UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE

1. LÉKAŘSKÁ FAKULTA

# DIPLOMOVÁ PRÁCE

Praha 2010 Eliška Kočvarová

UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE
1. LÉKAŘSKÁ FAKULTA

Laboratoř sportovní medicíny, FTVS UK

# POROVNÁNÍ BIOIMPEDANČNÍ ANALÝZY S METODOU MĚŘENÍ KOŽNÍ ŘASY U OSOB S NADVÁHOU

Comparison of bioelectrical impedance analysis with skinfold thickness method in overweight persons

Diplomová práce

Řešitel: Bc. Eliška Kočvarová
Vedoucí: prof. Ing. Václav Bunc, CSc.
Oponent: prof. MUDr. Štěpán Svačina, DrSc., MBA
Praha 2010

# Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracovala samostatně pouze za použití pramenů uvedených v seznamu použité literatury.

Praha, 20. srpna 2010 ……

# Poděkování

Mé velké poděkování patří prof. Ing. Václavu Buncovi, CSc., který mi byl oporou při tvorbě diplomové práce a poskytl mi cenné rady. Děkuji také všem pracovníků FTVS UK, kteří mi pomohli realizovat experiment na svém pracovišti.

# OBSAH

Abstrakt……... 6
Úvod…… 7
**I. Teoretická část**
1. Obezita…….……. 9
1.1. Definice obezity…….…. 9
1.2. Změny tělesného tuku v průběhu života…… 12
1.3. Klasifikace obezity…….…… 13
1.4. Etiopatogeneze obezity…….. 14
1.5. Komplikace obezity……15
1.6. Léčba obezity……..... 17
1.7. Prevalence nadváhy a obezity…… 18
2. Tuková tkáň……..…. 22
2.1. Charakteristika tukové tkáně……... 22
2.2. Vývoj tukové tkáně…… 22
2.3. Typy tukové tkáně……... 22
2.4. Funkce tukové tkáně…….……..... 25
2.5. Metabolizmus bílé tukové tkáně…….…..…… 27
3. Tělesné složení, modely…… 29
3.1. Atomický model…….…… 30
3.2. Molekulární model…….…… 31
3.3. Buněčný model……...…. 33
3.4. Tkáňový model……...…. 34
3.5. Celotělový model…….…... 35
3.6. Tělesné modely podle počtu komponent…….…..... 36
3.7. Odlišnosti tělesného složení dětí, starých lidí a sportovců……..… 39
4. Metody analýzy tělesného složení……. 41
4.1. Laboratorní metody analýzy tělesného složení……..……..... 42
4.1.1. Hydrodenzitometrie……..……..... 42

4.1.2. Pletysmografie……..……..…. 44
4.1.3. Izotopové diluční metody…….……..…. 46
4.1.4. Duální rentgenová absorpciometrie……..…….. 47
4.1.5. Stanovení celkového tělesného draslíku……..…….. 50
4.1.6. Počítačová tomografie……..……..…. 51
4.1.7. Magnetická rezonanční tomografie……..……..…. 52
4.1.8. Neutronová aktivační analýza…….…… 52
4.2. Terénní metody pro analýzu tělesného složení……..…. 53
4.2.1. Bioimpedanční analýza……..….. 53
4.2.2. Měření tloušťky kožní řasy……..… 59
4.2.3. Ultrazvuk……..……... 65
4.2.4. Infračervená interakce……...….. 66
4.2.5. Celková tělesná vodivost…….…... 67
4.2.6. Kreatinurie……..… 67
4.2.7. Celkový plazmatický kreatinin……....…… 67

II. Praktická část

5. Cíl……..…. 68
6. Soubor vyšetřených a metodika……. 68
7. Bioimpedanční analýza 1…….…….. 69
8. Bioimpedanční analýza 2……..……..…….. 71
9. Kaliperace…….…….…… 72
10. Hydrodenzitometrie……..…… 72
11. Výsledky a diskuze……74
12. Závěr……81
13. Literatura……82
14. Seznam zkratek……...87
15. Seznam tabulek, obrázků a grafů…….....88

# Abstrakt

Cílem diplomové práce bylo porovnat tři nejčastěji užívané metody pro odhad množství tělesného tuku u osob s nadváhou. Bioimpedanční analýza byla provedena pomocí přístrojů Nutriguard-M a Inbody 3.0, antropometrická metoda měření tloušťky kožní řasy byla realizována kaliperem Best. Tyto tři terénní metody byly porovnány s metodou referenční (podvodní vážení). Cílem bylo identifikovat metodu, která se co nejvíce blíží metodě referenční a zároveň je dobře dostupná a praktická pro opakované analýzy. V první části práce je nastíněna problematika analýzy tělesného složení, nadváhy, obezity a jejich komplikací. V druhé části práce jsou vyhodnocena data, která byla získána analýzou zkoumaného souboru použitím zmíněných metod. Zkoumaný soubor tvořilo 18 dobrovolníků (6 mužů, 12 žen) s nadváhou, průměrný věk 46,1 ± 15,8 let, průměrné hodnoty BMI 28,2 ± 2,5 kg / $m^2$. Porovnání výsledků jednotlivých metod ukazuje, že naměřené hodnoty tělesného tuku pomocí Inbody 3.0 a metodou měření tloušťky kožní řasy se od hodnot referenční metody významně neliší. Naopak analyzér Nutriguard-M s tetrapolárním uspořádáním elektrod poskytoval statisticky i věcně významně odlišné výsledky. Výsledné hodnoty lze přičíst hlavně typu predikčních rovnic, které výrobce přístroje Nutriguard-M použil. Nejtěsnější výsledky s referenční metodou vykazovala analýza přístrojem Inbody ($R = 0,631$, $p > 0,05$).



