za 24 hodin nebo z celkového draslíku (Riegerová et al., 2006).

### 5.1.5 Celotělový model

Podle tohoto modelu je lidské tělo vnímáno jako jeden kompartment, který lze charakterizovat tělesnou výškou, hmotností a výškovými indexy. Mezi další antropometrická měření patří délkové, šířkové, obvodové rozměry, tloušťka kožní řasy, objem těla a z něj odhadovaná denzita, která udává množství FM a FFM (Riegerová et al., 2006).

Rozdíly mezi jednotlivými typy popsaných modelů složení lidského těla jsou shrnuty v obrázku č. 1.

**Obrázek č. 1** Pětistupňový model tělesného složení



Zdroj: Riegerová et al., 2006 (převzato)

**Vysvětlivky:** ECF – extracellular fluid; extracelulární tekutina, ECS – extracellular solid; extracelulární pevné látky

### 5.1.6 Tělesné modely podle počtu komponent

Z praktického a klinického hlediska jsou podle možností a použití různých přístrojů a technik využívané dvou-, tří nebo čtyřkomponentové modely, z nichž nejvíce využíván je dvoukomponentový model.

- **Dvoukomponentový model**-podle tohoto modelu se lidské tělo skládá ze dvou základních komponent – FM a FFM. Zpočátku FFM označoval termín „lean body mass“ (aktivní tělesná hmota), který obsahoval i malé množství tzv. esenciálního, špatně odlišitelného tuku. U mužů tvoří 2-3 % a u žen 5-8 % z celkové tělesné hmotnosti. Jelikož je nemožné od sebe odlišit esenciální a neesenciální lipidy je v dnešní době doporučeno používat koncepci tukuprosté hmoty, kterou udáváme jako hmotnost všech tkání bez extrahovatelného tuku.



- **Tříkomponentový model** – z hlediska tělesného složení rozlišuje tento model tuk, vodu a sušinu (proteiny, minerály). Pro zjednodušení se v praxi využívá rozdělení na tuky, svalstvo a kostní tkáň.
- **Čtyřkomponentový model** – definuje hmotnost jako kombinaci složek tuku, ECF, buněk a minerálů.

Chemické složení FFM je relativně konstantní pro všechny jedince a procentuální zastoupení komponent předpokládá následující: obsah vody 72-74 %, obsah draslíku 60-70 mmol/kg u mužů a 50-60 mmol/kg u žen. Dalším předpokladem je denzita FFM 1,1 g/cm<sup>3</sup> při 37°C. FM není složena z vody ani draslíku a denzita činí 0,9 g/cm<sup>3</sup> při 37 °C (Riegerová et al., 2006).

### 5.1.7 Odlišnosti tělesného složení

S přibývajícím věkem dochází v organismu k typickým změnám tělesného složení. U mužů ve všech věkových kategoriích se postupně zvyšuje podíl FM. Rozdíl v porovnání mezi 15-24 a 55-64 lety činí 36,4% přírůstek FM. Zatímco u žen je poměrně stejný obsah FM do 45-54 let a poté dochází k výraznému růstu FM. Největší hodnoty FFM dosahují muži ve věku 25-44 let a následně tyto hodnoty klesají. U žen hodnoty FFM zůstávají stabilní a pokles nastává po dosažení věku 65 let (Pichard et al., 2000).

Podíl FFM a FM se u sportovců liší v závislosti na druhu sportu, který vykonávají. Mezi výhody nízkého množství tělesného tuku patří lepší fyzické a mechanické dovednosti. Ve sportech, kde je důležitá síla, by měli sportovci nabrat co nejvíce svalové hmoty. Hodnocení složení těla je v určitých sportech cenné při sledování jeho vlivu na výkonnost. Je vhodné sledovat daného sportovce dlouhodobě a naměřené hodnoty porovnávat s předcházejícími výsledky. Nízké procento tělesného tuku může být jednou z příčin poruch menstruačního cyklu u sportujících žen a může vést k úbytku kostní hmoty v důsledku nízkých hladin estrogenů (Maughan R, 2006).

## 5.2 Složky tvořící hmotnost těla

### 5.2.1 Tukuprostá hmota

FFM je heterogenní komponentou a skládá se ze svalové tkáně (60 %), hmotnosti útrobních orgánů (15 %), opěrné a pohybové tkáně (25 %). Poměr mezi jednotlivými složkami FFM je proměnlivý v závislosti na věku, pohybové aktivitě a dalších exogenních i endogenních faktorech (Rigerová et al., 2006).

Tuto složku lze také vyjádřit jako součet intracelulární hmoty – BCM (Body Cell Mass) a extracelulární hmoty – ECM (Extracellular Mass). Poměr BCM a ECM představuje vzhledem k její dynamické povaze dobrý ukazatel podvýživy, prediktor klinického vývoje a mortality pacientů. Optimálnímu stavu výživy odpovídá hodnota indexu 0,7. Pokud se index snižuje, tak to odpovídá většímu zastoupení FFM. Překročí-li hodnota indexu hranici 1,22, ukazuje to na rozvíjející se malnutrici (Barbosa-Silva et al., 2003).

- **Svalstvo**

V lidském těle se nachází tři typy svalové tkáně: svaly kosterní (příčně pruhované), svaly srdeční (modifikované kosterní) a hladké svaly. Největší zastoupení mají kosterní svaly, tvoří přibližně 40 % tělesné hmotnosti, svaly hladké spolu se srdečními 10 % tělesné hmotnosti (Rokyta et al., 2000).

Nevyšších hodnot svalové hmoty dosahují sportovci, kde v závislosti na typu tělesného zatížení dochází k rozdílům. Sportující žena může dosáhnout vyšších hodnot než muži, a to jak relativních, tak i absolutních. Adaptace na pohybovou zátěž je ovlivňována několika faktory, které jsou ve vzájemném vztahu. Mezi ně řadíme: pohlaví, věk, celkové množství tuku, genetickou výbavu a počáteční stupeň tréninku (Kopecký et al., 2012).

Významným kritériem jsou i regionální zvláštnosti rozvoje svalstva, protože mohou přispívat k hodnocení celkového těsného složení a používají se také jako kritérium k diagnostice rozvoje svalových předpokladů. Novorozenci mají 40 % hmotnosti svalů soustředěných na trupu, zatímco u dospělých je to 25-30 %. Naopak na dolních končetinách se podíl svalstva zvyšuje ze 40 % při narození na 55 % v dospělosti (Riegerová et al., 2006).

- **Kostra**

Stavba kostry je určující faktor pro tvar a proporci těla. Kostra plní funkci opory pro svaly, vazy a šlachy. Díky své pevné konstrukci je označována jako pasivní složka pohybů, které provádějí svaly. V kostech dochází ovšem k metabolismu, který ovlivňuje jejich kvalitu a funkci (Jarkovská, 2007).

Dle Riegerové a kol. (2006) je podíl kosterní složky na celkové hmotnosti těla přibližně stejný u novorozenců i u dospělých osob.

Denzita kostí se liší v závislosti na pohlaví, lidské rase, druhu kosti a věku. Bylo prokázáno, že mužské kosti mají větší denzitu než ženské. Rozdíly jsou také u lidských ras, kdy u negroidní rasy můžeme očekávat vyšší denzitu, zatímco u europoidní nižší denzitu. S přibývajícím věkem

dochází k řidnutí kostí, avšak záleží i na typu a umístění kostí, s jakou rychlostí k tomu bude docházet (Trotter et al., 1960).

## 5.2.2 Tuková hmota

- **Charakteristika tukové tkáně**

Tuk je nejvariabilnější komponentou hmotnosti těla. Množství tukové tkáně lze poměrně snadno ovlivnit výživovými aspekty a pohybovou aktivitou. Je však důležité si uvědomit, že příliš nízké či vysoké množství podkožního tuku může být rizikovým faktorem pro rozvoj řady onemocnění. Nižší hodnoty mohou znamenat pro organismus jedince zdravotní riziko v podobě různých dysfunkcí. Pro správné fungování těla potřebuje určité množství tuku. Využívá jej pro stavbu buněčných membrán, rozpouštění vitamínů (A, D, E, K) a k transportu lipidů a cholesterolu. Vyšší hodnoty bývají spojovány obecně s obezitou, která často vede k zdravotním komplikacím. Ideální procentuální hodnoty FM u normální populace v závislosti na věku jsou uvedené v tabulce č. 4 (Riegerová et al., 2006).

**Tabulka č. 4 Procentuální zastoupení tukové frakce u normální populace**

Věk	<30 let	30-50 let	>50 let
Ženy	14-21 %	15-23 %	16-25 %
Muži	9-15 %	11-17 %	12-19 %

Zdroj: Riegerová et al. 2006 (převzato)

- **Vývoj tukové tkáně**

Tukové buňky (adipocyty) se vyvíjí z nediferencovaných mezenchymálních buněk, které jsou následně transformovány na lipoblasty. Tyto elementy jsou podobné fibroblastům, avšak jsou schopny shlukovat tuk v cytoplazmě. Z počátku jsou lipidová depozita umístěna daleko od sebe a následně dochází k splynutí v jednu velkou kapku. V období postnatální periody mohou hrát roli ve zvýšení počtu původních adipocytů nutriční i jiné vlivy. Dochází tak k hyperplazii buněk. Tento raný početní přírůstek adipocytů může způsobit větší predispozici k obezitě v dalších letech života. Při nadměrném přívodu kalorií dochází v dospělosti k zvětšování adipocytů tzv. k hypertrofii (Junqueira et al., 1997).

- **Typy tukové tkáně**

Tuková tkáň je z histologického hlediska dělena na čtyři typy: bílá tuková tkáň (white adipose tissue, WAT), hnědá tuková tkáň (brown adipose tissue, BAT), béžová tuková tkáň a perivaskulární tuková tkáň (perivascular adipose tissue, PVAT) (Grigoras et al., 2018).

Bílá až žlutá barva WAT je dána přítomností karotenů v potravě a buňky této tkáně mají jen jednu velkou tukovou vakuolu. U dospělých jedinců převažuje výhradně tento typ tukové tkáně a najdeme ji téměř všude až na oční víčka, penis, skrotum a ušní boltec. Mezi faktory ovlivňující rozložení a hustotu tukových depozit, patří věk a pohlaví. U novorozenců je podkožní vrstva tuku rovnoměrně rozložená po celém těle a s přibývajícím věkem dochází k redistribuci

tuku vlivem pohlavních a adrenokortikotropních hormonů. Tyto hormony jsou zodpovědné za charakteristický tvar mužské a ženské postavy.

Zbarvení BAT je dáno díky husté kapilární síti a mitochondriím, obsahující barevné cytochromy. Na rozdíl od WAT můžeme tuto tkáň najít pouze v typických lokalizacích: v podkoží mezi lopatkami, mezi krčními svaly, okolo thymu, aorty a kolem ledvin (Junqueira et al., 1997).

BAT je charakteristická tím, že obsahuje odpojovací protein (UCP-1), který zajišťuje rychlou tvorbu tepla, oxidaci proteinů a glukosy. Běžová tuková tkáň je popisována jako oblast buněk obsahující UCP-1, které jsou rozprostřené ve WAT. Zatímco u novorozenců je přítomnost BAT vyšší a je nezbytná pro prevenci před hypotermií, u dospělých jedinců se BAT vyskytuje v malém množství. U obézních pacientů se snižuje množství BAT a běžové tukové tkáně. Strategií je zabránit těmto ztrátám nebo znovuobnovit zásoby tohoto tuku. Mohlo by to vést ke zlepšení metabolické homeostázy (Symonds et al., 2018).

Typickým rysem pro PVAT je výskyt tukových buněk v okolí tepen a podíl na udržení intravaskulární teploty. Na základě umístění PVAT jsou vnímány odlišnosti v chování této tkáně. PVAT lokalizována v hrudní oblasti vykazuje podobnost s BAT, zatímco PVAT v abdominální oblasti má vlastnosti jako WAT. Podílí se na obezitou vyvolaných zánětlivých reakcí pomocí adipokinů a dochází tak k rozvoji aterosklerózy (Grigoras et al., 2018).

- **Metabolismus bílé tukové tkáně**

Podle lokalizace v lidském těle je WAT rozdělena na fyziologicky odlišná tuková depozita, která mají rozdílné syntetické a sekreční funkce. Adipocyty, které se ukládají v oblasti břicha, jsou více metabolicky aktivní než ty v dolních partiích těla. Vytvářejí tak viscerální tuk, který se skládá z menších adipocytů s vyšším obsahem mastných kyselin. Viscerální tuk produkuje specifické geny umožňující adipocytům vylučovat zánětlivé adipokiny. Tyto procesy přispívají k rozvoji aterosklerózy, hypertriglyceridémii, inzulínové rezistenci a hypertenzi. Souhrnně označované jako metabolický syndrom (Redinger, 2009).

### 5.2.3 Celková tělesná voda

- **Základní charakteristika**

Celková tělesná voda (total body water, TBW) tvoří nejvýznamnější složku hmotnosti. Její množství může být rozdílné v závislosti na pohlaví, věku a tělesné hmotnosti. Průměrné množství TBW u novorozenců činí až 85 %. U dospělého muže dosahují hodnoty 63 % a u dospělé ženy, v důsledku většího podílu tukové hmoty, jsou hodnoty nižší, okolo 50 % tělesné hmotnosti. Voda je rozdělena do dvou hlavních prostorů-intracelulárního a extracelulárního (viz obrázek č. 2). Poměr těchto tekutin se během života mění. Intracelulární tekutina (ICF) tvoří u dospělého muže kolem 40 % tělesné hmotnosti, extracelulární tekutina (ECF) pak 20 % (Riegerová et al., 2006).

Voda je nezbytná pro život, jako esenciální živina plní mnoho funkcí. Vytváří vhodné transportní prostředí pro přenos živin, elektrolytů, hormonů, krevních plynů, odpadních látek, tepla a elektrického proudu. Zajišťuje také prostředí pro chemické reakce probíhající v organismu

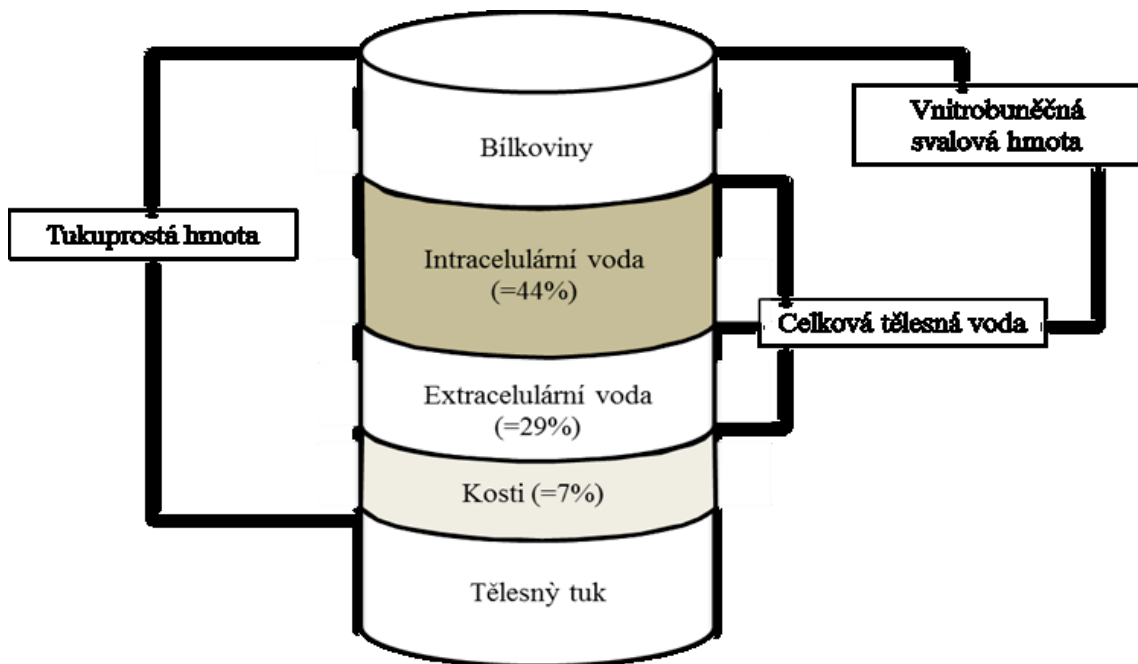
a podílí se na udržování homeostázy-vnitřního prostředí. Dostatečná hydratace je důležitá pro zvlhčení sliznice, pružnost a odolnost kůže.

Distribuce vody v tkáních je nerovnoměrná. Nejvíce vody obsahuje krev, svaly a kůže. V tukové tkáni je menší zastoupení vody (10 %) než ve svalové hmotě, a tudíž to vysvětluje nižší obsah vody u obézních lidí, který činí okolo 45 %. Kosti jsou tvořeny pouze z 22 % vodou.

- **Složení tělesných tekutin**

Objem i složení tělesných tekutin za normálních podmínek vykazují konstantní hodnoty. Největší podíl na udržení acidobazické rovnováhy mají ledviny a dýchací systém. Osmotický tlak a *pH* vnitřního prostředí udržují elektrolyty, které se vyskytují v tělních tekutinách. Hodnoty osmolality ECF nabývají 290-320 mosm/l a *pH* je v rozmezí 7,38 – 7,42. V ECF a ICF je rozdílné zastoupení jednotlivých iontů a proteinů, které vytváří vzájemnou elektrochemickou rovnováhu. V ICF jsou obsaženy plazmatické bílkoviny, fosfátové anionty a kationty draslíku. ECF se skládá hlavně z kationtů sodíku, chloridových aniontů a hydrogenuhličitanů (Rokyta et al., 2000).