**Klíčová slova:** obezita, nadváha, analýza tělesného složení, bioimpedance, tělesný tuk



# Abstract

The aim of the thesis was to compare the methods most frequently used to determine the amount of body fat in overweight persons. Two bioelectrical impedance analyses using the analyzer Nutriguard-M and Inbody 3.0 and the skinfold test using the calliper Best were compared with a reference method (underwater weighting). The objective was to evaluate the validity of the mentioned methods and to decide which one is the most appropriate. In the first part of the thesis the background of obesity and body composition analysis is described. In the second part measured values are evaluated. The study included 18 overweight persons (6 men, 12 women), mean age 46,1 ± 15,8 years, mean BMI 28,2 ± 2,5 kg / $m^2$. No significant differences were found among mean values of BF% obtained by Inbody 3.0 and the skinfold test. But the values measured by Nutriguard-M with tetra-polar electrodes arrangement were found significant ($p < 0,05$).



**Key words:** obesity, overweight, body composition analysis, bioimpedance, body fat

# Úvod

Tělesné složení představuje jednu z nejproměnlivějších charakteristik lidského organizmu a podléhá změnám v průběhu celého života v závislosti na věku, pohlaví, etnickém původu, zdravotním stavu a celkové energetické bilanci. Somatometrické indexy jako jsou například tělesná hmotnost a výška podávají jen orientační informaci o tělesné kompozici a nejsou schopny postihnout komplexní charakteristiku. Tělesná hmotnost je složitý parametr, který je třeba posuzovat podle analýzy jednotlivých tělesných komponent a teprve na základě těchto údajů je možné vyhodnotit optimální stav.

Analýza tělesného složení se stala běžnou součástí klinického vyšetření a monitorování zdravotního stavu a je významným motivačním prvkem pro pacienty, kteří se účastní redukčních programů. Tělesná analýza nachází také široké využití v profesionálním i amatérském sportu, kde slouží jako zpětná vazba k hodnocení tréninkových metod.

Tato diplomová práce porovnává tři dostupné terénní metody pro analýzu tělesného složení s hydrodenzitometrií, která je považována za metodu referenční. Pro porovnání jsem zvolila dvě bioimpedanční metody, které byly realizované pomocí multifrekvenčních přístrojů Nutriguard-M a Inbody 3.0, a jednu klasickou antropometrickou metodu - kaliperaci, neboli odhad množství tělesného tuku na základě měření tloušťky kožní řasy.

Experiment byl zaměřen na skupinu osob s nadváhou, tedy s body mass indexem (BMI) v rozmezí 25,0 - 29,9 kg/m$^2$. Nadváha tvoří plynulý přechod od normální tělesné hmotnosti k obezitě. Má-li však jedinec nadváhu, většinou svůj zdravotní stav ještě nepokládá za nijak tragický a rizikový a subjektivní pocit proto nebývá silným motivem ke změně životního stylu a následně ke snížení hmotnosti, přesněji k redukci tukových zásob. Často ani ze strany lékařů není v tomto případě vyvíjen tlak na úpravu životosprávy, a to i přesto, že už při BMI nad 25 kg/m$^2$ existuje zvýšené riziko metabolických a kardiovaskulárních komplikací.

Překročí-li BMI 30 kg/m$^2$, jedná se už o obezitu a riziko zmíněných komplikací je velmi vysoké. Obezita se řadí mezi závažné civilizační onemocnění s multifaktoriálními příčinami a nadváha je její předstupeň. Zjednodušeně řečeno, obezita a nadváha vzniká v důsledku kombinace vrozené dispozice a relativní převahy energetického příjmu nad výdejem.

V první části diplomové práce se zabývám teoretickými poznatky z oblasti obezitologie a analýzy tělesného složení. Podávám charakteristiku metod, kterými lze tělesnou analýzu realizovat, uvádím jejich přednosti a úskalí. Zvýšenou pozornost věnuji metodám, které byly použity v našem experimentu, tedy hydrodenzitometrii, bioimpedanční analýze a měření tloušťky kožní řasy. Druhý oddíl diplomové práce obsahuje praktickou část, ve které je charakterizován zmíněný experiment a analyzována získaná data.

# I. Teoretická část

# 1. Obezita

## 1.1 Definice obezity

Podle Světové zdravotnické organizace (WHO) je obezita definována jako onemocnění charakterizované nadměrným hromaděním tukové tkáně v organismu člověka. Je to závažné chronické onemocnění a také samostatný rizikový faktor, podílející se na zhoršování kvality života a zkracování jeho délky. Obezita se podílí na vzniku a rozvoji celé řady nemocí, které se řadí pod obecný pojem „civilizační nemoci“. Do uvedené skupiny patří především onemocnění metabolická, diabetes mellitus, ateroskleróza, ischemická choroba srdeční, infarkt myokardu, hypertenze, poruchy pohybového aparátu a řada dalších (Hlúbik, 2002).

K hodnocení tělesné hmotnosti využívá WHO tzv. body mass index (BMI), zavedený Národním institutem zdraví (NHI). NHI analyzoval data z téměř 400 studií, které sledovaly souvislost mezi hmotností a rizikem onemocnění. Na základě výsledků vytvořil NHI v roce 1998 hodnocení tělesné hmotnosti dle BMI (Clinical Recommendations, Identification, Evaluation and Treatment of Overweight and Obesity in Adults).

BMI (z minulosti známý jako Queteletův index) je celosvětově uznávaným měřítkem pro stanovení podváhy, normální váhy, nadváhy a obezity. Vypočítá se podle vzorce: hmotnost v kilogramech dělená druhou mocninou tělesné výšky v metrech. Dosahuje-li BMI 25 kg/m$^2$, jedná se o nadváhu. Při 30 kg/m$^2$ hovoříme už o obezitě (WHO, 1998).

Jiné kritérium pro stanovení obezity používá National Heart, Lung, and Blood Institute (NHLBI) ve svém programu (National Cholesterol Education Program, NCEP). Za hlavní ukazatel obezity NCEP považuje obvod pasu. Je-li obvod větší než 102 cm (pro muže) nebo 88 cm (pro ženy), jedná se o obezitu. Stejné kritérium používá International Diabetes Federation (IDF), je však o něco přísnější: 94 cm (pro muže) a 80 cm (pro ženy.)

V klinické praxi bývá stále často zjišťován BMI, tento údaj může být ale zavádějící. Především proto, že BMI nezohledňuje tukovou a netukovou tělesnou hmotu. Stejně tak

nezohledňuje distribuci tělesného tuku, která je z hlediska zdravotního rizika velmi podstatná. Hodnotit BMI u dětí může být také velmi zavádějící. V období od narození do ukončení růstu se BMI významně mění a stejně jako výška a váha má i BMI v ontogenezi člověka charakteristický sexuální dimorfismus.

## Body mass index

Zjišťování BMI pro stanovení nadváhy a obezity je stále velmi rozšířeno po celém světě, ačkoli index spíš charakterizuje nadměrnou hmotnost (vztaženou k výšce) než obsah tělesného tuku. Přesnost BMI jako ukazatele "tučnosti" zjišťoval například Gray (1991). Zkoumal vzorek 75 žen a 29 mužů různých tělesných proporcí a sledoval, jestli koreluje procento tělesného tuku (BF%) zjištěné metodou podvodního vážení s BMI. Lineární regresní analýza ukázala, že BMI významně koreluje s BF%, a to jak u mužů ($R^2$ = 0,68, BF% = 0,99 X BMI - 1,32, $p < 0,001$) tak u žen ($R^2$ = 0,74, BF% = 0,94 X BMI + 10,77, $p < 0,001$).

K podobným závěrům došel ve své studii i Deurenberg et al. (1991). U 1229 probandů (521 mužů, 708 žen) byl zjišťován vztah mezi BMI a BF%. Hodnoty BMI probandů se pohybovaly v rozmezí 13,9 - 40,9 kg/$m^2$, věk 7 - 83 let. Hodnoty BF% byly zjišťovány pomocí denzitometrie a porovnány s hodnotami BMI. Z výsledků vyplývá, že BMI významně koreluje s BF%, ale naopak nekoreluje (nebo spíš mírně negativně) s tělesnou výškou ($p < 0,01$).

Jinak je tomu u dětí do 16 let, u kterých je nárůst hmotnosti rychlejší ve srovnání s růstem do výšky, proto BMI pozitivně koreluje s výškou ($p < 0,001$). Pro odhad BF% z hodnot BMI byly sestaveny predikční rovnice zohledňující věk a pohlaví. Z rovnic vyplývá, že vztah mezi BMI a BF% není v průběhu života konstantní (období růstu, úbytek svalstva ve stáří) a statisticky významně se také liší v závislosti na pohlaví (vzhledem k odlišnému tělesnému složení mezi muži a ženami). U obézních jedinců bylo po dosazení BMI do predikčních rovnic zjištěno mírné nadhodnocení BF%.

Dalším faktorem ovlivňující BMI je etnický původ. Jak uvádí Deurenberg et al. (1991), běloch a černoch se shodným BF%, věkem a pohlavím mají odlišné BMI. Běloši mají BMI v tomto případě vyšší (1,0 - 4,6 kg/$m^2$).

Predikční rovnice pro odhad %BF z BMI (Deurenberg et al., 1991)

koeficient pohlaví: muž = 1, žena = 0

a) děti do 16 let: **BF% = 1,51 x BMI - 0,70 x věk - 3,6 x pohlaví - 1,4**
($R^2$ = 0,38, SEE = 4,1 % BF%)

b) dospělí: **BF% = 1,20 x BMI + 0,23 x věk - 10.8 x pohlaví - 5,4**
($R^2$ = 0,79, SEE = 4,1% BF%)

BMI sice velmi dobře koreluje s procentem tělesného tuku, toto tvrzení ale neplatí vždy (Lukaski, 2001). Stejně tak dobře BMI koreluje s množstvím svalové hmoty (Freedman et al., 2004). Proto bývá BMI zvýšený u sportovců nebo jedinců s nadměrně vyvinutým svalstvem a jejich odhad BF% je nadhodnocený. Naopak u starších lidí, u kterých dochází k úbytku svalstva, bývá "tučnost" podhodnocena, ačkoli může být vysoká. Proto je nezbytné BMI vždy správně interpretovat vzhledem k věku, pohlaví, fyzické aktivitě a využít i dalších metod pro stanovení tělesného tuku. BMI je spíš ukazatel neabdominálního a subkutánního tuku než tuku viscerálního, jehož kumulace v těle je rizikovější.