**Obrázek č. 2** *Komponenty tělesného složení*



Zdroj: Kyle et al. 2004 (převzato)

## **5.3 Obezita**

### **5.3.1 Definice obezity**

Podle světové zdravotnické organizace (WHO) je obezita definována jako nadměrné hromadění tuku v organismu. Je to závažné chronické onemocnění a také rizikový faktor, který se podílí na rozvoji celé řady onemocnění spadající pod obecný pojem „civilizační nemoci“. Vlivem vzrůstajícího trendu patří obezita momentálně k aktuálním tématům pro výzkumné a klinické pracoviště světa i České republiky. Obezita také zhoršuje aktuální zdravotní stav a má negativní dopady na zdraví fyzické i duševní. Má také vliv na sociální i ekonomickou úroveň jednotlivce, ale i celé společnosti (Hlúbik, 2002).

Náklady na léčbu obezity činí 2-7 % z celkového rozpočtu zdravotních nákladů v závislosti na stupni obezity. Vzestupný trend ekonomických nákladů v souvislosti s péčí o obézního pacienta je typická pro vyspělé státy světa, ale koncem 20. století je tato situace obdobná i v průmyslově rozvíjejících se zemích (WHO, 1997).

K hodnocení zdravotních důsledků obezity na život pacienta se v praxi využívají ztracené roky života (years of life lost, YLLs). Tyto hodnoty vyjadřují rozdíl mezi očekávanou délkou života u osob v různých kategoriích BMI. V longitudinální Framinghamské studii bylo zjištěno, že obézní muži nekuřáci mají o 5,8 roku kratší životní prognózu a obézní ženy nekuřačky o 7,1 kratší životní prognózu, než nekuřáci s normální hmotností (Finkelstein, 2010).

K vyhodnocení kvality života obézních osob se používají roky života vztažené na jeho kvalitu (quality adjusted life years, QALYs). Tento ukazatel hodnotí celkově zátěž na organismus a vliv obezity na kvalitu života (Hainer et al., 2011).

### **5.3.2 Klasifikace obezity**

WHO používá ke klasifikaci tělesné hmotnosti hodnoty BMI (body mass index), přehled kategorií uvádí tabulka č. 5. Stupňovitá klasifikace je zejména důležitá pro zhodnocení rizika, možnost srovnávat mezi sebou populace a pro stanovení léčebného postupu. Toto rozdělení dle WHO je založené na souvislosti mezi BMI a mortalitou (WHO, 1997).

**Tabulka č. 5 Klasifikace tělesné hmotnosti podle WHO**

Kategorie	BMI (kg/m <sup>2</sup> )
Podváha	<18,50
Normální váha	18,50 - 24,99
Nadváha	25,00 – 29,99
<b>Obezita</b>	
<b>1. stupeň</b>	30,00 – 34,99
<b>2. stupeň</b>	35,00 – 39,99
<b>3. stupeň</b>	≥ 40,00

Zdroj: WHO, 1997 (převzato)

**Vysvětlivky: BMI – Body Mass Index**

Dále můžeme klasifikovat obezitu podle charakteru rozložení tuku na obezitu androidní a gynoidní. Obezita androidní (mužského typu) neboli obezita viscerální je spojená s hromaděním tuku v oblasti břicha. Pro tento typ obezity je typický větší výskyt metabolických a kardiovaskulárních komplikací. Druhým typem je gynoidní obezita (ženského typu), která se častěji vyskytuje u žen, a u které dochází ke zmnožení podkožního tuku v oblasti hýždí a stehen. Nebývá však spojena s větším výskytem kardiovaskulárních a metabolických komplikací.

Charakter rozložení tuku v běžné ambulantní praxi lze určit antropometricky změřením obvodu pasu a boků pomocí krejčovského metru. Rizikové hodnoty pro poměr pas/boky jsou u žen >0,85 a u mužů >1,0. Některé studie poukazují na to, že je obvod pasu vhodnějším ukazatelem kardiovaskulárních a metabolických rizik u obezity než poměr pas/boky. Nelze však definovat stejné hodnoty pro všechny populace. Hraniční hodnoty ukazující zvýšené riziko se liší pro různé populace. V tabulce č. 6 jsou definovány specifické hraniční míry obvodu pasu určující zvýšené a vysoké riziko kardiovaskulárních a metabolických komplikací v důsledku hromadění útrobního tuku (Hainer et al. 1997).

**Tabulka č. 6 Obvod pasu určující zvýšené a vysoké riziko kardiovaskulárních a metabolických komplikací**

	Zvýšené riziko	Vysoké riziko
<b>Muži</b>	> 94 cm	> 102 cm
<b>Ženy</b>	> 80 cm	> 88 cm

Zdroj: WHO, 1997 (převzato)

### 5.3.3 Etiopatogeneze obezity

Obezita je chronické onemocnění většinou multifaktoriálně podmíněné, na jehož vzniku se podílí řada exogenních a endogenních faktorů. Mezi nejvýznamnější faktory řadíme vyšší věk, ženské pohlaví, kouření, alkohol a nízká fyzická aktivita. Přehled je uveden v tabulce č. 7.

**Tabulka č. 7 Prevalence obezity-faktory ovlivnění**

<b>1. Demografické faktory</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>věk: vzestup výskytu obézních s věkem, maximum kolem 60 let</li><li>pohlaví: ženy-častější výskyt</li><li>etnické vlivy</li></ul>
<b>2. Sociální a kulturní faktory</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>vzdělání: nižší – zvýšené riziko obezity</li><li>finanční situace: horší – zvýšené riziko obezity</li><li>vstup do manželství – zvýšené riziko obezity</li></ul>
<b>3. Biologické faktory</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>těhotenství, mateřství – zvýšené riziko obezity</li><li>nemoci, farmakoterapie</li></ul>
<b>4. Behaviorální faktory</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>dietní zvyklosti</li><li>kouření</li><li>alkohol</li><li>fyzická aktivita</li></ul>

*Zdroj: Hlubík P, 2002 (převzato)*

V úvodu se zaměříme na etiopatogenezi primární obezity, jejíž prevalence činí více než 90 % výskytu všech případů. Z hlediska etiopatogeneze můžeme dále rozdělit obezitu do několika kategorií, které jsou menšinově zastoupeny. Řadíme sem obezitu lékově navozenou, endokrinně podmíněnou, monogenní obezitu vznikající na podkladu mutace jednoho genu a další.

Hlavní příčinou vzniku běžné obezity je pozitivní energetická bilance. Vzniká jako důsledek nadměrného energetického příjmu často spojeného s vyšší konzumací tučných a sladkých jídel a poklesem energetického výdeje při nedostatečném fyzickém pohybu. Tento základní princip je vyjádřen rovnicí č. 4. Následkem dochází k nadměrnému hromadění tukové tkáně (Hainer et al., 1997).

#### **Rovnice č. 4 Energetická bilance**

$$\text{Energetická bilance} = \text{energetický příjem} - \text{energetický výdej}$$

*Zdroj: Hainer et al., 1997*

Jak energetický příjem, tak energetický výdej a spalování živin jsou ovlivňovány řadou exogenních i endogenních faktorů. Na rozvoji obezity se může podílet genetická predispozice, životní styl, nemoci, fyziologické aspekty, socioekonomická predispozice a farmakoterapie. Jejich procentuální zastoupení v etiopatogenezi obezity se u každého jedince může lišit. Ke stěžejním faktorům patří genetická predispozice polygenního charakteru. Jeden z těchto genů je označován „šetřící gen“, který v minulosti v období nedostatku potravy zajišťoval přežití



organismu. V současnosti v období nadbytku potravin, především energeticky bohatých, se šetřící gen jeví jako nevýhodný. Genetická výbava jedince s šetřícím genem vede k ukládání tukových zásob a následně nárůstu tělesné hmotnosti a k vzniku obezity (Hlubík et al., 2009).

Většina forem obezity má polygenní nebo oligogenní charakter. To znamená, že je potřeba vzájemné interakce genů s prostředím. Genetické předpoklady mohou urychlit vznik a rozvoj obezity (obezitogenní geny), nebo zamezit rozvoji obezity (leptogenní geny). Je-li jedinec s obezitogenními geny vystaven obezitogennímu prostředí, dochází k manifestaci obezity a s ní sdružené choroby (Hainer et al., 2011).

K objasnění role genetických faktorů oproti faktorům prostředí se zabývaly studie na jednovaječných dvojčatech. Studie prokázala vysokou korelaci BMI u monozygotních dvojčat nezávisle na tom, jestli po narození žila společně či odděleně. Velmi vysoká korelace BMI u jednovaječných dvojčat je důsledkem jejich identické genetické výbavy. Dále vliv genetických faktorů potvrzují studie prováděné na adoptovaných dětech, kde jsou eliminovány familiárně sdílené faktory prostředí. Výsledky těchto studií ukazují, že BMI adoptovaných dětí se liší od BMI adoptivních rodičů, a naopak koreluje s BMI biologických rodičů (Stunkard et al., 1990).

Regulace příjmu potravy na centrální úrovni, vlivem hypotalamu, má hormonální charakter. K faktorům, které snižují chuť k jídlu (anorexigenní) patří zejména peptidy ze skupiny kortikoliberin, glukagon-like-peptid 1, melanokortin, kokain, amfetamin, oxytocin, cholecystokinin a další. K faktorům zvyšující chuť k jídlu lze zařadit neuropeptid Y, endogenní opioidy, glutamát, kyselinu gamaaminomáselnou a melanin koncentrující hormon (Hlubík et al., 2002).

### **5.3.4 Komplikace obezity**

Obezita výrazně zhoršuje kvalitu života u postižených osob, jak po fyzické stránce, tak po stránce psychické. Ovlivnění kvality života postižených jedinců je závislé zejména na stupni obezity, pohlaví a věku (Kalousová, Kunešová, 2008). Vliv BMI na vznik diabetu 2. typu je až 60 %. Vysoké hodnoty BMI se také podílí na patogenezi hypertenze a ischemické choroby srdeční ve více než 20 % případů a na patogenezi některých nádorů z 10–30 %. Větší podíl tukové tkáně u postižených osob tak představuje stěžejní patogenetický moment v podobě zdroje hormonů a prozánětlivých cytokinů nebo jako významný faktor mechanické zátěže. Souhrn zdravotních rizik a komplikací je uveden v tabulce č. 8 (Hainer et al., 2011).

**Tabulka č. 8 Zdravotní rizika a komplikace obezity**

<b>Skupina zdravotních komplikací</b>	<b>Zdravotní komplikace</b>
<b>1. Metabolické</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Inzulinorezistence, diabetes mellitus 2. typu</li><li>• Poruchy metabolismu lipidů</li><li>• Hyperurikemie</li><li>• Zvýšení koncentrace fibrinogenu a inhibitoru plazminového aktivátoru</li></ul>
<b>2. Endokrinní</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Hyperestrogenismus</li><li>• Hyperandrogenismus u žen</li><li>• Hypogonadismus u mužů s těžkou obezitou</li><li>• Hyposekrece růstového hormonu</li></ul>
<b>3. Kardiovaskulární</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Hypertenze</li><li>• Hypertrofie a dilatace levé komory</li><li>• Ischemická choroba srdeční</li><li>• Snížená kontraktilita myokardu, srdeční selhání</li><li>• Arytmie</li><li>• Cévní mozkové příhody</li><li>• Trombolická nemoc</li></ul>
<b>4. Respirační</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Syndrom spánkové apnoe</li><li>• Pickwickův syndrom</li></ul>
<b>5. Gastrointestinální</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Gastroezofageální reflux</li><li>• Jaterní steatóza</li></ul>
<b>6. Onkologické</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Karcinom endometria, děložního hrdla, vaječníku, prsu</li><li>• Kolorektální karcinom, karcinom pankreatu</li></ul>
<b>7. Kožní</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Ekzémy, mykózy</li><li>• Strie, celulitida</li></ul>
<b>8. Psychosociální</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Deprese, úzkost</li><li>• Poruchy příjmu potravy</li></ul>

*Zdroj: Hainer et al., 2011 (převzato, upraveno)*

### **5.3.5 Prevalence nadváhy a obezity**

V posledních desetiletích byl zaznamenán vzrůstající charakter prevalence nadváhy a obezity. Celosvětově se výskyt obezity od roku 1975 téměř ztrojnásobil. V současné době má dle WHO nadváhu až 39 % obyvatel a obezitu 13 %. V 80. a 90. letech 20. století byla realizována studie MONICA v řadě států světa včetně České republiky. Na základě této studie prohlásila Světová zdravotnická organizace v roce 1997 obezitu za epidemii 21. století (WHO, 1997). Počet obézních mužů a žen roste v závislosti na zvyšujícím se věku. Po 65. roce života zaznamenali v Anglii snížení počtu obézních osob (Seidell DC et al. 2000). Údaje z některých nedávných studií ukazují na to, že by se míra nárůstu epidemie mohla zpomalovat. Švýcarská studie,

která sledovala populační skupiny dle dekády narození, zjistila vzrůstající prevalenci obezity u osob narozených v letech 1930-1939 a v letech 1960-1979 (Faeh et al., 2010).

- **Česká republika**

Na konci 90. let patřila Česká republika k zemím s nejvyšší frekvencí výskytu nadváhy a obezity. A to nejenom v evropském měřítku, ale i v celosvětovém. Nadváhou (BMI větší než 25) trpí v české populaci více než 70 % mužů a přes 50 % žen. Přímo obezita (BMI větší než 30) postihuje 22 % mužů a 25 % žen (Hlúbik, 2002). V letech 1990 až 2010 se postupně snížila věková hranice postižených osob obezitou, a tudíž se zvýšilo i počet úmrtí na komplikace spojené s touto nemocí. Dále v tomto časovém období byl zaznamenán mírný nárůst v počtu obézních osob v České republice u obou pohlaví (Vidra et al., 2018).

- **Evropa**

V Evropě má výskyt obezity také vzestupný trend. BMI vyšší než 30 je zaznamenáno u 4,0 % až 28,3 % mužů a u 6,2 % až 36,5 % žen. Dynamika zvyšování prevalence obezity v evropských zemích je však odlišná. Výskyt obézních osob s BMI vyšší než 30 v jednotlivých evropských zemích lze porovnat pomocí obrázku č. 3.

Ve Velké Británii vzrostla markantně prevalence obezity. Zatímco v České republice a okolních zemích byla prevalence vysoká a momentálně dochází pouze k malému vzrůstu. Do další skupiny jsou řazeny země, v nichž prevalence obezity je relativně nízká, ale i přesto dochází k postupnému zvyšování obézních osob. Příkladem je Francie, Švýcarsko, Švédsko, Finsko. Mezi typické země s vysokým výskytem dětské obezity i vyšší prevalencí obezity u dospělých patří Itálie nebo Španělsko. Obecně lze charakterizovat zvyšující se prevalenci od západu k východu a ze severu na jih Evropy (Berghöfe et al., 2008).

**Obrázek č. 3 Regionální rozdíly v prevalenci obezity v Evropě**



Zdroj: Berghöfe et al., 2008 (převzato)

**Vysvětlivky: % obese (BMI ≥ 30)** – procento obézních lidí s BMI vyšší než 30

- **Severní Amerika**

Prevalence obezity v USA rapidně stoupá a obyvatelé žijící v USA se stali jednou z nejvíce postižených populací. Bylo zjištěno, že osoby narozené v nedávné době mají větší predispozici k rozvoji obezity v mladším věku. Osoby narozené v letech 1966-1985 dosahovaly prevalence obezity ve 20-29 letech nejméně 20 %, zatímco osoby narozené v letech 1946-1965 dosahovaly této prevalence ve věku 39 let, narození v letech 1936-1945 ve 40-49 letech. Tyto trendy jsou nejvíce zřetelné u osob tmavé pleti a u žen. Věková hranice se neustále snižuje a s ní i rozvoj komplikací, např. rozvoj diabetu 2. typu (Lee et al., 2009).

- **Asie a Afrika**

V západní Africe bylo provedeno celkem 28 studií na městských i venkovských obyvatelích. Průměrný index tělesné hmotnosti se pohyboval od 20,1 do 27,0, přitom prevalence obezity byla kolem 10 %. Na základě těchto studií bylo poukázáno na vyšší pravděpodobnost rozvoje obezity a nadváhy u žen a také obyvatel měst (Ababukari et al., 2008).

WHO navrhla pro populace asijského původu odlišné hraniční hodnoty nadváhy a obezity. V této populaci začaly významná rizika v rozvoji kardiovaskulárních onemocnění u osob s nižšími hodnotami BMI než u západní populace. Hraniční hodnoty pro nadváhu jsou 23,0-24,9 kg/m<sup>2</sup> a pro obezitu  $\geq 25,0$  kg/m<sup>2</sup> (Wen et al., 2009).

## **5.4 Metody analýzy tělesného složení**

Existuje několik metod pro analýzu tělesného složení, které se od sebe liší svou náročností a použitelností v běžné klinické praxi. Metody in vivo neměří složení těla přímo, ale spíše ji odhadují z měření vlastností těla. Pokud k měření používáme pouze jednu metodu, nelze zaručit, že bude za všech okolností optimální. Všechny metody jsou tedy zatíženy chybami. Může se jednat buď o metodologickou chybu, která vzniká při shromažďování nezpracovaných dat, nebo dochází k chybě v předpokladech při převedení dat na konečné hodnoty (Wells et al., 2006).

### **5.4.1 Antropometrické měření**

Dle Pařízkové je antropometrie jednou z antropologických metod. Je to soustava technik sloužící k měření vnějších rozměrů lidského těla. Antropologické metody jsou řazeny mezi nejdéle používané metody a jsou standardizovány, tudíž jsou celosvětově srovnatelné.

S pojmem tělesné složení se setkáváme poprvé ve studii od Matiegka (1921), který na základě vnějších (antropometrických) rozměrů těla definoval 4 tělesné komponenty - hmotnost skeletu, hmotnost kůže a hmotnost podkožní tukové tkáně, hmotnost kosterního svalstva a hmotnost zbytku (rezidua). Toto rozdělení odpovídá tříkomponentovému modelu.