Přestože BMI může být pro stanovení nadváhy nebo obezity zavádějící, existuje úzký vztah mezi BMI a incidencí metabolických onemocnění spojených s nadměrným hromaděním tuku. Jak uvádí Kopelman (2001), jedná se přibližně o lineární závislost, kdy se nezávisle na pohlaví výrazně zvyšuje riziko zdravotních komplikací u jedinců s BMI vyšším než 29 kg/$m^2$.

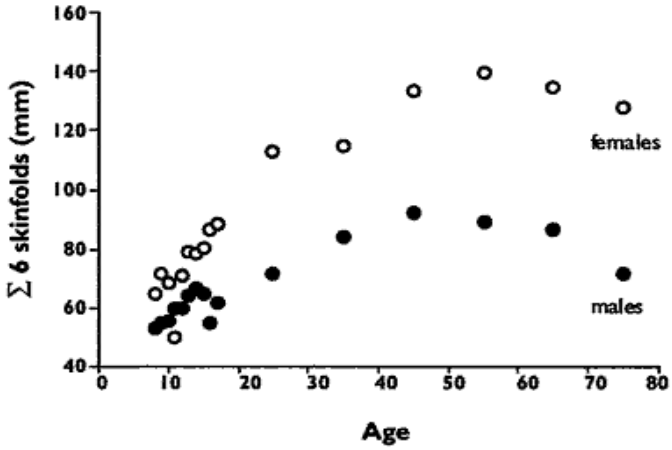
## Obvod pasu

Měření obvodu pasu (waist circumference, WC) patří společně s měřením tělesné výšky a hmotnosti mezi základní antropometrické ukazatele. WC dobře koreluje s množstvím intraabdominálního tuku a je tak významným prediktorem metabolických onemocnění. WC se měří v polovině vzdálenosti mezi spodním okrajem dolního žebra a crista iliaca v horizontální rovině. Hraniční hodnoty jsou: pro muže 94 cm, pro ženy 80 cm. Vyšší hodnoty jsou spojeny se zvýšeným rizikem rozvoje hypertenze, aterosklerózy, diabetu, onemocnění kloubů, páteře a dalších civilizačních nemocí. Jsou-li hodnoty obvodu pasu vyšší než 102cm u mužů a 88cm u žen, je riziko rozvoje metabolických komplikací velmi vysoké (Hainer et al., 2004).

## 1.2 Změny tělesného tuku v průběhu života

Zásoby tělesného tuku se v průběhu života charakteristicky mění. Z průřezových studií vyplývá, že do 1. roku života procento tělesného tuku stoupá, po 1. roce se zásoby podkožního tuku zmenšují a nejnižších hodnot dosahují kolem 6. a 8. roku. Od 8. roku množství tuku progresivně stoupá mimo období tzv. růstového spurtu (u děvčat v 11. až 12. roce, u chlapců v 14. až 16. roce). Od tohoto okamžiku množství tělesného tuku nadále stoupá a dosahuje svého vrcholu v 5. dekádě života u mužů a v 6. dekádě života u žen. Následně dochází opět k poklesu (Norton & Olds, 1996). V průběhu stárnutí se také mění relativní rozložení podkožního tuku. U nejmladších dětí je maximum podkožního tuku uloženo na končetinách a minimum na trupu, u dospělých a hlavně starších osob je ho naopak nejvíce na trupu (Pařízková, 1973). Změny v množství podkožního tuku zachycuje graf č. 1.

Graf 1: Změny tělesného tuku v průběhu života (Norton & Olds, 1996)




Zdroj: Převzato z Anthropometrica: a textbook of body measurement for sports and health courses.
Vysvětlivky: ∑ 6 skinfolds – součet tloušťky šesti kožních řas (triceps, subskapulární,biceps, supraspinální, abdominální, lýtko). Změny v součtu tloušťky kožních řas v průběhu života. Databáze australské populace (n = 3200).

## 1.3 Klasifikace obezity

WHO využívá ke klasifikaci tělesné hmotnosti hodnoty BMI, přehled kategorií uvádí tabulka č. 1. Typické hodnoty BF% pro různé populační skupiny definuje American Council on Exercise v tabulce č. 2.

Tab. 1: Klasifikace tělesné hmotnosti dle WHO (1998)

| **Kategorie** | **BMI ($kg/m^2$)** |
|---|---|
| podváha | < 18,5 |
| normální váha | 18,5 - 24,9 |
| nadváha | 25,0 - 29,9 |
| obezita | |
| 1. stupeň<br>2. stupeň<br>3. stupeň | 30,0 - 34,9<br>35,0 - 39,9<br>≥ 40,0 |

Zdroj: http://apps.who.int/bmi/index.jsp?introPage=intro_3.html

Tab. 2: Klasifikace hodnot BF% (podle American Council on Exercise)

| **Kategorie** | **Ženy (%)** | **Muži (%)** |
|---|---|---|
| Esenciální tělesný tuk | 10 – 12 | 2 – 5 |
| Sportovci (profesionálové) | 14 - 20 | 6-13 |
| Sportovci (amatéři) | 21 - 24 | 14 - 17 |
| Přijatelná hodnota | 25 - 31 | 18 - 25 |
| Obezita | ≥ 32 | ≥ 25 |

Zdroj: z http://www.healthchecksystems.com/bodyfat.htm

## 1.4 Etiopatogeneze obezity

Obezita je chronické onemocnění s multifaktoriální etiologií. Rozvíjí se jako důsledek dlouhodobé energetické nerovnováhy, kdy příjem energie překračuje energetickou potřebu konkrétního jedince (Hlúbik et al., 2009). Obezita je kombinací genetických, metabolických, enviromentálních a psychologických faktorů. Jejich procentuální zastoupení v etiopatogenezi obezity se u každého jedince může lišit.