Pro odhad tělesného složení bylo vypracováno mnoho dalších postupů, které také využívají antropometrické rozměry. Ve více než 100 populačních skupinách byly naměřeny hodnoty kosterních rozměrů, obvodových měř a kožních řas pomocí různých kaliperů a tyto hodnoty byly dále použity pro vypočítání odhadu tělesného složení. Metoda měření kožních řas podle Pařízkové (1962) je stále nejčastěji používanou metodou pro odhad tělesného složení. Původní Matiegkova metoda se však stále uplatňuje (Riegelová et al., 2006).

Antropometrie je obor zabývající se popisem, rozбором a měřením znaků, které charakterizují stavbu těla a jeho růst. Mezi nejdůležitější z nich patří v klinické praxi hmotnost, tělesná výška a obvodové, šířkové nebo i délkové míry. Měření je prováděno pomocí antropologických měřidel (antropometry) či jiných, např. posuvná nebo dotyková měřítka. Mezi specializované pomůcky využívané v této oblasti patří kaliperační kleště sloužící k měření podkožního tuku, antropometrické váhy k měření tělesné hmotnosti, nebo tzv. dynamometry, které jsou určeny k měření síly svalů.

Pro dosažení reálných hodnot a minimalizaci chyb je potřeba, aby měření prováděla proškolená osoba za standardních podmínek a podle jednotných standardních postupů. Hodnocení probíhá na přesně definovaných bodech na těle, ze kterých jsou odvozovány základní somatické rozměry daného subjektu. V průběhu měření jedince je důležité také kontrolovat postavení těla, aby nedošlo ke zkreslení výsledků.

Do oblasti antropometrie se řadí kromě absolutních rozměrů určovaných parametrů také antropometrické indexy, např. BMI, získané výpočtem ze dvou určených rozměrů (Hronek, 2013).

#### **5.4.1.1 Tělesná výška**

Tělesná výška se určuje jako vzdálenost bodu vertex (temeno, vrchol hlavy) od podložky s přesností na 0,5 cm. Vyšetřovaný subjekt musí zaujímat vzpřímený postoj a být bez obuvi (Svačina et al.). Paty i špičky nohou jsou u sebe a měřící osoba se dotýká stěny týlem, lopatkami, hýžděmi a patami. Hlava je v tzv. Frankfurtské horizontále, což znamená, že ústí zevního zvukovodu a dolní okraj očníce jsou v horizontální rovině, nebo toho lze docílit také pohledem do dálky. Hlava by neměla být skloněná dopředu, ani by neměla být zakloněná. Nejvhodnějším zařízením pro měření tělesné výšky je stadiometr, který je pevně připevněn ke stěně a hodnoty se odečítají pomocí vodorovného jezdce (Zemková, 2016).

#### **5.4.1.2 Tělesná hmotnost**

Měření tělesné hmotnosti probíhá ve spodním prádle a s přesností na 0,1 kg na kalibrované váze. Vyšetřovaná osoba je vážena v ranních hodinách nalačno (Svačina et al. 2008).

#### **5.4.1.3 Obvod pasu**

K měření obvodu pasu se využívá krejčovský metr a měří se v nejužším místě trupu, což je v polovině vzdálenosti mezi spodním okrajem dolního žebra a horním předním trnem kosti kyčelní (Hainer et al., 2011).

#### **5.4.1.4 Obvod boků**

Obvod boků měříme v úrovni střední vzdálenosti mezi rovinou proloženou úrovní předního trnu kyčelní kosti a rovinou v úrovni horního okraje kosti stydké (Svačina et al., 2008). Zjednodušeně řečeno v místě největšího vyklenutí hýždí v horizontální rovině. Měřený subjekt stojí vzpřímeně s nohama u sebe, uvolněnou břišní stěnou a pažemi po stranách těla (Hainer et al., 2011).

#### **5.4.1.5 Kaliperace**

Měření tloušťky kožní řasy (skinfold thickness, SKF) je metoda, pomocí které lze nepřímo odvozovat množství celkového tuku. Vychází z předpokladů, že tloušťka podkožní tukové tkáně je v konstantním poměru k celkovému tuku, a také že místa vybraná pro měření SKF představují průměrnou tloušťku podkožní tukové vrstvy. Tato tvrzení však nebyla s jistotou potvrzena. Distribuce tuku je velmi variabilní. Mění se v souvislosti s věkem, pohybovou aktivitou a je závislá také na pohlaví. Z tohoto důvodu se setkáváme zhruba se stovkou různých predikčních rovnic, které je nutno specifikovat pro populační skupinu, typ použitého kaliperu, místo měření a srovnávací metodu, ze které byly příslušné rovnice vypočítány (Riegelová et al., 2006).

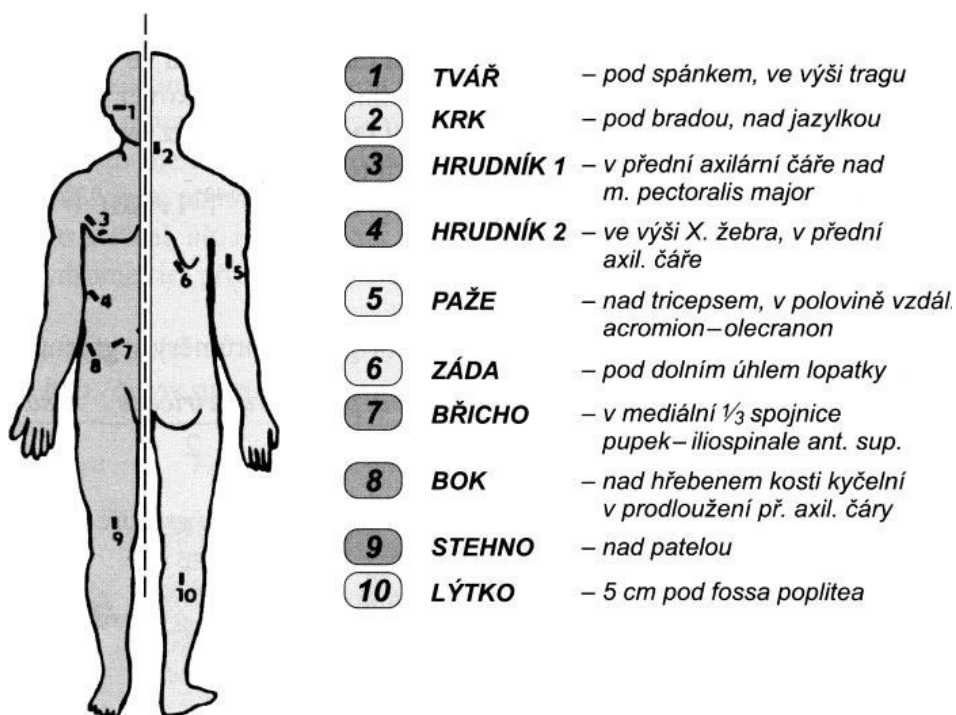
Metoda je velmi rychlá a použitelná i v terénních podmínkách, ale měla by být prováděna dobře vyškoleným a zkušeným pracovníkem. U zkušených antropologů může chyba měření dosáhnout až 5 % a vzhledem k intervalu spolehlivosti regresních rovnic pak výsledky mohou být odlišné až o 9-10 % (Riegelová et al., 2006).

K samotnému měření se využívá speciální měřidlo-kaliper, jehož čelisti jsou v momentu měření stlačovány standardizovanou silou. Postup měření je následující: palcem a ukazovákem levé ruky se uchopí a vytáhne na definovaném místě těla kožní řasa. Čelisti kaliperu se umístí kolmo asi 1 cm od zdvižené řasy, aby k sobě byly obě části kůže navzájem rovnoběžné. Místa na těle pro kaliperaci jsou stanovené a musí být přesně dodržené, protože tloušťka tukové vrstvy může kolísat i na malé ploše.

Existuje velké množství metod, které umožňují odhadem stanovení množství tuku v těle. Řadí mezi ně například odhad podílu tuku podle Pařízkové (1962), podle Matiegky, odhad procent tuku podle Durnina a Womersleyho (1974), podle Durenberga a Westrate (1989), podle Lohmana (1992) a mnoho dalších.

Nejčastěji u nás používaným postupem ke stanovení SKF je odhad tělesného tuku ze součtu deseti kožních řas podle Pařízkové (1962). Místa k měření jsou lokalizována na tváři, krku, na dvou místech na hrudníku, na paži, zádech, břichu, boku, stehně a lýtku (viz obrázek č. 4). Výsledek je získán na základě výpočtu pomocí regresních rovnic, které jsou uvedené v tabulce č. 9. V rovnici č. 5 jsou uvedeny vztahy pro výpočet FM a FFM.

**Obrázek č. 4** Lokalizace kožních řas



Zdroj: Riegelová et al. 2006



**Tabulka č. 9 Predikční rovnice podle Pařízkové (1961)**

Věk (roky)	Pohlaví	Rovnice
9-12	chlapci	$y = 1,180 - 0,069 \cdot \log x$
	dívky	$y = 1,160 - 0,061 \cdot \log x$
13-16	obě pohlaví	$y = 1,205 - 0,78 \cdot \log x$
17-45	muži	$\% T = 28,96 \cdot \log x - 41,27$
	ženy	$\% T = 35,572 \cdot \log x - 61,25$

Zdroj: Riegelová et al., 2006

**Vysvětlivky:** % T — procento tuku, x — součet deseti kožních řas (mm), y — denzita

**Rovnice č. 5 Vztahy pro výpočet %T, FM a FFM**

$$\% T = (4,201 / y - 3,813) \cdot 100$$
$$FM = (\text{hmotnost} \cdot \% T) / 100$$
$$\% FFM = 100 - \% T$$

Zdroj: Riegelová et al., 2006

**Vysvětlivky:** % T — procento tuku tělesné hmotnosti, FM — tuková hmota, FFM — tukuprostá hmota

V zahraničí se využívají metody, které používají regresní rovnice vycházející z menšího počtu kožních řas lokalizovaných hlavně v horní části těla. Tyto rovnice pak nejsou schopny identifikovat větší množství podkožního tuku v dolních končetinách.

Inovace predikčních rovnic byla v České republice provedena v období 1997-1999 pod vedením prof. Bunce, a jsou uvedeny v tabulce č. 10.

**Tabulka č.10 Inovace predikčních rovnic**

Věk (roky)	Pohlaví	Rovnice
6-10	chlapci	% FM = 25,735 · log x - 27,68
6-10	dívky	% FM = 23,491 · log x - 21,59
11-15	obě pohlaví	% FM = 29,468 · log x - 39,29
16-65	muži	% FM = 29,167 · log x - 36,88
16-65	ženy	% FM = 31,272 · log x - 38,77
66 a víc	muže	% FM = 27,062 · log x - 23,74
66 a víc	ženy	% FM = 29,395 · log x - 30,65

Zdroj: [http://www1.cuni.cz/cuni/ruk/qauk/zz1999/316\\_97-c.htm](http://www1.cuni.cz/cuni/ruk/qauk/zz1999/316_97-c.htm) (převzato)

**Vysvětlivky:** % FM — procento tukové hmoty, x — součet tloušťky 10ti kožních řas v mm

#### **5.4.1.6 BMI**

Index tělesné hmotnosti, nejčastěji známý zkratkou BMI (body mass index) patří mezi nejpoužívanější antropometrické indexy. V roce 1832 ho popsal belgický matematik a statistik Adolphe Quetelet, a proto bývá někdy označován jako Queteletův index (Eknoyan G., 2007).

BMI se vypočte jako hmotnost vyjádřená v kilogramech vydělená druhou mocninou výšky, která je vyjádřená v metrech (kg/m<sup>2</sup>) viz rovnice č. 6 (Hainer et al., 2011).

#### **Rovnice č. 6 Vzorec BMI**

$$\text{BMI} = \text{tělesná hmotnost (kg)} / \text{výška (m)}^2$$

Zdroj: Hainer et al., 2011

**Vysvětlivky:** BMI – Body Mass Index

Přesnost BMI ve vztahu k odhadu zastoupení tukové tkáně v těle ověřovaly některé studie. Gray (2011) zkoumal vzorek 75 žen a 29 mužů různých tělesných proporcí a sledoval, jestli koreluje procento FM zjištěné metodou podvodního vážení s BMI. Lineární regresní analýza ukázala, že výsledky BMI korelují s % FM jak u mužů ( $R^2 = 0,68$  %, % FM =  $0,99 \cdot \text{BMI} - 1,32$  p <0,001), tak i u žen ( $R^2 = 0,74$  %, % FM =  $0,94 \cdot \text{BMI} + 10,77$  p <0,001).

K podobným závěrům také došel i Deurenberg (1991), který ve své studii zkoumal vztah mezi % FM a BMI u 1229 probandů s rozdílným tělesným složením a v různém věkovém rozmezí.

Hodnoty % FM byly zjišťovány hydrodenzitometrií a porovnávány s BMI. Výsledky ukázaly, že BMI koreluje s % FM, ale naopak BMI nekoreluje s výškou. U obézních subjektů však tato studie ukázala, že hodnoty % FM byly mírně nadhodnoceny. Pro odhad % FM z BMI byly stanoveny predikční rovnice, které zohledňují věk i pohlaví a jsou uvedeny v tabulce č. 11.

**Tabulka č. 11 Predikční rovnice pro % FM z BMI**

Děti do 16 let: % FM = $1,51 \cdot \text{BMI} - 0,70 \cdot \text{věk} - 3,60 \cdot \text{pohlaví} + 1,40$
Dospělí: % FM = $1,20 \cdot \text{BMI} + 0,23 \cdot \text{věk} - 10,80 \cdot \text{pohlaví} - 54,00$

Zdroj: Deurenberg P, 1991 (přepřacováno z textu do tabulky)

**Vysvětlivky:** % FM — procento tukové hmoty, BMI – Body Mass Index, pohlaví — muži = 1, ženy = 0

## 5.4.2 Bioelektrická impedance

Bioelektrická impedance (BIA) měří složení těla na základě stanovení odporu těla vůči průchodu proudu o nízké intenzitě a vysoké frekvenci. FFM je tvořena z velké části vodou a elektrolyty a je tak dobrým vodičem. Naopak FM se chová jako izolátor. Princip této metody, tak využívá elektrické vlastnosti biologických struktur, které rozdílně šíří elektrický proud. BIA vychází z měření odporu tkáně tzv. bioelektrické impedance, kterou tělo klade procházejícímu střídavému proudu. Určená hodnota impedance je nepřímo úměrná tkáni, kterou prochází proud. Komerčně užívané přístroje využívají většinou excitační proud 800  $\mu\text{A}$  s frekvencí 50 kHz.

Používané přístroje se od sebe liší v počtu elektrod a jejich umístění. Bipolární BIA mají elektrody umístěné na plochách nášlapných vah nebo na madlech přístroje, který se uchopuje rukama. Přesnější přístroje vhodné pro odborné studie mají 4 elektrody a jsou to tzv. tetrapolární přístroje. Bývají lokalizovány po dvou na zápěstí a nad hlezenním kloubem.

Pro získání co nejpřesnějších výsledků je důležité dodržovat konkrétní standardní podmínky. Mezi ně patří: nejíst a nepít 4-5 hodin před testem, necvičit po dobu 12 hodin před testem, neužívat alkohol jeden den před měřením a přesné umístění elektrod. Měření by se měli vyvarovat pacienti s pace-makerem, ženy v období menstruace a osoby s implantáty.

Jednu z hlavních hodnot, kterou BIA měří, je celková voda. FFM lze vypočítat jako rozdíl mezi celkovou hmotností a hmotností FM. Pomocí následující rovnice č. 7 může být určena FFM.

**Rovnice č. 7 Výpočet FFM**

$$\text{FFM} = \text{TBW} \cdot 0,732^{-1}$$

Zdroj: Riegelová et al., 2006

**Vysvětlivky:** TBW — total body water, celková tělesná voda

Hodnota 0,732 v rovnici č. 7 vyjadřuje průměrnou hydrataci FFM u dospělých jedinců. Tato hodnota se však mění s věkem. U dětí se vyskytuje vyšší hydratace FFM, a tak se zvyšuje, zatímco u starších lidí s věkem klesá (Riegelová et al., 2006).

Predikční rovnice pro odhad procenta FM jsou specifické dle věku, pohlaví, etnika a úrovně pohybové aktivity. Inovace predikčních rovnic metodou BIA (Bunc, 1997) jsou uvedeny v tabulce č. 12.

**Tabulka č. 12 Inovace predikčních rovnic metodou BIA**

Věk (roky)	Pohlaví	Rovnice
6-10	chlapci	$\% \text{ FM} = 39,2649 - 5,4577 \cdot \text{věk} - 9,2044 \cdot \text{výška}^2(\text{m}) + 0,4177 \cdot \text{hmotnost}(\text{kg}) + 0,0442 \cdot \text{BIA}(\text{Ohm})$
6-10	dívky	$\% \text{ FM} = 14,6812 - 0,1105 \cdot \text{věk} + 0,5938 \cdot \text{hmotnost}(\text{kg}) - 4,9063 \cdot \text{výška}^2(\text{m}) \cdot \text{BIA}(\text{kOhm})$
11-15	chlapci	$\% \text{ FM} = 6,3899 - 0,0586 \cdot \text{věk} - 9,1011 \cdot \text{výška}^2(\text{m}) + 0,3979 \cdot \text{hmotnost}(\text{kg}) + 0,0091 \cdot \text{BIA}(\text{Ohm})$
11-15	dívky	$\% \text{ FM} = 10,9551 - 0,0973 \cdot \text{věk} + 0,6134 \cdot \text{hmotnost}(\text{kg}) - 4,9263 \cdot \text{výška}^2(\text{m}) \cdot \text{BIA}(\text{kOhm})$
16-65	muži	$\% \text{ FM} = 4,6492 - 0,0511 \cdot \text{věk} - 8,9042 \cdot \text{výška}^2(\text{m}) + 0,4191 \cdot \text{hmotnost}(\text{kg}) + 0,0091 \cdot \text{BIA}(\text{Ohm})$
16-65	ženy	$\% \text{ FM} = 12,3613 - 0,1212 \cdot \text{věk} + 0,5731 \cdot \text{hmotnost}(\text{kg}) - 4,8234 \cdot \text{výška}^2(\text{m}) \cdot \text{BIA}(\text{kOhm})$
66-80	muži	$\% \text{ FM} = 7,0192 - 0,0486 \cdot \text{věk} - 7,8214 \cdot \text{výška}^2(\text{m}) + 0,4011 \cdot \text{hmotnost}(\text{kg}) + 0,0141 \cdot \text{BIA}(\text{Ohm})$
66-80	ženy	$\% \text{ FM} = 14,8852 - 0,0992 \cdot \text{věk} + 0,5443 \cdot \text{hmotnost}(\text{kg}) - 6,0631 \cdot \text{výška}^2(\text{m}) \cdot \text{BIA}(\text{kOhm})$

Zdroj: [http://www1.cuni.cz/cuni/ruk/qauk/zz1999/316\\_97-c.htm](http://www1.cuni.cz/cuni/ruk/qauk/zz1999/316_97-c.htm) (převzato)

**Vysvětlivky:** % FM — procento tukové hmoty, BIA — bioelektrická impedanční analýza

### 5.4.3 Hydrodenzitometrie

Hydrodenzitometrie nebo také podvodní (hydrostatické) vážení patří k nejstarším metodám, ale stále zůstává referenční metodou. Pomocí této metody lze zjistit tělesný objem a následně denzitu těla (hustotu), která slouží pro odhad FM podle predikčních rovnic (Siri, Brožek, Lohman a další).

Americký lékař Albert Behnke a jeho kolegové v roce 1942 poprvé představili tuto metodu, která je založená na principu Archimédova zákona a slouží k výpočtu tělesného objemu. Denzitu těla lze vypočítat jako poměr tělesné hmotnosti a objemu a vychází ze vztahu uvedeného v rovnici č. 8 (Behnke, 1942). Podle Archimédova zákona platí, že *těleso ponořené*

do kapaliny je nadlehčováno silou, jejíž velikost se rovná velikosti tíhy kapaliny, vytlačené ponořenou částí tělesa.

### **Rovnice č. 8 Denzitometrie**

$$\text{Hmotnost} = \text{denzita} \cdot \text{objem}$$

Zdroj: Behnke, 1942

Objem vytlačené vody, a tedy i objem těla vypočteme jako podíl hmotnosti vytlačené vody a její hustoty. V praxi je objem těla zjišťován zvážením jedince tzv. na suchu a poté při maximálním výdechu pod vodou. Při vážení pod vodou je tělo nadlehčováno vzduchem, který se vyskytuje v dýchacích cestách, a proto je potřeba výsledek korigovat o objem reziduálního vzduchu, jehož hodnoty můžeme u mužů nahradit konstantou 1,3 l a u žen 1,0 l. Do výsledku by se měl také zahrnout i reziduální objem vzduchu v gastrointestinálním traktu, pro který platí konstanta 100 ml (Thomas, 1978).

Hydrodenzitometrie vychází z dvoukomponentového modelu lidského těla, jehož dvě složky FM a FFM mají rozdílnou denzitu. Princip metody je založen na třech základních předpokladech:

- 1) Denzita FM a FFM je aditivní a relativně konstantní u všech jedinců.
- 2) Úroveň hydratace FFM je poměrně konstantní.
- 3) Poměr kostních minerálů ve vztahu ke svalovým proteinům je také konstantní.

První předpoklad byl dokázán přímými chemickými analýzami, další dva předpoklady jsou dosud předmětem diskuze. Variabilita denzity FFM je nejčastěji způsobena rozdíly v hydrataci, což může vést k chybě v odhadu tuku kolem 2,7 %. Také poměr minerálů a proteinů může být variabilní a může způsobit chybu kolem 2,1 %.

K chybám může docházet při přepočtu tělesné denzity na podíl tukové tkáně v důsledku interindividuální variace FFM (Riegelová 2006). Denzita FFM u dětí, žen a starších osob nabývá nižších hodnot, zatímco u osob negroidní rasy nabývá vyšších hodnot. Na základě těchto rozdílů jsou postupně zpracovávány populačně-specifické rovnice pro danou skupinu lidí, aby došlo k co nejpřesnějším výsledkům (Lohmann 1981). Nejčastější užívané rovnice u nás jsou uvedeny v tabulce č. 13.

**Tabulka č. 13 Predikční rovnice pro výpočet tělesného tuku**

Brožek (1963)	$\% \text{ FM} = (4,57/D - 4,412) \cdot 100$
Siri (1961)	$\% \text{ FM} = (4,95/D - 4,5) \cdot 100$
Lohman (1986)	$\% \text{ FM} = (2,118/D - 0,78 \cdot W - 1,354) \cdot 100$ $\% \text{ FM} = (6,386/D + 3,961 \cdot m - 6,090) \cdot 100$

Zdroj: Riegelová et al., 2006 (přepřacováno z textu do tabulky)

**Vysvětlivky:** % FM — procento tukové hmoty, **D** – tělesná denzita, **W** – denzita vody (0,9937 g/cc), **m** – kostní minerály

Hydrodenzitometrie je metoda finančně nenáročná, neinvazivní a při dodržení standardních postupů relativně přesná, proto je považována za „zlatý standard“ pro hodnocení validity zbylých metod. Tato metoda je nevhodná pro osoby, které nejsou schopné spolupracovat, například malé děti, staré lidi nebo mentálně postižené, kdy by mohlo dojít ve větší míře k chybám (Riegerová et al., 2006).

#### 5.4.4 Pletysmografie

Pletysmografie je metoda používaná k měření složení lidského těla v klinické praxi přibližně od 90. let minulého století. V porovnání s ostatními referenčními metodami tato metoda nabízí jednoduché, časově dostupné a neinvazivní měření vhodné i pro malé děti, starší osoby a osoby s tělesným postižením (Fields et al., 2002).

Pletysmograf využívá vztah mezi tlakem a objemem pro odvození tělesného objemu probanda nacházejícího se v hermeticky uzavřené komoře. Pokud známe hodnoty tělesné hmotnosti a tělesného objemu je možné vypočítat hustotu těla a následně odhadnout FM a FFM (Dempster et al., 1995).

Podle Boyleva zákona platí tento vztah:  $p_1 / p_2 = V_1 / V_2$ , kde tlak  $p_1$  a objem  $V_1$  vyjadřují stav v prázdné komoře a  $p_2$  a  $V_2$  označují stav v komoře s probandem. Boyleův zákon je aplikovatelný za izotermických podmínek, které nejsou dodrženy v důsledku dodávání tepla z těla probanda. Proto je vhodnější použít Poissonův zákon uveden v rovnici č. 9, který popisuje poměr tlaku a objemu za adiabatických podmínek. Poissonova konstanta označená „ $k$ “ pro vzduch je rovna hodnotě 1,4.

#### Rovnice č. 9 Poissonův zákon

$$p_1 / p_2 = (V_1 / V_2)^k$$

Zdroj: Fields et al., 2002

Výsledek není ještě definitivní a je potřeba provést korekci na tělesný povrch a objem vzduchu v dýchacích cestách. Tělesný povrch je automaticky počítán softwarem z tělesné výšky a hmotnosti ze vzorce Dubois a Dubois (1916). K určení objemu vzduchu v dýchacích cestách se využívají populačně predikční hodnoty (Field et al., 2002).

#### **5.4.5 Duální rentgenová absorpciometrie (DEXA)**

Duální rentgenová absorpciometrie (dual energy X-ray absorptiometry, DEXA) je relativně rychlá a velmi přesná metoda vhodná pro děti starší 4 let, díky tomu že klade minimální požadavky na spolupráci sledované osoby. Původně byla DEXA vyvinuta za účelem hodnocení kvality kostní tkáně (kostní denzity) a celkového kostního minerálu (Wells et al., 2006).

Princip této metody vychází z odlišné absorpce záření o dvou energiích (nízké a vysoké) různými tkáněmi. Odlišuje kostní minerály od měkkých tkání, které následně rozděljuje na FM a FFM. Výhodou této metody je, že nejenom poskytuje informace o složení těla, ale také vyhodnocuje složení jednotlivých segmentů těla (Pařízková, Hills, 2005).

Nevýhodou je časová náročnost a vysoká cena přístroje, proto se používá ve specializovaných centrech. Problém nastává u pacientů, kteří přesahují hmotnost 200 kg, nebo zauímají objem větší, než je vlastní skenovací pole. U moderních přístrojů je tento problém však vyřešen, protože obsahují software umožňující dopočítat nenaskenované části těla (Hainer et al., 2011).

#### **5.4.6 Stanovení celkového tělesného draslíku**

Elementární draslík tvoří nezbytnou součást všech živých organismů a je dominantním kationtem v intracelulárním prostoru, kde představuje více než 97 % z celkového obsahu draslíku v lidském těle. V těle referenčního člověka vážícího 70 kg je 140 g draslíku a 60 % je uloženo v kosterním svalstvu.

Měření celkového tělesného draslíku je založeno na faktu, že přirozený izotop draslíku <sup>40</sup>K je zastoupen v konstantním procentu celkového draslíku (0,012). Izotop <sup>40</sup>K je radioaktivní a emituje charakteristické gama-záření, které lze detekovat celotělovým detektorem a stanovit tak jeho množství. Draslík je jediný prvek v lidském těle, který může být díky svým fyzikálním vlastnostem stanoven neinvazivně (Wielopolski, 2006).

Při výpočtu FFM se vychází z předpokladu, že obsah draslíku v FFM je konstantní. Podle chemické analýzy jsou to následující hodnoty: 2,66 g/ kg u mužů a 2,5 g/ kg u žen (Riegelová et al., 2006).

#### **5.4.7 Izotopová diluční metoda**

Izotopovou diluční metodu lze použít k odhadu TBW, což umožňuje poté dopočítat množství FM a FFM. Výpočet FFM z TBW vyžaduje předpokládanou hodnotu pro hydrataci FFM. U chorobných stavů, kde je rozdílný stupeň hydratace tkání, může být výsledek zkreslený.

Metoda potřebuje pouze minimální spolupráci subjektů, proto je vhodná u kojenců a batolat (Wells et al., 2006).

Pro stanovení TBW jsou používány nejčastěji tyto indikátory: izotopy vodíku deuterium  $^2\text{H}$  a tritium  $^3\text{H}$ , jejichž koncentrace ve vzorku moči, slin nebo krvi je stanovena pomocí hmotnostní spektrometrie nebo plynové chromatografie (Jennings et al., 1999). U zdravých jedinců se koncentrace deuteria ve slinách, plasmě i moči ustálí do cca 2 hodin po podání substance a setrvává v konstantní koncentraci po dobu 3 hodin. Tritium je kontraindikováno u dětí, gravidních žen a při častých vyšetřeních (Riegelová et al., 2011).

Metoda vychází z dvoukomponentového modelu a využívá těchto poznatků (Riegelová et al., 2011):

- testovací substance se rozpouští ve všech vodních prostorech těla rychle
- testovací substance dosáhne během relativně krátké doby stabilní rovnováhy
- testovací substance není v těle ukládána ani dále metabolizována
- testovací substance je zaměnitelná za tělesnou vodu

#### **5.4.8 Kreatininurie**

Metoda je využívána pro odhad svalové hmoty a vychází z předpokladů, že prekursorem kreatininu je kreatin, který je obsažen z 98 % ve svalech. Kreatinin je vylučován ledvinami jako odpadní produkt v množství 1,2 – 1,7 g za 24 hodin a jeho koncentrace je stanovena pomocí vzorku moči. Hlavním předpokladem pro odhad kosterního svalstva je, že množství vyloučeného kreatininu odpovídá množství svalové tkáně, a že vylučovaný kreatinin je produktem metabolických pochodů v kosterním svalstvu (Riegerová et al., 2011).

#### **5.4.9 Celková tělesná vodivost**

Měření celkové tělesné elektrické vodivosti je založeno na rozdílné vodivosti FM a FFM a na vysokém podílu elektrolytů v FFM, která je díky tomu dobrým vodičem. Poskytuje tak odhad složení obsahu těla a tuto metodu lze také využít u kojenců a malých dětí při hodnocení růstu a nutričního stavu.

Tato technika je přesná, neinvazivní, bezpečná, rychlá a pohodlná pro vyšetřovanou osobu (Firoto et al. 1991). Při porovnávání výsledků s hydrodenzitometrií se ukázala relativně nízká chyba odhadu touto metodou okolo 3,7 %. Nevýhodou je však vysoká cena zařízení (Riegelová et al., 2011).

#### **5.4.10 Počítačová tomografie**

Počítačová tomografie je rentgenová zobrazovací metoda založená na principu vyhodnocení rozdílů v pohlcování rentgenového záření mezi různými tkáněmi a následně jsou jednotlivé řezy spojené do 3D snímku těla (Hathcock et al., 1993). Počítačová tomografie



umožňuje změření průřezu svalstva a kosti, ale užití je omezeno z důvodu nežádoucí rentgenové expozice (Riegelová et al., 2011).

#### **5.4.11 Ultrazvuk**

Neinvazivní velmi rychlá metoda, která pracuje na principu přeměny elektrické energie ve vysokofrekvenční ultrazvukovou energii, vysílanou v krátkých impulsech. Na hranicích mezi tkáněmi se ultrazvukové vlny odráží zpět do přijímače, kde se mechanická energie přeměňuje na elektrickou energii (Riegelová et al., 2011).

Pineau a kolegové (2009) měřili obsah tělesného tuku u zdravých dobrovolníků ultrazvukem a výsledky porovnávali s metodou DEXA. Ukázalo se, že ultrazvuk umožňuje velmi přesné vyhodnocení.

## 6. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

### 6.1 Použitá metodika

K měření námi zjišťovaných hodnot jsme použili následující přístroje:

- Body composition monitor Inner Scan, BC-532 (Tanita corporation, Tokio, Japan) - antropometrická váha
- Kaliper best K501 (Trystom, Olomouc, Czech Republic) – kaliperace
- Abdominal fat analyser AB 140 M Viscan (Tanita corporation, Tokio, Japan) – měření viscerálního a celkového tuku

#### 6.1.1 Antropometrické váhy

##### 6.1.1.1 Princip metody

Antropometrické váhy Inner Scan (viz obrázek č. 5) využívají techniku bioelektrické impedační analýzy k odhadu složení těla. Ze dvou kovových elektrod, na kterých stojí sledovaný subjekt chodidly, je vyslán střídavý proud o nízké intenzitě a vysoké frekvenci. Tento elektrický proud dobře prochází hydratovanou svalovou tkání, ale tuková tkáň s nízkým obsahem vody klade odpor (viz obrázek č. 6). Bioimpedační váha následně zaznamenává odpor a na základě rovnic vypočítává výsledné hodnoty.

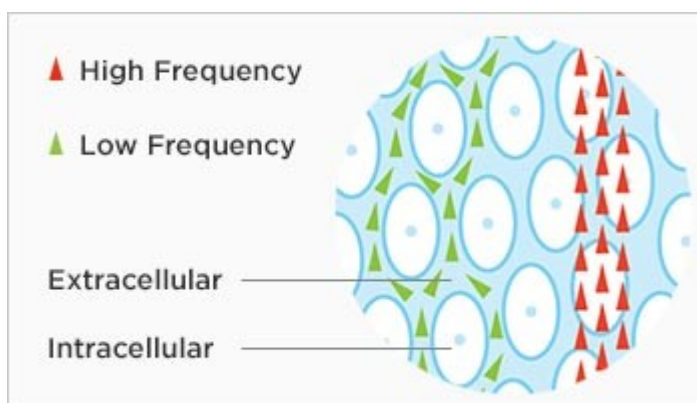
Tyto přístroje užívají patentované rovnice vyvinuté odborníky pro zvýšení přesnosti měření. Tento algoritmus zahrnuje údaje, které se nastavují na váze před měřením. Mezi ně patří pohlaví, věk a tělesná výška. Dále obsahuje data o impedanci získané od tisíce lidí po celém světě k zajištění co nejspolehlivějších výsledků.

**Obrázek č. 5 Antropometrická váha Inner Scan**



Zdroj: <https://www.tanita.com/es/bc534/>

**Obrázek č. 6 Princip metody**



Zdroj: <https://tanita.eu/tanita-academy/tanita-technology-explained>

**Vysvětlivky:** **High Frequency** – proud vysoké frekvence, **Low Frequency** – proud nízké frekvence, **Extracellular** – extracelulární prostor, **Intracellular** – intracelulární prostor

### **6.1.1.2 Postup měření**

Měřená osoba by měla mít na sobě pouze spodní prádlo a chodidla by měly být čistá a suchá. Sledovaný subjekt by měl mít chodidla srovnaná s elektrodami vah. Pokud prsty mírně přesahují plochu elektrod (viz obrázek č. 7), tak to nevadí. Je vhodné provádět měření 3 a více hodin po probuzení, jídle a náročnější fyzické aktivitě. Při opakovaném měření je ideální provádět měření za stejných podmínek. Vyhodnocení trvá méně než 20 sekund v závislosti na tělesném složení probanda.