Obezigenní zevní prostředí hraje podstatnou roli ve vzniku a rozvoji nadváhy a obezity. K stěžejním faktorům patří genetická predispozice, která má polygenní charakter. Jeden z těchto genů je označován jako tzv. úsporný gen (thrifty gen), který byl vyselektován tlakem přirozeného výběru a v minulých epochách lidstva zajišťoval přežití. V našich životních podmínkách se úsporný gen jeví ale jako velmi nevýhodný. Genetická výbava jedince s úsporným genem snadněji vede k pozitivní energetické bilanci a následně nadváze a obezitě.

Genetické předpoklady mohou urychlit vznik a rozvoj obezity (obezigenní geny), nebo inhibovat rozvoj obezity (leptogenní geny). Genetické dispozice lze rozdělit na ty, které souvisejí s výběrem, konzumací a metabolizmem základních živin (včetně regulace příjmu potravy, pocitu hladu) a na oblast související s regulací výdeje energie. Regulace příjmu potravy na centrální úrovni (oblast hypothalamu) má hormonální charakter. Faktory zvyšující chuť k jídlu se nazývají orexigenní, faktory snižující chuť k jídlu jsou označovány jako anorexigenní (Hlúbik et al., 2009). Vliv dědičnosti byl prokázán u řady faktorů, které přispívají k rozvoji obezity. Hainer (2004) uvádí tyto faktory:

- snížený klidový a postprandiální energetický výdej
- sníženou spontánní pohybovou aktivitu
- aktivitu enzymu lipoproteinové lipázy a hormon-senzitivní lipázy
- složení kosterního svalu
- schopnost oxidovat lipidy a sacharidy
- citlivost k inzulinu
- chuťové preference tuku a sladkého
- mechanismy regulujících hmotnost v hypotalamu (tzv. bodystat)

Jen méně než 5 % případů obezity vzniká v důsledku různých endokrinopatií. Obezita patří do klinického obrazu některých onemocnění podmíněných postižením v hypothalamo-hypofyzární oblasti (Fröhlichův syndrom, prolaktinom, aj.) Příčinou hypothalamické obezity může být trauma, tumor nebo zánětlivý proces. Obezita může být projevem i některých dalších endokrinopatií, nejčastěji Cushingova syndromu a syndromu polycystických ovarií. Ze vzácnějších příčin se může vyskytnout hypotyreóza, inzulinom, hypogonadismus u mužů a pseudohypoparatyreóza. Příčinou nadměrného ukládání tuku může být i užívání některých léků (Kalousková & Kunešová, 2008).

U více než 95 % obézních je nadměrná hmotnost způsobena pozitivní energetickou bilancí. Energetický příjem i energetický výdej jsou ovlivňovány řadou exogenních a endogenních (převážně genetických faktorů), problém obezity proto nelze zjednodušovat na nekázeň v jídle, nadměrný přívod energie a nedostatek pohybu. Pozitivní energetická bilance působící krátkodobě obvykle aktivuje u zdravých jedinců fyziologické regulační mechanismy, které zabrání vzestupu hmotnosti. U jedinců náchylných ke vzniku obezity bývají tyto regulační mechanismy porušeny. Dlouhodobá pozitivní energetická bilance však vede k hromadění tukových zásob a vzestupu hmotnosti i u jedinců, kteří nemají predispozice pro rozvoj obezity (Kytnarová, 2008).

Kytnarová (2008) dále uvádí, že doporučené denní dávky energie jsou u nás překračovány o 20 – 25 %. Z živin sehrává při rozvoji obezity nejdůležitější úlohu nadměrný příjem tuků, protože tuky mají vysokou kalorickou denzitu a malou sytící schopnost. Tuky by neměly tvořit více než 30 % celkového energetického příjmu.

## 1.5 Komplikace obezity

Obezita výrazně zhoršuje kvalitu života postižených jedinců, a to nejen po stránce fyzické, ale i psychické. Ovlivnění kvality života je závislé na stupni nadváhy, věku a pohlaví. Nadváha a obezita zvyšují riziko vzniku řady onemocnění. Podstatnou roli v rozvoji metabolických a kardiovaskulárních komplikací hraje především viscerální tuk. Komplikace nadváhy a obezity vedou k vyšší nemocnosti a k předčasnému úmrtí pacientů. Dlouhodobý pokles hmotnosti již o 5 - 10 % původní váhy vede u obézních k významnému snížení zdravotních rizik. Klesá krevní tlak, snižuje se inzulinová rezistence, upravuje se metabolizmus lipidů a sacharidů. S redukcí hmotnosti může pacient prodloužit délku svého

života, má sníženou spotřebu léků a klesají tak i ekonomické komplikace obezity (Kalousková & Kunešová, 2008).