**Obrázek č. 7 Správná poloha chodidel při měření**



Zdroj: <http://www.tanita.com/es/bc534/>

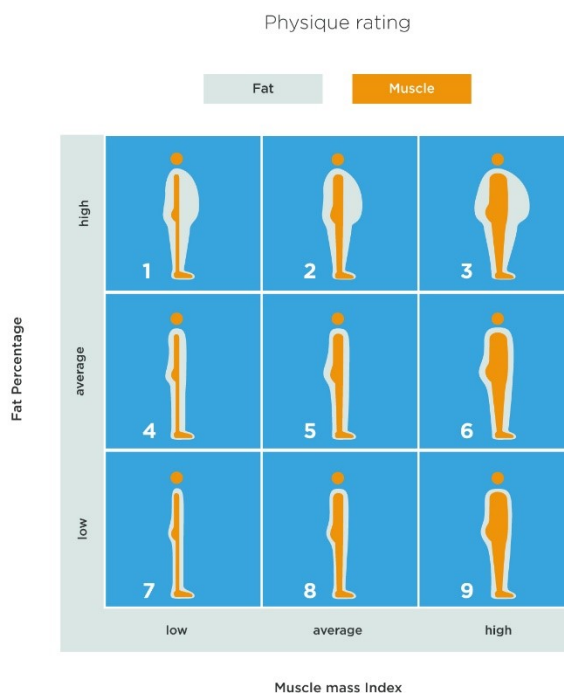
### **6.1.1.3 Měřené parametry**

Antropometrické váhy Inner Scan umožňují změřit tyto parametry: procento tělesného tuku, viscerální tuk, procento svalové hmoty, celkovou tělesnou vodu, hmotnost minerálů, výkonnostní rating, bazální metabolismus, metabolický věk a BMI.

- Procento tělesného tuku  
Energie potřebná k udržení normálních funkcí lidského těla pochází z potravin a nápojů, které přijímáme. Pokud přijímáme větší počet kalorií, než spalujeme, tak se tuk ukládá do tukových buněk.
- Viscerální tuk  
S přibývajícím věkem i přesto, že hmotnost nemusí mít vzrůstající charakter a je konstantní, tak dochází k zvyšování viscerálního tuku. Měření viscerálního tuku umožňuje sledovat potencionální riziko některých nemocí a také hodnotit účinnost tréningu či diety.
- Procento svalové hmoty  
S narůstající svalovou hmotou se zvyšuje i rychlost, při které se spaluje energie a dochází nárůstu bazálního metabolismu. Proto je výhodné při snižování tělesného tuku pravidelně cvičit a zvyšovat tak množství svalové tkáně v těle.
- Výkonnostní rating  
Tento parametr rozděluje tělesné typy do devíti kategorií v závislosti na poměru množství tělesného tuku a svalů (viz obrázek č. 8). V období změny zatížení organismu sportem se také mění poměr tuků a svalů, a tudíž i kategorie, do které bude sledovaný subjekt zařazen.
- Bazální metabolismus  
Přístroj vypočítává minimální denní příjem kalorií, které potřebuje tělo v klidu, aby mohlo efektivně fungovat. Osoba s větším bazálním metabolismem (BM) spálí více kalorií než osoba s nízkým BM, u které je složitější snížit tělesný tuk a hmotnost.

- **Metabolický věk**  
Srovnává BM měřené osoby s průměrem BM věkové skupiny, do které spadá proband. Pokud vyjde metabolický věk vyšší, než je skutečný věk značí to nižší BM, a tudíž i méně svalové hmoty. Proto je potřeba zvýšit fyzickou aktivitu a nabrat tak svalovou hmotu.

**Obrázek č. 8 Výkonnostní rating**



Zdroj: <https://tanita.eu/tanita-academy/understanding-your-measurements#prettyPhoto>

**Vysvětlivky:** **Fat Percentage** – procento tělesného tuku, **Muscle mass index** – index svalové hmoty, **Low** – nízký, **Average** – průměrný, **High** – vysoký

## 6.1.2 Abdominal fat analyser

### 6.1.2.1 Princip metody

Přístroj Abdominal fat analyser představuje jednoduché zařízení, které dokáže během několika sekund změřit obvod pasu, viscerální tuk a množství celkového tuku. Na rozdíl od ostatních přístrojů využívajících také techniku bioelektrické impedační analýzy, nespolehá na faktory jako jsou věk, výška nebo váha, aby došlo k upřesnění odhadu tělesného tuku. Jedná se o přesnou metodu (Browning et al., 2010).

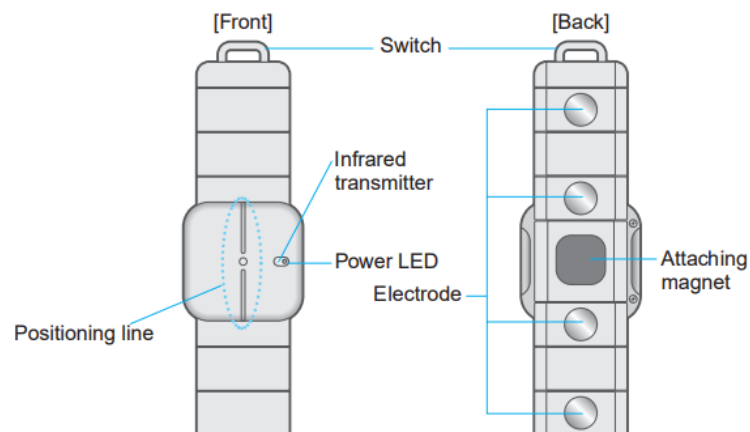
Přístroj se skládá z hlavní jednotky, která se umísťuje nad měřicí oblast a měřiče impedance, který se přikládá na břicho (viz obrázek č. 9, 10).

**Obrázek č. 9 Abdominal fat analyser**



Zdroj: <https://www.giromedical.co.uk/body-composition-analyzer-tanita-ab-140-viscan.html#>

**Obrázek č. 10 Zařízení k měření impedance**



Zdroj: <https://tanita.eu/media/wysiwyg/manuals/professional-body-composition-analysers/ab-140-instruction-manual.pdf>

**Vysvětlivky:** **Front** – přední strana, **Positioning line** – polohovací čára, **Infrared transmitter** – infračervený vysílač, **Power LED** – indikátor napájení, **Back** – zadní strana, **Electrode** – elektrody, **Attaching magnet** – připojovací magnet

Přístroj je vhodný k měření osob, u kterých je obtížné během samotného měření stát. Nesmí se používat u osob s kardiostimulátorem nebo u těhotných žen. Pro zvýšení přesnosti by měření mělo probíhat 3 hodiny po jídle, ranním vstáváním a měl by být dodržen časový rozestup mezi náročnou fyzickou aktivitou a měřením (Tanita Corporation, 2008).

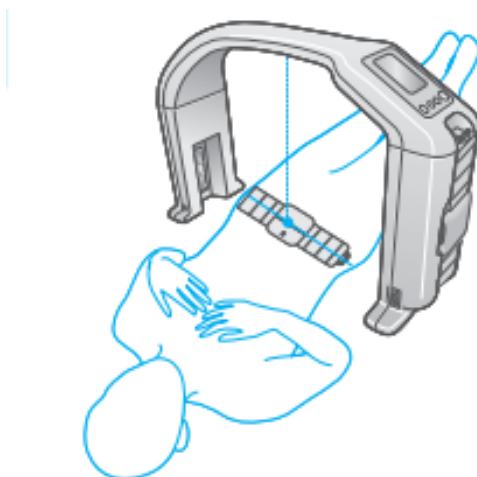
### 6.1.2.2 Postup měření

Měření probíhá vleže na zádech na vyšetřovacím lůžku nebo na vodorovné podložce. Je potřeba, aby si vyšetřovaná osoba odkryla v oblasti pupku (asi 10 cm) oblečení. Displej hlavní jednotky se nachází na straně vyšetřujícího.

Hlavní jednotka se umístí, tak aby se střed přístroje nacházel přímo nad prostředkem pupku. Po zapnutí přístroje a nastavení pohlaví se rozsvítí červeně LED světlo a je potřeba případně hlavní jednotku ještě posunout, aby byla zaměřená opět přesně do středu pupku. Po stisknutí tlačítka start se na displeji přístroje zobrazí změřenou hodnotu pasu.

Pro měření je nutné navlhčit vodou oblast, kde se následně umístí měřič impedance. Je potřeba ho srovnat se středem pupkem a LED světlem (viz obrázek č. 11). Pár sekund po zapnutí přístroje se na displeji zobrazí hodnoty viscerálního tuku a celkového tuku v těle (Tanita Corporation, 2008).

**Obrázek č. 11 Správně zaměřené LED světlo**



Zdroj: <https://tanita.eu/media/wysiwyg/manuals/professional-body-composition-analysers/ab-140-instruction-manual.pdf>

### 6.1.2.3 Měřené parametry

Hodnoty viscerálního tuku mohou sloužit k dlouhodobému sledování změn tuku v abdominální oblasti. V tabulce č. 14 jsou uvedeny hodnoty viscerálního tuku a rozřazení do kategorií podle výrobce.

**Tabulka č. 14 Hodnoty viscerálního tuku dle výrobce**

Hodnoty viscerálního tuku	1,0 - 6,0	6,5 – 12,5	13,0 -15,0	15,5 -17,5	18,0 - 20,0	20,5 a více
Kategorie	1	2	3	4	5	6
Hodnocení	<i>Průměrné</i>		<i>Vysoké</i>		<i>Velmi vysoké</i>	
Interpretace	V současné době není potřeba se ničeho obávat. Pokračujte ve vyvážené stravě a přiměřené fyzické aktivitě.		Zajistěte dostatečné množství fyzické aktivity a omezte příjem kalorií, abyste dosáhli snížení hmotnosti na ideální váhu.		Je nutné snížit hmotnost prostřednictvím pravidelné fyzické aktivity a redukční diety. Navštivte také prosím odborného lékaře.	

Zdroj: <https://tanita.eu/media/wysiwyg/manuals/professional-body-composition-analysers/ab-140-instruction-manual.pdf>

### 6.1.3 Kaliper

Kaliper se využívá k standardnímu měření tloušťky kožních řas. Skládá se ze dvou ramen, z nichž jedno je pevně spojeno s kalibrovanou milimetrovou stupnicí v rozsahu 0–80 mm. Na tomto rameni je kruhový otvor pro prst (ukazovák, nebo prostředník). Druhé rameno lze posouvat po stupnici a odečítat na ní hodnoty tloušťky kožní řasy v okénku. Kruhový otvor je uzpůsobený pro palec. Obě ramena mají na koncích měřící hroty kruhového tvaru o průměru 3 mm (viz obrázek č. 12). Měřící hrot na posuvném rameni je nastaven na odpružené přitlačení na kůži se silou 2 N. Kontrolu správně seřízeného tlaku se provádí pomocí kalibračního závaží, které je přiloženo v balení ke kaliperu.



**Obrázek č. 12 Kaliper**

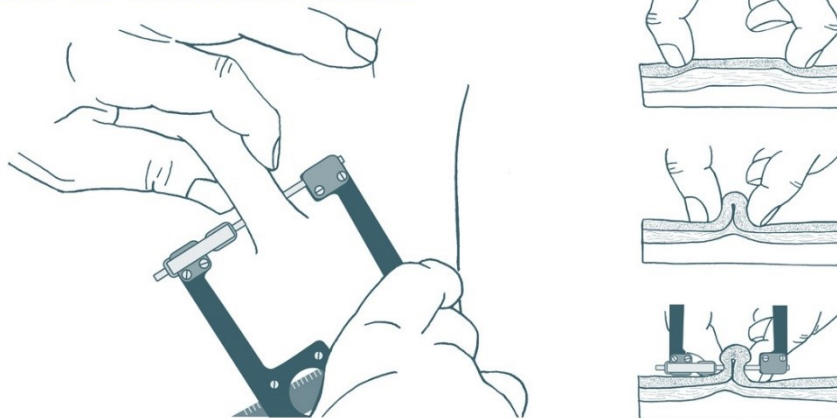


Zdroj: <http://www.anthropometricinstruments.com/kaliper-best-ii-k-501/>

Tloušťku kožní řasy (SKF) měříme na definovaných místech s přesností 0,5 mm. Kožní řasu vytvoříme uchopením mezi palec a ukazováček standardně špičkami prstů levé ruky. Vytvoříme tzv. duplikaturu kůže s podkožním vazivem a tukovou vrstvou. Osa probíhající měřicími hroty je kolmá na osu uchopené kožní řasy (viz obrázek č. 13). V momentě, kdy se ryska na konci pohyblivého ramene kryje s ryskou těla měřícího hrotu, odečítáme naměřenou hodnotu na stupnici (Anthropometric instruments, 2015).

**Obrázek č. 13 Měření kožních řas**

**METODIKA MĚŘENÍ KOŽNÍCH ŘAS**  
**SKINFOLD MEASUREMENT METHOD**



Zdroj: <http://www.anthropometricinstruments.com/mereni-koznich-ras/>

## **6.2 Statistické zpracování dat**

Statistické zpracování dat bylo provedeno v programu Prism 8 for Windows (version 8.0.2), GraphPad Software, Inc. a Microsoft Excel 2016. Normální rozdělení sledovaných parametrů bylo hodnoceno D'Agostinovým a Pearsonovým testem normality. V případě normality dat jsou výsledky uvedeny jako průměr  $\pm$  směrodatná odchylka (SD), v opačném případě jako medián (25% percentil; 75% percentil). Porovnání statistické významnosti mezi skupinami bylo hodnoceno pomocí nepárového t – testu nebo Mann-Whitneyho testem. Porovnání metod pro stanovení viscerálního tuku bylo hodnoceno pomocí Wilcoxonova testu. Porovnání metod pro stanovení celkového tuku bylo hodnoceno pomocí one-way ANOVA+Tukey's multiple comparisons testu. Míra shody stanovení množství celkového tuku mezi celotělovou BIA a referenčními metodami byla testována pomocí Bland-Altmanova testu. Pro testování statistických hypotéz byla zvolena hladina významnosti  $P \leq 0,05$ .

## 7. VÝSLEDKY

### 7.1 Základní charakteristika

Studie se zúčastnilo celkem 43 žen, rozdělených do dvou skupin. První skupinu tvořilo 35 zdravých žen (kontrola) s normální hodnotou BMI ( $21,2 \pm 2,2$ ). Do druhé skupiny bylo zařazeno 8 obézních žen s hodnotou BMI  $43,4 \pm 8,7$ . Základní charakteristika obou skupin je uvedena v tabulce č. 15. Skupina obézních žen v porovnání s kontrolní skupinou se vyznačovala nižší výškou a vyšším věkem, hmotností, BMI a větším povrchem těla.

**Tabulka č. 15 Základní charakteristika**

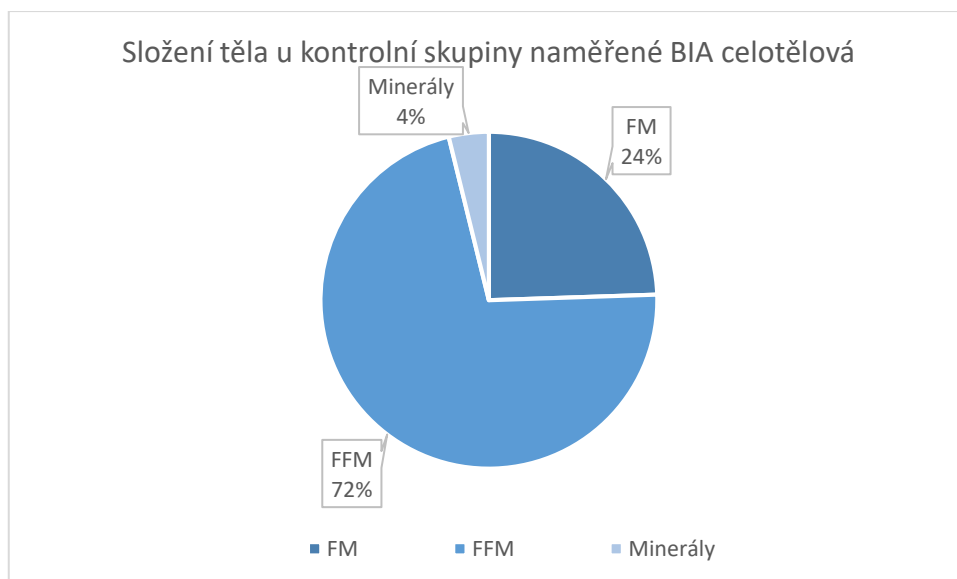
	<b>KONTROLA (n = 35)</b>	<b>OBEZITA (n = 8)</b>
<b>Věk (roky)</b>	$22 \pm 2^*$	$46 \pm 13$
<b>Výška (cm)</b>	$167 \pm 5^*$	$161 \pm 3$
<b>Hmotnost (kg)</b>	$59,3 \pm 6,0^*$	$112,8 \pm 22,0$
<b>BMI (kg/m<sup>2</sup>)</b>	$21,2 \pm 2,2^*$	$43,4 \pm 8,7$
<b>Povrch těla (m<sup>2</sup>)</b>	$1,7 \pm 0,1^*$	$2,1 \pm 0,2$

Hodnoty jsou uvedeny jako průměr  $\pm$  SD.

**Vysvětlivky:** BMI – Body Mass Index; \* – nepárový t-test kontrola vs. obezita a  $P \leq 0,05$

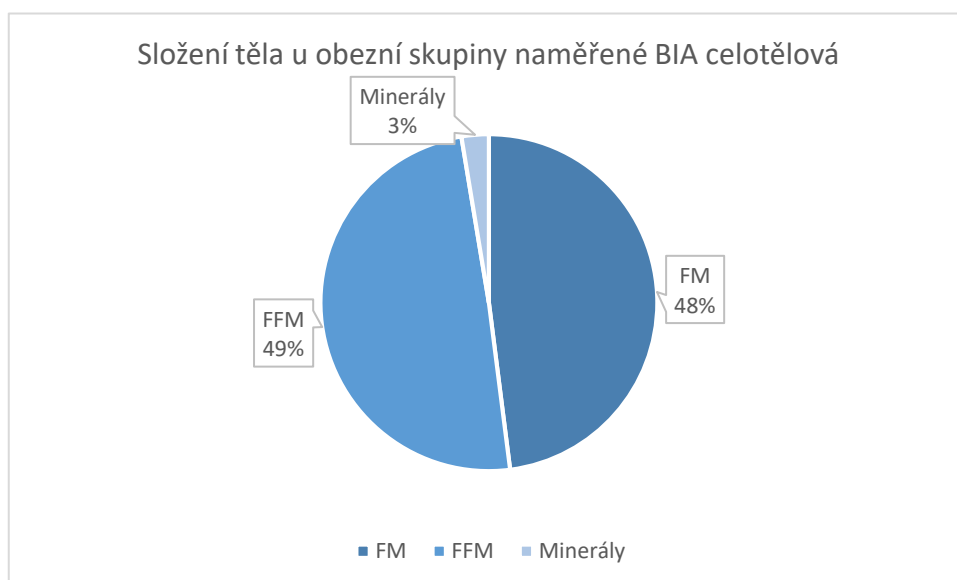
Grafy č. 1 a 2 znázorňují složení těla u kontrolní a obézní skupiny žen naměřené antropometrickou váhou. Statisticky významný rozdíl byl zaznamenán v množství tukové tkáně, kdy obézní skupina žen vykazovala až dvakrát větší hodnoty FM (%) oproti kontrolní skupině a nižší hodnoty FFM (%).

**Graf č. 1 Složení těla u kontrolní skupiny naměřené BIA celotělová**



**Vysvětlivky:** FM – tuková hmota; FFM – tukuprostá hmota

**Graf č. 2 Tělesné složení u obézní skupiny naměřené BIA celotělová**



**Vysvětlivky:** FM – tuková hmota; FFM – tukuprostá hmota

Obsah vody v těle uvedený v procentech, byl menší u obézní skupiny, což je dáno také nižším obsahem FFM v těle. Podle výkonnostního ratingu skupina obézních žen spadala do kategorie s vysokým obsahem FM a průměrným až vysokým obsahem FFM. Zatímco kontrolní skupina byla zařazena do kategorie s vyššími hodnoty FFM a průměrnými hodnoty FM. U obézní skupiny žen byl zaznamenán vyšší odhadovaný metabolický věk, než je skutečný ( $46 \pm 13$ ). Naopak odhadovaný metabolický věk kontrolní skupiny byl nižší, než je jejich skutečný věk ( $22 \pm 2$ ). Hodnoty jsou uvedeny v tabulce č. 16.

**Tabulka č. 16 Další parametry naměřené BIA celotělová**

	<b>KONTROLA</b> <b>(n = 35)</b>	<b>OBEZITA</b> <b>(n = 8)</b>
<b>Obsah vody v těle (%)</b>	53,6 ± 3,7*	38,4 ± 3,8
<b>Obsah vody v těle (kg)</b>	31,6 (30,1; 32,8) *	40,9 (37,8; 46,7)
<b>Výkonnostní rating</b>	5 (5; 5) *	3 (3; 3)
<b>Bazální metabolismus (kcal)</b>	1380 ± 72*	1850 ± 273
<b>Odhadovaný metabolický věk (rok)</b>	16 (12; 22) *	50 (50; 50)

Hodnoty jsou uvedeny jako průměr ± SD. V případě obsahu vody v těle (kg), výkonnostního ratingu a odhadovaného metabolického věku (rok) jsou hodnoty vyjádřeny jako medián (25% percentil, 75% percentil).

**Vysvětlivky:** \* – nepárový t-test nebo Mann-Whitneyho test kontrola vs. obezita ( $P \leq 0,05$ )

### **7.1.1 Tělesné obvody**

U tělesných obvodů byly objeveny významné rozdíly mezi skupinami. Největší rozdíl představoval obvod pasu. U obézních žen byl až o 43,2 % větší v porovnání s kontrolní skupinou. Významný rozdíl byl také zaznamenán u obvodu hrudníku, boků a levé paže. Naopak menší rozdíl mezi kontrolní a obézní skupinou byl zaregistrován u obvodu předloktí, stehna a lýtka. Výsledky jsou zpracovány v tabulce č. 17.

**Tabulka č. 17 Tělesné obvody**

	<b>KONTROLA</b> <b>(n = 35)</b>	<b>OBEZITA</b> <b>(n = 8)</b>	<b>Rozdíl mezi</b> <b>kontrolní a obézní</b> <b>skupinou (%)</b>
<b>Obvod hrudníku (cm)</b>	86,5 ± 5,0*	124,5 ± 16,5	30,5
<b>Obvod pasu (cm)</b>	70,0 ± 4,5*	123,0 ± 24,0	43,2
<b>Obvod boků (cm)</b>	97,0 ± 5,5*	135,5 ± 18,5	28,1
<b>Obvod levé paže (cm)</b>	24,5 ± 2,0*	35,5 ± 4,5	30,3
<b>Obvod předloktí (cm)</b>	23,0 (22,0; 24,0) *	26,5 (28,0; 30,5)	12,5
<b>Obvod stehna (cm)</b>	60,0 ± 5,0*	76,5 ± 12,0	21,8
<b>Obvod lýtky (cm)</b>	35,5 ± 2,0*	43,5 ± 4,0	18,6
<b>WHR</b>	0,72 ± 0,03*	0,91 ± 0,10	22,2

Hodnoty jsou uvedeny jako průměr ± SD. V případě obvodu předloktí (cm) jsou hodnoty vyjádřeny jako medián (25% percentil, 75% percentil).

**Vysvětlivky:** **WHR** – poměr pas/boky; \* – nepárový t-test nebo Mann-Whitneyho test kontrola vs. obezita ( $P \leq 0,05$ )

### **7.1.2 Šířka kloubů**

Hodnoty šířky kloubů jsou uvedeny v tabulce č. 18. U obézní skupiny žen byly zaznamenány významně větší hodnoty. Největší rozdíl mezi těmito dvěma skupinami byl zaznamenán u šířky epikondylu femuru.

**Tabulka č. 18 Šířka kloubů**

	<b>KONTROLA</b> <b>(n = 35)</b>	<b>OBEZITA</b> <b>(n = 8)</b>
<b>Šířka epikondylu humeru (mm)</b>	80 ± 6*	91 ± 7
<b>Šířka zápěstí (mm)</b>	51 (49; 52) *	56 (53; 61)
<b>Šířka kotníku (mm)</b>	62 ± 3	63 ± 9
<b>Šířka epikondylu femuru (mm)</b>	102 (100; 107) *	125 (120; 141)

Hodnoty jsou uvedeny jako průměr ± SD. V případě šířky zápěstí (mm) a šířky epikondylu femuru (mm), jsou hodnoty vyjádřeny jako medián (25% percentil, 75% percentil).

**Vysvětlivky:** \* – nepárový t-test nebo Mann-Whitneyho test kontrola vs. obezita ( $P \leq 0,05$ )

### **7.1.3 Kaliperace**

Statisticky významný rozdíl mezi skupinami byl shledán u subskapulární, supraspinální a břišní řasy, přičemž tyto hodnoty byly 2x vyšší u skupiny obézních žen. Tloušťka kožních řas u obézní skupiny byla také větší u řasy na hrudníku v obou místech a u řasy na stehně. Skupina obézních žen v porovnání s kontrolní skupinou se vyznačovala menší tloušťkou kožní řasy na tváři, podbradku, nad tricepsem, nad bicipsem, předloktí, středu stehna a na lýtku. Výsledky jsou uvedeny v tabulce č. 19.

**Tabulka č. 19 Tloušťka kožních řas**

	KONTROLA (n = 35)	OBEZITA (n = 8)
Řasa na tváři (mm)	17 ± 3*	12 ± 3
Řasa na podbradku (mm)	11 ± 3*	10 ± 4
Subskapulární řasa (mm)	14 ± 4*	36 ± 8
Řasa nad tricepsem (mm)	21 ± 4*	15 ± 5
Řasa nad bicipsem (mm)	15 (13; 18) *	12 (10; 15)
Řasa předloktí (mm)	13 ± 3*	10 ± 2
Řasa na hrudníku I (mm)	14 ± 3*	21 ± 6
Řasa na hrudníku II (mm)	14 ± 4*	21 ± 8
Supraspinální řasa (mm)	17 (14; 20) *	37 (30; 43)
Řasa břicho (mm)	24 ± 6*	48 ± 8
Řasa na stehně (mm)	16 ± 4*	19 ± 4
Řasa středu stehna (mm)	26 ± 6*	21 ± 4
Řasa na lýtku (mm)	24 ± 6*	13 ± 4

Hodnoty jsou uvedeny jako průměr ± SD. V případě řasy nad bicipsem (mm) a supraspinální řasy (mm) jsou hodnoty vyjádřeny jako medián (25% percentil, 75% percentil).

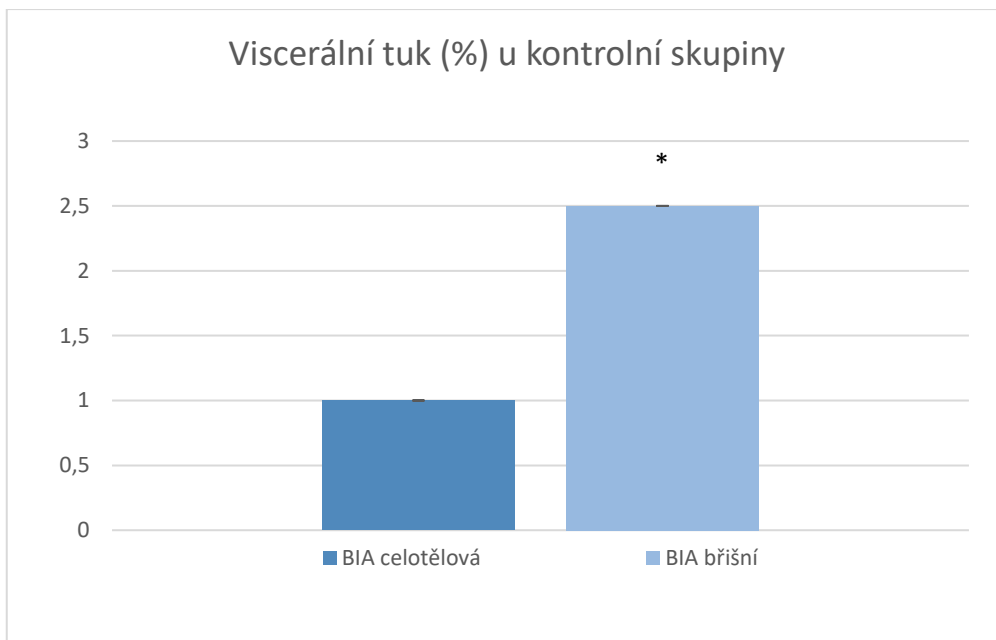
**Vysvětlivky:** \* – nepárový t-test nebo Mann-Whitneyho test kontrola vs. obezita ( $P \leq 0,05$ )

## **7.2 Viscerální tuk**

Při měření viscerálního tuku byl zaznamenán významný rozdíl mezi oběma skupinami. Obézní skupina žen vykazovala až 15x větší hodnoty v porovnání s kontrolní skupinou. Dále byly pozorovány rozdílné výsledky při stanovení viscerálního tuku dvěma rozdílnými přístroji. U kontrolní skupiny byly až 2,5x větší hodnoty naměřené BIA břišním přístrojem (Abdominal fat analyser), zatímco u obézní skupiny se přístroje poměrně shodovaly na podobných výsledcích. Výsledky jsou uvedeny v grafech č. 3 a 4.



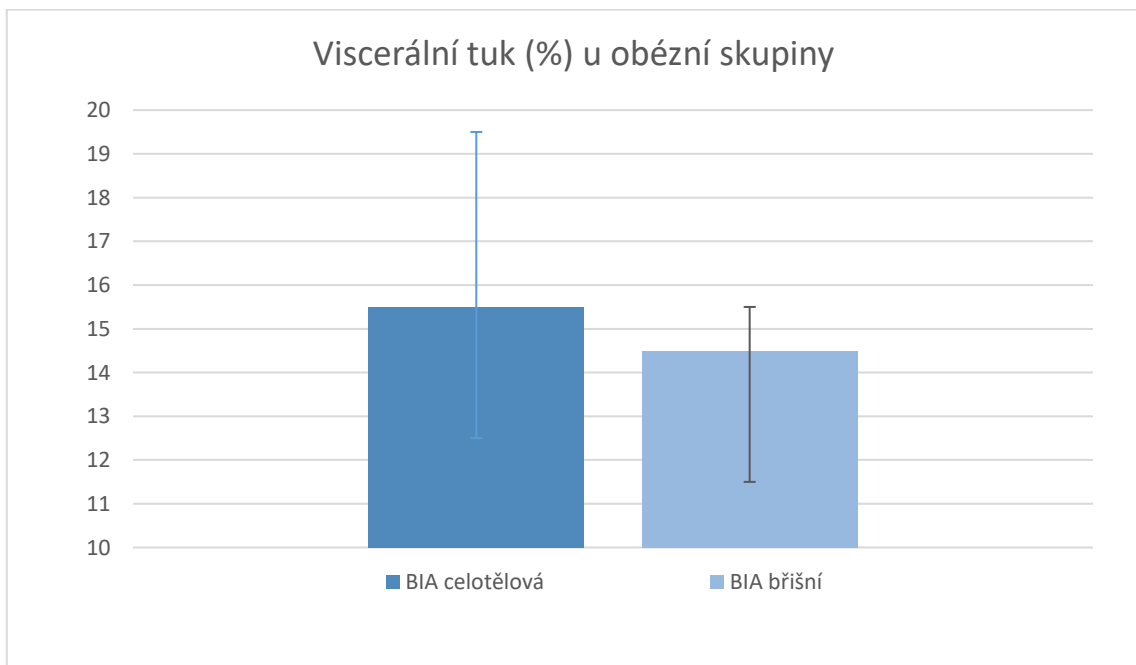
**Graf č. 3 Viscerální tuk (%) u kontrolní skupiny**



Hodnoty jsou uvedeny jako medián (25% percentil, 75% percentil).

**Vysvětlivky:** **BIA celotělová** – měřeno antropometrickou váhou Inner Scan, **BIA břišní** – měřeno přístrojem Abdominal fat analyser \* – Wilcoxonův test BIA celotělová vs. BIA břišní ( $P \leq 0,05$ )

**Graf č. 4 Viscerální tuk (%) u obézní skupiny**



Hodnoty jsou uvedeny jako medián (25% percentil, 75% percentil).

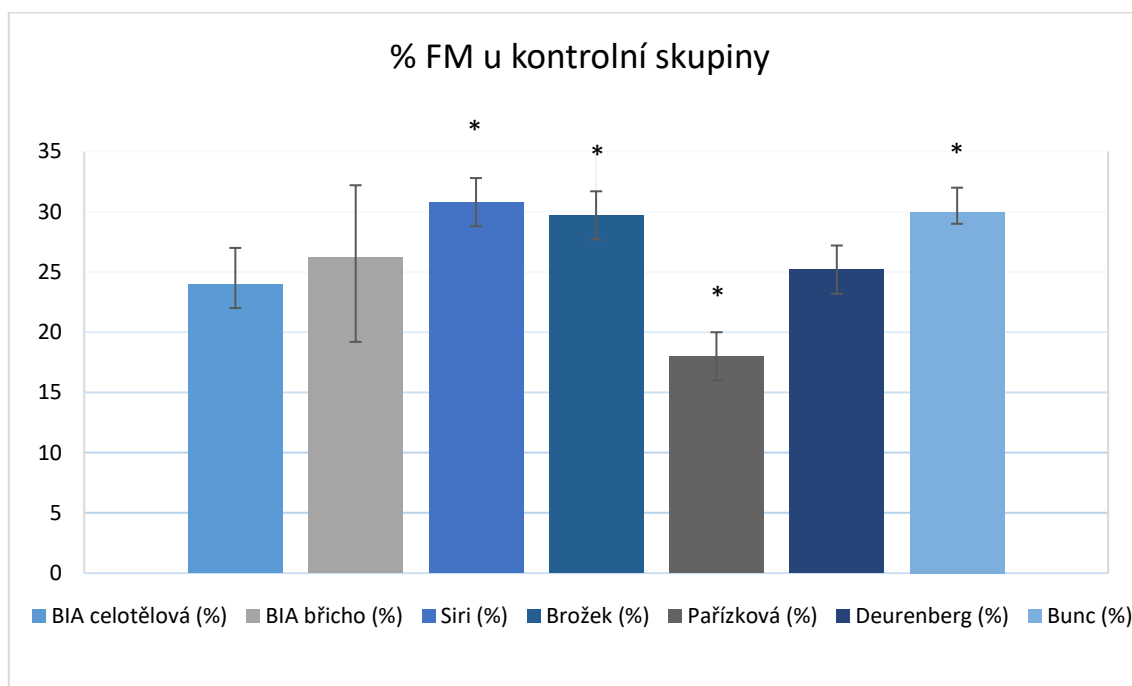
**Vysvětlivky:** **BIA celotělová** – měřeno antropometrickou váhou Inner Scan, **BIA břišní** – měřeno přístrojem Abdominal fat analyser

## 7.3 Tělesný tuk

### 7.3.1 Porovnání výsledků % FM

Při porovnání výsledků % FM u kontrolní skupiny bylo zjištěno, že ve srovnání s celotělovou BIA (referenční metoda) se významně nelišily výsledky naměřené břišní BIA a výpočtem podle Deurenberga. Významně vyšší hodnoty % FM byly zaznamenány u výpočtu podle Siriho, Brožka a Bunce. Naopak nižšími hodnotami se vyznačoval výpočet % FM podle Pařízkové. Výsledky jsou uvedeny v grafu č. 5.