Tab. 3: Přehled komplikací obezity (Kalousková & Kunešová, 2008)

| **Skupina zdravotních komplikací** | **Zdravotní komplikace** |
|---|---|
| 1. Metabolické | Inzulinorezistence, diabetes mellitus<br>Poruchy metabolizmu lipidů<br>Hyperurikemie<br>Zvýšená koncentrace fibrinogenu a PAI-1 |
| 2. Kardiovaskulární | Ischemická choroba srdeční<br>Hypertenze<br>Snížená kontraktilita myokardu, srdeční selhání<br>Arytmie a náhlá smrt<br>Cévní mozkové příhody<br>Tromboembolická nemoc<br>Varixy |
| 3. Respirační | Pikwickův syndrom<br>Syndrom spánkové apnoe |
| 4. Endokrinní | Hyperestrinizmus (při zvýšené aromatizaci androgenů na estrogeny v tukové tkáni)<br>Hyperandrogenizmus u žen<br>Hypogonadizmus u mužů s těžkou obezitou<br>Hyperkortizolizmus s poruchou supresibility sekrece kortizonu<br>Snížená sekrece růstového hormonu<br>Změněná aktivita sympatoadrenálního systému |
| 5. Gynekologické | Poruchy menstruačního cyklu a infertilita<br>Zvýšený výskyt karcinomu ovaria, cervixu dělohy, endometria a prsu (vliv hyperestrinizmu)<br>Komplikace v těhotenství a při porodu<br>Záněty |
| 6. Gastrointestinální | Hiátová hernie a gastroesofageální reflux<br>Steatóza jater, cholelitiáza, cholecystitida, pankreatitida |
| 7. Chirurgické a ortopedické | Horší hojení ran, kýly, úrazy<br>Degenerativní onemocnění kloubů a páteře, zejm. gonartróza a coxartróza |
| 8. Kožní | Ekzémy, mykózy, strie, celulitida<br>Hypertrichóza, hirsutizmus |
| 9. Psychosociální | Společenská diskriminace<br>Deprese, úzkost, poruchy příjmu potravy |

Zdroj: Medicína pro praxi, 5 (1), 7.

## 1.6. Léčba obezity

Česká obezitologická společnost definovala v roce 1998 léčebné standardy pro terapii obezity a také cíle, jichž by se mělo při léčbě dosáhnout. Léčba obezity je komplexní proces, zahrnující více léčebných postupů. Pro úspěšnost redukčního režimu je nezbytným předpokladem dostatečná motivace pacienta k léčbě. Pacienti bývají k léčbě nejčastěji motivováni z důvodů zdravotních, společenských a estetických.

Obezita je dnes léčena kombinací 5 postupů: dietoterapie, psychoterapie, fyzická aktivita, chirurgická léčba, farmakoterapie. Nejdůležitější (ale zároveň nejproblematičtější) je dietoterapie. I přesto, že redukční režim může znamenat více či méně omezený příjem potravy ve smyslu kvantitativním i kvalitativním, každá redukční dieta by měla být dostatečně pestrá. A to natolik, aby nevznikl žádný deficit živin, vitamínů ani minerálních látek. V redukčních režimech je nejdůležitějším a dlouhodobě nejlépe snesitelným opatřením omezení tuků. S klesajícím obsahem tuku v potravě ale částečně klesá i její chutnost, což je určitá daň za dosažení vhodné tělesné hmotnosti a celkového zlepšení zdravotního stavu (Hainer, 2004).

Nedílnou součástí každého redukčního režimu je pohybová aktivita. Omezuje vytváření tukové tkáně, přispívá k redukci jejího množství a zvyšuje celkový energetický výdej. V psychoterapii je třeba modifikovat stravovací a pohybové návyky, celkově upravit životní styl a pacienta podporovat a motivovat.

Farmakoterapie obezity je doporučena u obézních pacientů, selhává-li nefarmakologická léčba, kdy během 3 měsíců nebylo dosaženo váhového úbytku alespoň 5 % původní hmotnosti. Účelem je hlavně zvýšení compliance pacienta nebo dlouhodobého udržení hmotnostního úbytku. Farmakoterapie je doporučena i u pacientů s BMI 25 – 29,9 kg/m$^2$, jsou-li přítomná kardiovaskulární a metabolická rizika.

K dlouhodobé léčbě jsou indikovány sibutramin, orlistat a nově i rimonabant. Sibutramin (Meridia, Lindaxa) působí v CNS v hypotalamu na centrum sytosti, kde inhibuje zpětné vychytávání serotoninu a noradrenalinu, navozuje pocit sytosti a ovlivňuje energetický výdej. Orlistat (Xenical) inhibuje střevní lipázy v zažívacím traktu, tím snižuje cca o 30 % vstřebávání tuku z trávicí trubice a nevstřebaný tuk odchází stolicí (Kalousková & Kunešová, 2008).

Cílem chirurgické terapie je navození pocitu brzkého nasycení a tedy snížení energetického příjmu bez většího pocitu hladu. Nejčastějším bariatrickým výkonem prováděným v ČR je bandáž žaludku. Principem operace je zaškrcení žaludku do tvaru přesýpacích hodin, vznikne tak malá proximální část žaludku o objemu kolem do 2 ml. Pocit nasycení přetrvává i několik hodin po jídle, než potrava projde zúženou částí (Kalousková & Kunešová, 2008).

## 1.7 Prevalence nadváhy a obezity

Prevalence nadváhy a obezity v posledních desetiletích dramaticky stoupá. Tento fakt byl dokumentován výsledky mnoha epidemiologických studií. Jednou z nejrozsáhlejších byla multicentrická studie MONICA (MONItoring of Trends and Determinants in CAardiovascular Diseases) realizovaná v průběhu 80. a 90. let 20. století v řadě států světa včetně ČR. Na základě této studie prohlásila Světová zdravotnická organizace v roce 1997 obezitu za epidemii 21. století.

Vzrůstající prevalence obezity se netýká pouze rozvinutých zemí, ale i zemí rozvojových. Prevalence vzrůstá nejen u dospělých, ale také u dětí. Ve studii MONICA byl prokázán vzestupný trend nárůstu hmotnosti již od 30. roku věku především u žen. Na vzniku obezity se podílí také konkrétní sociálně kulturní a ekonomická situace. Studie prokazuje podstatně vyšší prevalenci obezity u žen se základním vzděláním (Hlúbik, 2002). Tabulka č. 4 shrnuje faktory, které ovlivňují vznik a rozvoj nadváhy a obezity.

Tab. 4: Prevalence obezity - faktory ovlivnění (Hlúbik, 2002)

| | |
|---|---|
| 1. demografické | • věk: vzestup výskytu obézních s věkem, max kolem 60 let<br>• pohlaví: ženy – častější výskyt<br>• etnické vlivy |
| 2. sociální a kulturní | • vzdělání: nižší – zvýšené riziko obezity<br>• finanční situace: horší – zvýšené riziko obezity<br>• vstup do manželství – zvýšené riziko obezity |
| 3. biologické | • těhotenství, mateřství – zvýšené riziko obezity<br>• nemoci, farmakoterapie |
| 4. behaviorální | • dietní zvyklosti<br>• kouření<br>• alkohol<br>• fyzická aktivita |

Zdroj: Interní medicína pro praxi, 7, 315.

V současné době má více než 1 miliarda lidí nadměrnou hmotnost, z toho více než 300 milionů je obézních. V některých zemích je situace příznivější, pouze 5 % populace je obézní v Číně, Japonsku a v některých státech Afriky. Naopak kritická situace je v pacifické oblasti, kde například ve státě Samoa dosahuje prevalence obezity ve městech až 75 %. Ale i v Číně, kde je prevalence relativně nízká, je v některých městech až 20 % obézních (WHO, 2010).

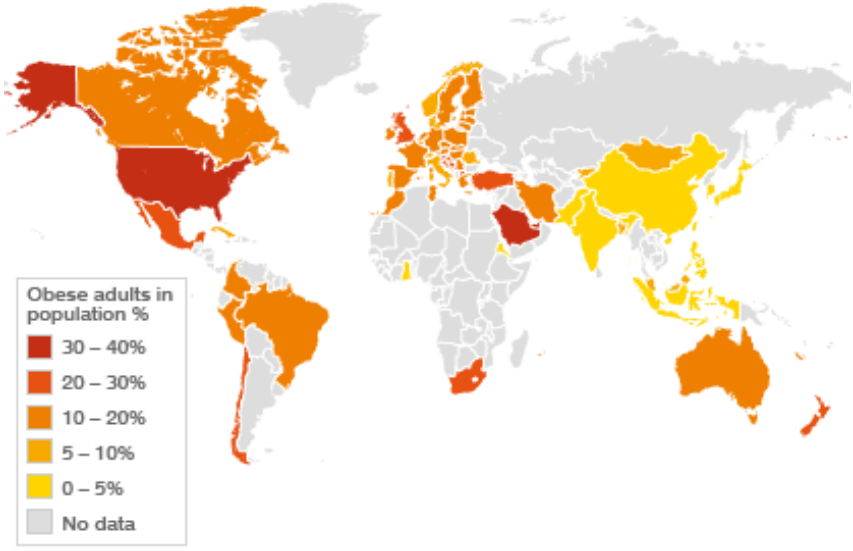
U japonských dětí se prevalence obezity odhaduje až na 10 %. V Brazílii je dnes vyšší výskyt obezity u dětí než v USA. V Evropě se nejvíce obézních dětí vyskytuje na Maltě, ve Španělsku, Portugalsku a v Itálii.

V Indii stále většina obyvatel trpí podvýživou, ale v indické Kalkatě je paradoxně více obézních než v celém Švédsku. Pro rozvojové země je tedy typický vyšší výskyt obézních v městských aglomeracích. V Evropě je obvykle vyšší výskyt obezity u venkovské populace (Hainer, Kunešová et al., 1997).

Více než 50 % obyvatel většiny evropských zemí trpí nadváhou nebo obezitou. Přímo obezitou je postiženo 10 - 25 % Evropanů a 10 – 25 % Evropanek. Ve všech epidemiologických studií se státy střední a východní Evropy řadí do čela evropského žebříčku prevalence obezity. U většiny evropských zemí je vždy výskyt obezity u žen o 3 - 6 % vyšší než u mužů. Nápadný je enormní vzestup prevalence obezity za posledních 10 - 25 let. Ve Spojených státech je obézních asi 30 % dospělých a 11 % dětí (mají BMI nad 95. percentilem). Prevalence nadváhy a obezity ve Spojených státech ročně stoupá o 0,5 % (Rybka, 2007). V bohatých zemích jako je Kuvajt, Spojené arabské emiráty a Saudská Arábie je výskyt odhadován na 12 - 32 % u mužů a 18 - 44 % u žen (Hainer, Kunešová et al., 1997).