**Graf č. 5 Porovnání výsledků % FM u kontrolní skupiny**

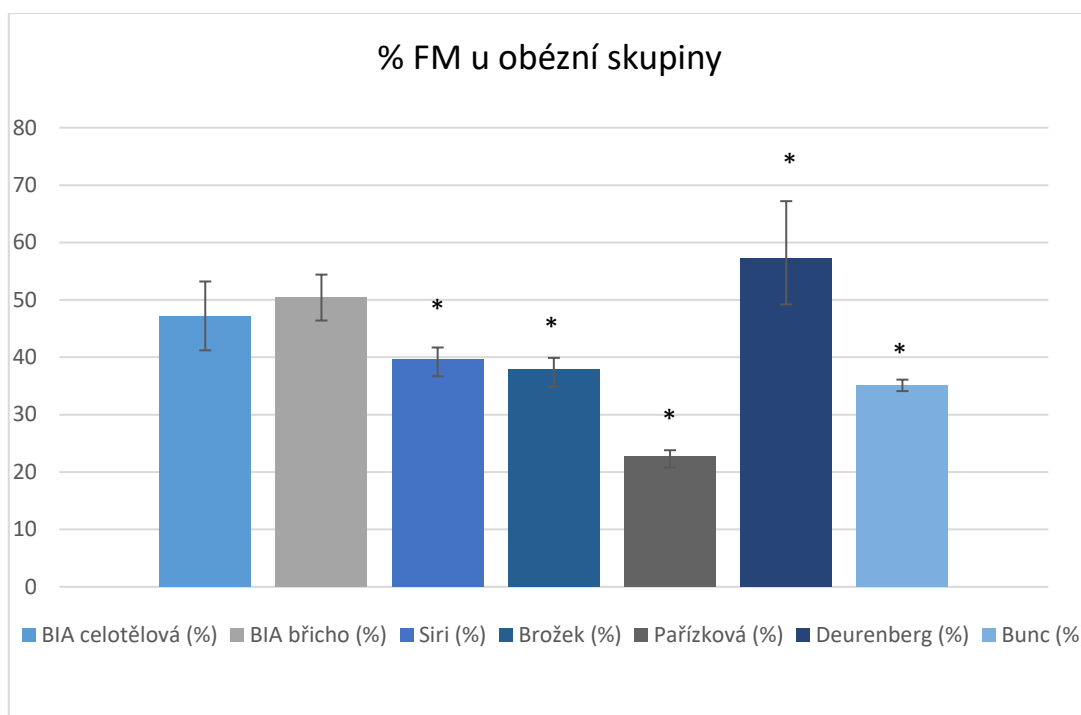


Hodnoty jsou uvedeny jako medián (25% percentil, 75% percentil).

**Vysvětlivky:** **BIA celotělová** – měřeno antropometrickou váhou Inner Scan; **BIA břišní** – měřeno přístrojem Abdominal fat analyser; \* – one-way ANOVA+Tukey's multiple comparisons test vs. BIA celotělová ( $P \leq 0,05$ )

U obézní skupiny žen nebyl zaznamenán významný rozdíl mezi výsledky získanými břišní BIA v porovnání s celotělovou BIA. Významně nižší výsledky % FM byly zaznamenány u výpočtu podle Siriho, Brožka, Bunce a Pařízkové. U výpočtu podle Deurenberga byly výsledky výrazně vyšší v porovnání s celotělovou BIA. Výsledky jsou uvedeny v grafu č. 6.

**Graf č. 6 Porovnání výsledků % FM u obézní skupiny**



Hodnoty jsou uvedeny jako medián (25% percentil, 75% percentil).

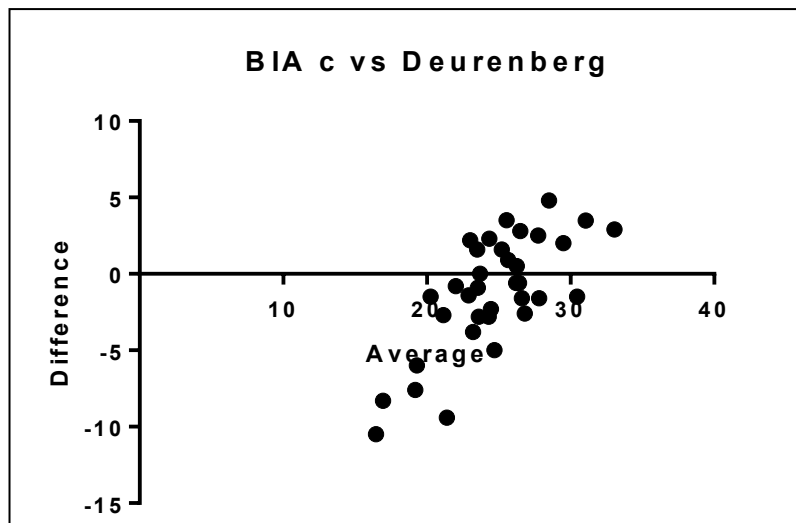
**Vysvětlivky:** **BIA celotělová** – měřeno antropometrickou váhou Inner Scan; **BIA břišní** – měřeno přístrojem Abdominal fat analyser; \* – one-way ANOVA+Tukey's multiple comparisons test vs. BIA celotělová ( $P \leq 0,05$ )

### 7.3.2 Bland-Altmanova analýza pro porovnání míry shody výsledků mezi celotělovou BIA a referenčními metodami

U kontrolní skupiny byla zaznamenána největší shoda výsledků mezi celotělovou BIA a výpočtem % FM podle Deurenberga. Průměrný rozdíl mezi metodami byl  $-1,2 \pm 3,7$  % (graf č. 7). Významná shoda byla také objevena mezi metodami celotělové BIA a břišní BIA, kde rozdíl mezi metodami činil  $-2,2 \pm 4,9$  % (graf č. 8). Výpočty % FM podle Siriho, Brožka, Pařízkové a Bunce v porovnání s celotělovou BIA vykazovaly podobnou shodu ve výsledcích (tabulka č. 20)

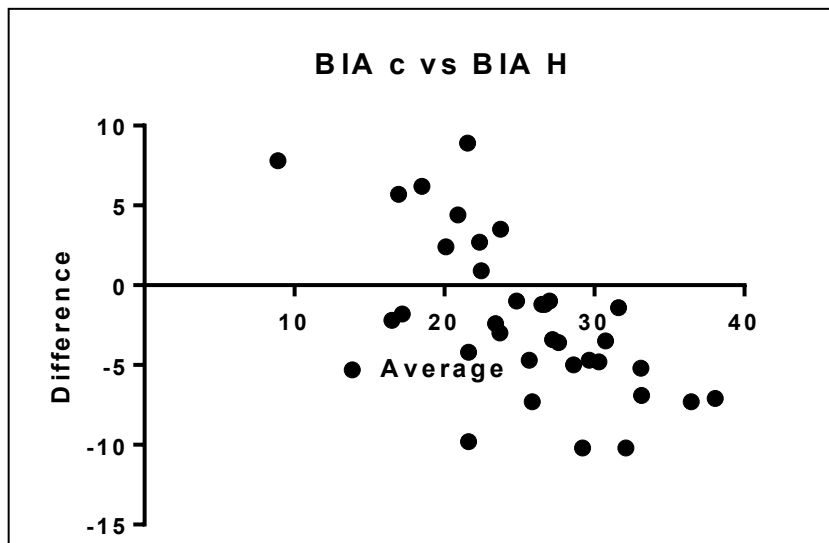
U obézní skupiny žen byla největší shoda výsledků s celotělovou BIA patrná u břišní BIA, kde průměrný rozdíl mezi metodami činil  $-3,1 \pm 8,5$ . Podobná shoda výsledků s celotělovou BIA byla zaznamenána u výpočtu % FM podle Siriho, Brožka, Deurenberga a Bunce. Naopak nejmenší shodu s celotělovou BIA u obézní skupiny žen představoval výpočet % FM podle Pařízkové, kde rozdíl mezi metodami byl  $24,5 \pm 5$ . Rozdíly mezi jednotlivými metodami jsou uvedeny v tabulce č. 20.

**Graf č. 7 Porovnávání metod BIA celotělová a Deurenberg u kontrolní skupiny**



**Vysvětlivky:** **Difference** – rozdíl % FM mezi metodami; **Average** – průměr % FM obou metod

**Graf č. 8 Porovnání metod BIA celotělová a BIA břišní u kontrolní skupiny**



**Vysvětlivky:** **Difference** – rozdíl % FM mezi metodami; **Average** – průměr % FM obou metod

**Tabulka č. 20 Porovnání míry shody výsledků celotělové BIA s referenčními metodami**

	KONTROLA (n = 35)	OBEZITA (n = 8)
BIA celotělová vs. BIA břišní	-2,2 ± 4,9	-3,1 ± 8,5
BIA celotělová vs. Siri	-6,8 ± 5,1*	7,6 ± 5,6*
BIA celotělová vs. Brožek	-5,7 ± 5,0*	9,4 ± 5,5*
BIA celotělová vs. Pařízková	6,0 ± 4,9*	24,5 ± 5,3*
BIA celotělová vs. Deurenberg	-1,2 ± 3,7	-9,9 ± 6,7*
BIA celotělová vs. Bunc	-6,9 ± 4,8*	12,2 ± 5,3*

Hodnoty jsou uvedeny jako bias (rozdíl) ± SD.

**Vysvětlivky:** BIA celotělová – měřeno antropometrickou váhou Inner Scan; BIA břišní – měřeno přístrojem Abdominal fat analyser; \* – *one-way ANOVA+Tukey's multiple comparisons test vs. BIA celotělová* ( $P \leq 0,05$ )

## 8. DISKUSE

Mezi skupinami byl zaznamenán statisticky významný rozdíl ve věku, hmotnosti a BMI podle kterého byly ženy rozděleny do dvou skupin. U složení těla byly nalezeny významné rozdíly v množství tukové a tukuprosté tkáně, které byly předpokládány.

Nejjednodušší metoda vyskytující se v klinické praxi pro zhodnocení kardiovaskulárních a metabolických rizik je změření obvodu pasu (Bužga et al., 2012). U obézní skupiny je charakteristický větší obvod v pase až o 43,2 % v porovnání s kontrolní skupinou. Naměřený obvod pasu u skupiny obézních žen dosahoval hodnot  $123,0 \pm 24,0$  cm, což pro tuto skupinu představuje významné riziko. Vysoké riziko u žen představují hodnoty vyšší než 88 cm (WHO, 1997).

Skupina obézních žen v porovnání s kontrolní skupinou se vykazovala také vyššími hodnotami poměru pas/boky. Také podle tohoto ukazatele pro obézní skupinu žen, s hodnotou poměru pas/boky  $0,9 \pm 0,1$ , představuje významný rizikový faktor v rozvoji kardiovaskulárních a metabolických onemocnění. Podle Hainera a kol. (1997) představují riziko hodnoty větší než 0,85 u žen.

Dalším parametrem byl viscerální tuk měřený dvěma rozdílnými přístroji. U obézní skupiny žen byly zaznamenány až 15krát vyšší hodnoty oproti kontrolní skupině. Výsledky metody celotělové BIA a břišní BIA se u obézní skupiny významně shodovaly. U kontrolní skupiny nebyla nalezena významná shoda mezi metodami. Procento viscerálního tuku u kontrolní skupiny bylo podhodnoceno celotělovou BIA v porovnání s břišní BIA až o 2,5×. Tady byla objevena souvislost mezi přesností metod a množstvím % FM, kdy s větší přesností byl stanoven viscerální tuk u osob s vyššími hodnotami % FM.

Podle studie, která byla provedena na adolescentní skupině obézních osob, jsou výsledky množství viscerálního tuku získané břišní BIA, konkrétně stejným přístrojem jako byl používán v naší studii, porovnatelné s metodou DEXA a magnetické resonance. Měření viscerálního tuku pomocí břišní BIA je považováno za přesnou metodu (Zamrazilová et al., 2010, Browning et al., 2010). Celotělová BIA s osmi elektrodami při porovnání s metodou DEXA podceňovala výsledky viscerálního tuku u obézních žen, a nebyla tak vyhodnocována jako natolik přesná metoda pro stanovení viscerálního tuku (Neovius et al., 2006).

Významný rozdíl v tloušťce kožních řas mezi skupinami byl nalezen u břišní a supraspinální řasy, kdy u obézní skupiny byly tyto hodnoty významně vyšší. To značí o předpokládaném větším zastoupení tukové hmoty lokalizované v oblasti břicha. Naopak nižší hodnoty u obézní skupiny v porovnání s kontrolní skupinou byly zaznamenány na několika místech. Kaliperace u obézní skupiny a kontrolní skupiny byla prováděna dvěma různými osobami a mohla tam být zanesena chyba při měření. Chyba při měření může dosáhnout až 5 %, a tudíž je potřeba, aby kaliperace byla prováděna dobře vyškoleným a zkušeným pracovníkem (Riegelová et al., 2006).

Přesnost výsledků tělesného složení je závislá na mnoha faktorech. Velký vliv má použitý přístroj, zručnost a zkušenosti vyšetřujícího. Metoda bioelektrické impedance je však méně závislá na chybě lidského faktoru než u měření kožní řasy (Větrovská et al., 2014). Přístroje BIA

s tetrapolárním umístění elektrod vykazují větší přesnost při měření, než bipedální či bimanuální přístroje (Všetulová et al., 2004). Faktory, které je nutné zohlednit při výběru predikčních rovnic, jsou věk, pohlaví, množství a distribuce tělesného tuku probanda (Bužga et al., 2012).

Největší shoda ve výsledcích v porovnání s celotělovou BIA u kontrolní skupiny byla zaznamenána u výpočtu podle Deurenberga a při stanovení % FM pomocí břišní BIA. Ve studii Arroyo a kol., prováděné na mladých zdravých osobách s průměrnou hodnotou BMI  $22,7 \pm 3,1$ , byla taktéž zjištěná shoda mezi výpočtem podle Deurenberga a stanovením % FM celotělovou BIA. Menší shoda v naší studii mezi celotělovou BIA a výpočtem % FM podle Siriho byla také potvrzena studií Arroyo a kol. Celotělová BIA u kontrolní skupiny podhodnocuje výsledky % FM v porovnání s SKF kromě výpočtu podle Pařízkové. Některé dostupné studie naopak uvádí mírné nadhodnocení % FM pomocí celotělové BIA v porovnání s SKF u osob s normálním BMI (Doménech-Asensi et al., 2018, Arroyo et al., 2004). Studie Moreno a kol. uvádí mírné podhodnocení % FM měřené celotělovou BIA v porovnání s výpočtem podle Deurenberga a shoduje se tak s našimi výsledky. Chyba tak mohla vzniknout nesprávným měřením a nedostatkem zkušeností. Statisticky významně nižší u našeho souboru byly hodnoty % FM zjišťované výpočtem podle Pařízkové v porovnání s výsledky metody BIA, což uvádí i jiní autoři (Bužga et al., 2012).

U obézní skupiny žen byla v porovnání s celotělovou BIA objevena největší shoda ve výsledcích s břišní BIA. Nejmenší shoda ve výsledcích byla nalezena mezi celotělovou BIA a výpočtem podle Pařízkové, který v tomto případě silně podhodnocuje % FM tak jako u kontrolní skupiny. Několik studií odkazuje na snížení přesnosti BIA u obézních osob a následně podhodnocení % FM, které může být způsobeno změnami tělesného složení (Neovius et al., 2006, Shafer et al., 2008, Wattanapenpaiboon et al., 1998). V naší studii toto tvrzení bylo částečně potvrzeno. Celotělová BIA vykazovala nižší hodnoty % FM v porovnání s břišní BIA a výpočtem podle Deurenberga. Naopak vyšší hodnoty jsme zaznamenali u celotělové BIA v porovnání s výpočtem podle Siriho, Brožka a Bunce.

Z našeho výzkumu vyplynulo, že u obou porovnávaných skupin byla nalezena významná shoda ve výsledcích mezi metodou břišní BIA a celotělovou BIA při stanovení celkového tělesného tuku. Tato významná shoda může být způsobena stejným principem, kterým fungují obě tyto metody. Přístroj Abdominal fat analyser (břišní BIA) využívá také techniku bioelektrické impedační analýzy, nespolehá však na faktory jako jsou věk, výška nebo váha, aby došlo k upřesnění odhadu tělesného tuku (Browning et al., 2010). Bylo by tak vhodné využít další referenční metodu např. DEXA, která by umožnila mnohem komplexněji porovnat výsledky % FM získané bioimpedanční analýzou a porovnat tak její spolehlivost. Mnohé studie se věnovaly porovnávání spolehlivosti stanovení % FM metodou DEXA v porovnání s celotělovou BIA a SKF. Metoda DEXA je považována podle těchto studií za přesnou referenční metodu. Některé studie zpochybňují spolehlivost této metody u osob s vyšším stupněm obezity, kde dochází k podhodnocení tělesného tuku (Větrovská et al., 2014). Z našeho výzkumu dále vyplynulo, že pro výpočet % FM je nejvhodnější použít u osob s normální hodnotou BMI výpočet podle Deurenberga. Rovnice podle Brožka, Siriho a Bunce dávaly poměrně stejnou odpověď u obou porovnávaných skupin, avšak více se lišily od referenční

metody BIA. Nejméně vhodný v naší studii se zdál výpočet podle Pařízkové, u kterého byly zaznamenány největší odchylky u obou porovnávaných skupin.



## 9. ZÁVĚR

Naší studie se zúčastnilo celkem 43 žen rozdělených do dvou skupin podle BMI. První skupinu tvořilo 35 zdravých žen s normální hodnotou BMI a do druhé skupiny bylo zařazeno 8 obézních žen s hodnotou BMI  $43,4 \pm 8,7$ .

Obézní skupina žen v porovnání s kontrolní skupinou se vyznačovala nižším zastoupením FFM i celkové tělesné vody a vyšším obsahem FM.

U obézní skupiny žen byl zaznamenán výrazně větší obvod pasu, a byla tak předpokládána obezita abdominálního typu, která byla potvrzena bioimpedančními přístroji. Viscerální tuk porovnávaný metodou břišní BIA a celotělová BIA vykazoval u obézní skupiny shodu ve výsledcích. U kontrolní skupiny byl prokázán významný rozdíl mezi metodami.

Největší shoda ve výsledcích v porovnání s celotělovou BIA byla zaznamenána u kontrolní skupiny u výpočtu podle Deurenberga. U obézní skupiny žen byla v porovnání s celotělovou BIA objevena největší shoda ve výsledcích s břišní BIA. Podobných výsledků při stanovení % FM jsme došli pomocí výpočtu podle Brožka, Siriho a Bunce. Výpočet podle Pařízkové v obou skupinách jako jediný vykazoval největší odchylky v porovnání s celotělovou BIA a byl vyhodnocen jako nejméně vhodný.

## 10. POUŽITÉ ZKRATKY

<b>zkratka</b>	<b>význam zkratky</b>	<b>český význam</b>
BAT	Brown adipose tissue	hnědá tuková tkáň
BCM	Body cell mass	intracelulární hmota
BIA	Bioelectrical impedance analysis	bioelektrická impedanční analýza
BMI	Body Mass Index	index tělesné hmotnosti
DEXA	Dual energy X-ray absorptiometry	duální rentgenová absorpciometrie
ECF	Extracellular fluid	extracelulární tekutina
ECM	Extracellular mass	extracelulární hmota
ECS	Extracellular solid	extracelulární pevné látky
ECW	Extracellular water	extracelulární tekutina
FFM	Fat free mass	tukuprostá hmota
FM	Fat mass	tuková hmota
% FM	Percent Fat mass	procento tukové hmoty
ICW	Intracellular water	intracelulární tekutina
ISF	Interstitial fluid	intersticiální tekutina
PVAT	Perivascular adipose tissue	perivaskulární tuková tkáň
SKF	Skinfold thickness	tloušťka kožní řasy
TBW	Total body water	celková tělesná voda
WAT	White adipose tissue	bílá tuková tkáň
WHO	World health organization	Světová zdravotnická organizace

## 11. SEZNAM TABULEK

Tabulka č. 1 Tělesné složení na úrovni atomického modelu (muž, 70 kg).....	11
Tabulka č. 2 Rovnice pro odhad tělesných komponent .....	13
Tabulka č. 3 Tělesné složení na úrovni tkáňově-systémového modelu (muž, 70 kg) .....	15
Tabulka č. 4 Procentuální zastoupení tukové frakce u normální populace .....	19
Tabulka č. 5 Klasifikace tělesné hmotnosti podle WHO.....	23
Tabulka č. 6 Obvod pasu určující zvýšené a vysoké riziko kardiovaskulárních a metabolických komplikací .....	23
Tabulka č. 7 Prevalence obezity-faktory ovlivnění.....	24
Tabulka č. 8 Zdravotní rizika a komplikace obezity.....	26
Tabulka č. 9 Predikční rovnice podle Pařízkové (1961).....	33
Tabulka č.10 Inovace predikčních rovnic .....	34
Tabulka č. 11 Predikční rovnice pro % FM z BMI .....	35
Tabulka č. 12 Inovace predikčních rovnic metodou BIA .....	36
Tabulka č. 13 Predikční rovnice pro výpočet tělesného tuku .....	38
Tabulka č. 14 Hodnoty viscerálního tuku dle výrobce .....	48
Tabulka č. 15 Základní charakteristika .....	51
Tabulka č. 16 Další parametry naměřené BIA celotělová .....	53
Tabulka č. 17 Tělesné obvody .....	54
Tabulka č. 18 Šířka kloubů.....	55
Tabulka č. 19 Tloušťka kožních řas.....	56
Tabulka č. 20 Porovnání míry shody výsledků celotělové BIA s referenčními metodami .....	61

## 12. SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek č. 1 Pětistupňový model tělesného složení .....	16
Obrázek č. 2 Komponenty tělesného složení.....	21
Obrázek č. 3 Regionální rozdíly v prevalenci obezity v Evropě .....	28
Obrázek č. 4 Lokalizace kožních řas .....	32
Obrázek č. 5 Antropometrická váha Inner Scan.....	43
Obrázek č. 6 Princip metody .....	43
Obrázek č. 7 Správná poloha chodidel při měření .....	44
Obrázek č. 8 Výkonnostní rating .....	45
Obrázek č. 9 Abdominal fat analyser .....	46
Obrázek č. 10 Zařízení k změření impedance .....	46
Obrázek č. 11 Správně zaměřené LED světlo .....	47
Obrázek č. 12 Kaliper .....	49
Obrázek č. 13 Měření kožních řas .....	49

## 13. SEZNAM GRAFŮ

Graf č. 1 Složení těla u kontrolní skupiny naměřené BIA celotělová .....	52
Graf č. 2 Tělesné složení u obézní skupiny naměřené BIA celotělová .....	52
Graf č. 3 Viscerální tuk (%) u kontrolní skupiny .....	57
Graf č. 4 Viscerální tuk (%) u obézní skupiny .....	57
Graf č. 5 Porovnání výsledků % FM u kontrolní skupiny .....	58
Graf č. 6 Porovnání výsledků % FM u obézní skupiny .....	59
Graf č. 7 Porovnávání metod BIA celotělová a Deurenberg u kontrolní skupiny .....	60
Graf č. 8 Porovnání metod BIA celotělová a BIA břišní u kontrolní skupiny .....	60

## 14. POUŽITÁ LITERATURA

- 1) Abubakari A, Lauder W, Agyemang C. *et al.* Prevalence and time trends in obesity among adult West African populations: a meta-analysis. *Obes Rev*, 2008, **9**, 297-311.
- 2) Anthropometric instruments. Kaliper BEST II K-501. [online]. 2015 [cit. 2018-29-07]. Dostupné z: <http://www.anthropometricinstruments.com/kaliper-best-ii-k-501/>
- 3) Arroyo M, Rocandio A, Ansotegui L. *et al.* Comparison of predicted body fat percentage from anthropometric methods and from impedance in university students. *Br J Nutr*, 2004, **92**, 827-832.
- 4) Ayvaz G, Cimen A. Methods for body composition analysis in adults. *Open Obes J*, 2011, **3**, 62-69.
- 5) Barbosa-Silva M, Barros A. Post C. *et al.* Can bioelectrical impedance analysis identify malnutrition in preoperative nutrition assessment? *Nutrition*, 2003, **19**, 422-426.
- 6) Behnke A, Feen B, Welham W. The specific gravity of health men. Body weight and volume as an index of obesity. *J Am Med Assoc*, 1942, **118**, 495-489.
- 7) Berghöfer A, Pischon T, Reinhold T. *et al.* Obesity prevalence from a European perspective: a systematic review. *BMC Public Health*, 2008, **8**, 200.
- 8) Browning L, Mugridge O, Chatfield M. *et al.* Validity of a new abdominal bioelectrical impedance device to measure abdominal and visceral fat: comparison with MRI. *Obesity*, 2010, **18**, 2385-2391.
- 9) Bunc V, Heller J, Zahálka F. *et al.* Inovace predikčních rovnic pro stanovení složení těla biomedicínskou metodou a měření tloušťky kožních řas. Dílčí zpráva GAUK 316/97/C, Praha, UK FTVS. [online] 1997, [cit. 2018-05-07]. Dostupné z: [http://www1.cuni.cz/cuni/ruk/gauk/zz1999/316\\_97-c.htm](http://www1.cuni.cz/cuni/ruk/gauk/zz1999/316_97-c.htm)
- 10) Bužga M, Zavadilová V, Vlčková J. *et al.* Porovnávání výsledků různých metod stanovení tělesného tuku. *Hygiena*, 2012, **57**, 105-109.
- 11) Dempster P, Aitkens S. A new air displacement method for the determination of human body composition. *Med Sci Sports Exerc*, 1995, **27**, 1692-1697.
- 12) Deurenberg P, Weststrate J, Seidell J. Body mass index as a measure of body fatness: age- and sex-specific prediction formulas. *Br J Nutr*, 1991, **65**, 105-114.
- 13) Eknoyan G. Adolphe Quetelet (1796-1874) -the average man and incidence of obesity. *Nephrol Dial Transplant*, 2008, **23**, 47-51.
- 14) Faeh D, Bopp M. Increase in the prevalence of obesity in Switzerland 1982-2007: Bicohort analysis puts recent slowdown into perspective. *Obesity*, 2010, **3**, 644-646.
- 15) Fields D, Goran M, McCrory M. Body-composition assessment via air-displacement plethysmography in adults and children: a review *Am J Clin Nutr*, 2002, **75**, 453-467.
- 16) Finkelstein E, Brown D, Wrage L. *et al.* Individual and aggregate years-of-life-lost associated with overweight and obesity. *Obesity*, 2010, **18**, 333-339.
- 17) Fiorotto M, Klish W. Total Body Electrical Conductivity Measurements in the Neonate. *Clin Perinatol*, 1991, **18**, 611-627.
- 18) Gray D, Fujioka K. Use of relative weight and body mass index for the determination of adiposity. *J Clin Epidemiol*, 1991, **44**, 545-550.
- 19) Grigoras A, Amalinei C, Balan N. *et al.* Adipocytes spectrum-from homeostasia to obesity and its associated pathology. *Ann Anat*, 2018, **219**, 102-120.
- 20) Doménech-Asensi G, Gómez-Gallego C, Ros-Berrueto G. *et al.* Critical overview of current anthropometric methods in comparison with a new index to make early

- detection of overweight in Spanish university students: the normalized weight-adjusted index. *Nutr Hosp*, 2018, **35**, 359-367.
- 21) Hainer V, Kunešová M. *Obezita: etiopatogeneze, diagnostika a terapie*. Praha: Galén, 1997, 126 s. ISBN 80-85824-67-1.
  - 22) Hainer V. *Základy klinické obezitologie*. 2., přeprac. a dopl. vyd. Praha: Grada, 2011, xxvi, 422 s., 16 s. barev. obr. příl. ISBN 978-80-247-3252-7.
  - 23) Hathcock J, Stickle R. Principles and concepts of computed tomography. *Vet Clin N Am*, 1993, **23**, 399-415.
  - 24) Heymsfield S, Wang Z. Human body composition: advances in models and methods. *Annu Rev Nutr*, 1997, **17**, 527-558.
  - 25) Hlúbík P. Obezita-závažný problém současnosti. *Interní med*, 2002, **7**, 314-317.
  - 26) Jarkovská H. *Cvičení na velkém míči*. Praha: Grada, 2007, 183 s. Sport extra. ISBN 978-80-247-1751-7.
  - 27) Jennings G, Bluck L, Wright A. *et al.* The use of infrared spectrophotometry for measuring body water spaces. *Clin Chem*, 1999, **45**, 1077-1081.
  - 28) Junqueira L, Carneiro J, Kelley R. *Základy histologie*. 7.vyd. Jinočany: H & H, 1997, 502 s. ISBN 80-85787-37-7.
  - 29) Kalousková P, Kunešová M. Obezita-stále podceňovaná nemoc. *Med v praxi*, 2008, **5**, 6-8.
  - 30) Kopecký M. *Somatologie*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2010, 313 s. Učebnice. ISBN 978-80-244-2271-8.
  - 31) Kyle U, Bosaeus I, De Lorenzo A. *et al.* Bioelectrical impedance analysis part I: review of principles and methods. *Clin Nutr*, 2004, **23**, 1226-1243.
  - 32) Lee J, Pilli S, Gebremariam A. *et al.* Getting heavier, younger: trajectories of obesity over the life course. *Int J Obesity*, 2010, **34**, 614-623.
  - 33) Lohman T. Skinfolts and body density and their relation to body fatness: A review. *Hum biol*, 1981, **53**, 181-225.
  - 34) Matiegka J. The testing of physical efficiency. *Am J Phys Anthropol*, 1921, **4**, 223-230.
  - 35) Maughan R, Burke L. *Výživa ve sportu: příručka pro sportovní medicínu*. Praha: Galén, c2006, 311 s. ISBN 80-7262-318-4.
  - 36) Moreno M, Gómez Gandoy J, Antoranz González M. Measurement of body fat with bioelectric impedance, skinfold thickness, and equations based on anthropometric measurements. Comparative analysis. *Rev Esp Salud Publica*, 2001, **75**, 221-236.
  - 37) Neovius M, Hemmingsson E, Freyschuss B. *et al.*, Bioelectrical impedance underestimates total and truncal fatness in abdominally obese women. *Obesity*, 2006, **14**, 1731- 1738.
  - 38) Pařízková J, Hills A. *Childhood obesity: prevention and treatment*. 2nd ed. Boca Raton, Fla.:CRC Press, c2005, 521s. ISBN 0-8493-2253-7.
  - 39) Pichard C, Kyle U, Bracco D. *et al.* Reference values of fat-free and fat masses by bioelectrical impedance analysis in 3393 healthy subjects. *Nutrition*, 2000, **16**, 245-254.
  - 40) Pineau J, Filliard J, Bocquet M. Ultrasound Techniques Applied to Body Fat Measurement in Male and Female Athletes. *J Athl Training*, 2009, **44**, 142-147.
  - 41) Rediner R. Fat storage and the biology of energy expenditure. *Transl Res*, 2009, **154**, 52-59.
  - 42) Riegerová J, Přidalová M, Ulbrichová M. *Aplikace fyzické antropologie v tělesné výchově a sportu: (příručka funkční antropologie)*. 3. vyd. Olomouc: Hanex, 2006, 262 s. ISBN 80-85783-52-5.
  - 43) Rokyta R. *Fyziologie: pro bakalářská studia v medicíně, přírodovědných a tělovýchovných oborech*. Praha: ISV, 2000, 359 s. ISBN 80-85866-45-5.

- 44) Seidell J, Visscher T. Body weight and weight change and their health implications for the elderly. *Eur J Clin Nutr*, 2000, **3**, 33–39.
- 45) Shafer J, Siders W, Johnson L. *et al.* Validity of segmental multiple-frequency bioelectrical impedance analysis to estimate body composition of adults across a range of body mass indexes. *Nutrition*, 2009, **25**, 25-32.
- 46) Symonds M, Aldiss P, Pope M. *et al.* Recent advances in our understanding of brown and beige adipose tissue: the good fat that keeps you healthy. *Faculty Rev*, 2018, **7**, 1129.
- 47) Stunkard A, Harris J, Pedersen N. *et al.* The body-mass index of twins who have been reared apart. *New Engl J Med*, 1990, **322**, 1483-1487.
- 48) Svačina Š. *Klinická dietologie*. Praha: Grada, 2008, 381 s. ISBN 978-80-247-2256-6.
- 49) Tanita Scales: Understanding your Measurements. *Tanita, Monitoring your Health* [online]. 2012 [cit. 2018-21-07]. Dostupné z: <https://tanita.eu/tanita-academy/understanding-your-measurements>
- 50) Tanita Corporation. Instruction Manual Abdominal Fat Analyser AB-140 ViScan. [online]. 2008 [cit. 2018-22-07]. Dostupné z: <https://tanita.eu/media/wysiwyg/manuals/professional-body-composition-analysers/ab-140-instruction-manual.pdf>
- 51) Tanita the standart. BC-534 InnerScan Body Composition Monitor. [online]. 2018 [cit. 2018-21-07] Dostupné z: <https://www.tanita.com/es/bc534/>
- 52) Thomas T, Cook P. A simple inexpensive method for estimating underwater weight. *Brit J Sport Med*, 1978, **12**, 33-36.
- 53) Trotter M, Broman G, Peterson R. *et al.* Densities of bones of white and negro skeletons. *J Bone Joint Surg*, 1970, **42**, 50-58.
- 54) Větrovská R, Vilikus Z, Klaschka J. *et al.*, Does impedance measure a functional state of the body fat? *Physiol Res*, 2014, **63**, 309-320.
- 55) Vidra N, Bijlsa M, Llimo S. *et al.* Past trends in obesity-attributable mortality in eight European countries: an application of age-period-cohort analysis. *Int J Public Health*, 2018, **63**, 683-692.
- 56) Všetulová E, Bunc V. The use of bioimpedance analysis for the assessment of relative body fat in obese women. *Čas Lék čes*, 2004, **143**, 528-532.
- 57) Wang Z, Pierson R, Heymsfield S. The five-level model: a new approach to organizing body-composition research. *Am J Clin Nutr*, 1992, **56**, 19-28.
- 58) Wattanapenpaiboon N, Lukito W, Strauss B. *et al.* Agreement of skinfold measurement and bioelectrical impedance analysis (BIA) methods with dual energy X-ray absorptiometry (DEXA) in estimating total body fat in Anglo-Celtic Australians. *Int J Obes Relat Metab Disor*, 1998, **22**, 854-860.
- 59) Wells F, Fewtrell M. Measuring body composition. *Arch Dis Child*, 2006, **91**, 612-617.
- 60) Wen C, Cheng T, Tsai S. *et al.* Are Asians at greater mortality risks for being overweight than Caucasians? Redefining obesity for Asians. *Public Health Nutr*, 2008, **12**, 497-506.
- 61) WHO: Prevention and management of the global epidemic of obesity. Report of the WHO Consultation on Obesity, Geneva, 3-5 June, 1997.
- 62) Wielopolski L, Heymsfield S, Wang Z. *et al.* Measuring partial body potassium in the arm versus total body potassium. *J Appl Physiol*, 2006, **101**, 945-949.

- 63) Zamrazilová H, Hlavatý P, Dušátková L. *et al.* Nová jednoduchá metoda stanovení viscerálního a trunkálního tuku pomocí bioelektrické impedance: srovnání s magnetickou rezonancí a duální rentgenovou absorpciometrií u českých adolescentů. *Čas Lék čes*, 2010, **149**, 417-422.
- 64) Zemková D. Auxologické parametry aneb jak správně měřit a vážit. *Pediatr praxi*, 2016, **17**, 211–213.