S přejímáním západního pohodlnějšího stylu se obezita stává problémem i v zemích, kde se dříve nevyskytovala (Latinská Amerika, jihovýchodní Asie - hlavně zmiňovaná pacifická oblast). Hainer (2004) uvádí, že u populací, u nichž v minulosti přežili období hladu jedinci s úsporným genem (thrifty genem), lze očekávat rychlý nárůst prevalence obezity jako odpověď na dostatek stravy a omezení pohybu.

Obr. 1: Prevalence nadváhy a obezity ve světě podle WHO (2008)




Zdroj: http://www.who.int/topics/obesity/en/

## Prevalence nadváhy a obezity v ČR

Na konci 90. let se Česká republika zařadila k zemím s nejvyšší frekvencí výskytu nadváhy a obezity. A to nejen v evropském měřítku, ale dokonce i v celosvětovém. Obezita nebo nadváha postihuje více než 70 % mužů a přes 50 % žen české populace. Přímo obezitou trpí 22 % českých mužů a 25 % českých žen. Prevalence nadváhy a obezity je vyšší u populace nad 45 let. V tomto věku má normální hmotnost jen 30 % osob (Hlúbik, 2002).

Co se týče dětí, v současné době je v ČR asi 10 % dětí obézních a až 70 - 80 % těchto dětí zůstává obézních i v dospělosti. Naopak asi 30 % obézních dospělých mělo nadměrnou hmotnost již v dětském věku (Kytnarová, 2008).

V ČR se prevencí a léčbou obezity zabývá Národní rada pro obezitu (NRO), která byla zřízena jako poradní orgán Ministerstva zdravotnictví. Prvním výstupem práce NRO jsou výsledky epidemiologického šetření, provedeného v listopadu 2005 firmou STEM/MARK ve spolupráci s Českou obezitologickou společností (Kunešová, 2006).

Studie ukázala, jak významný vliv má nadváha a obezita na výskyt zdravotních komplikací. Pouhá nadváha zvyšuje riziko vzniku zvýšené hladiny tuků v krvi 4x, zvýšeného krevního tlaku a nemocí srdce a cév více než 3x, cukrovky 2,5x, dny a onemocnění kloubů a

páteře 2x. U obezity riziko ještě stoupá, v případě cukrovky 7x, zvýšené hladiny tuků v krvi a zvýšeného krevního tlaku více než 5x, nemocí srdce a cév 5x, nemocí žlučníku, dny a onemocnění kloubů a páteře 2,5 až 3x. Z uvedených zjištění vyplývá, že obezita je významný rizikový faktor pro vznik řady onemocnění. Je proto nutné vzniku obezity předcházet. A pokud se už obezita rozvinula, je třeba ji co nejdříve léčit. Svoji hmotnost by měli sledovat zvláště lidé, kteří mají obezitu (případně cukrovku) v rodině (Kunešová, 2006).

# 2. Tuková tkáň

## 2.1 Charakteristika tukové tkáně

Tuková tkáň (textus adiposus) je speciálním typem pojiva. Společně s rosolovitou, elastickou a retikulární tkání je řazena mezi tzv. speciální vazivo. Tuková tkáň (TT) je derivátem mezodermu, charakteristické jsou pro ni buňky - adipocyty, které tvoří rozsáhlé agregáty. Adipocyty lze nalézt roztroušené i v jiných typech vaziva. Tuková tkáň obsahuje rozsáhlou síť kolagenových vláken, na které jsou ostatní buňky často fixovány. Jsou zde přítomny cévy, makrofágy, fibroblasty, preadipocity, histiocyty, lymfocyty, nervové buňky a další.

## 2.2. Vývoj tukové tkáně

TT se vyvíjí z adipoblastů, které dále proliferují, a jejich dalším vývojem vznikají preadipocyty a adipocyty. Dle typu buněk, barvy a lokalizace lze rozlišit dva základní typy TT. Běžnější je bílý (žlutý) unilokulární typ. Ten je tvořen buňkami, které mají jednu centrální kapénku tuku se zásobními triacylglyceroly (TAG) a je zde málo mitochondrií. Naopak hnědý multilokulární typ TT obsahuje adipocyty s četnými mitochondriemi a mají jen malé tukové kapénky (Haluzík, 2008). Většina adipocytů hnědé TT má vlastní nervové zakončení sympatiku, u bílé TT je to jen 3 - 5 % (Hainer et al., 2004).

Vývoj tukové tkáně ovlivňují transkripční faktory, což jsou intracelulární bílkoviny, které jsou schopny inhibovat nebo aktivovat expresi genů pro diferenciaci adipocytů nebo vznik lipogenních enzymů. Příkladem může být transkripční faktor PPAR gama, který zvyšuje expresi genů pro lipogenní enzymy. Faktory PPAR alfa a PPAR delta zase indukují oxidaci lipidů (Hainer et al., 2004).

## 2.3 Typy tukové tkáně

### Multilokulární tuková tkáň

Tento typ TT je zbarven do hněda, což je způsobeno hustou kapilární sítí a četnými mitochondriemi, obsahující barevné cytochromy. Adipocyty mají kulovité centrálně uložené jádro. V jejich cytoplazmě se nachází mnoho lipidových kapének a tkáň má tak pěnitý vzhled.

Hnědá tuková tkáň existuje pouze u savců (u donošeného lidského novorozence v množství 30 – 40 g), a to v typických lokalizacích: v podkoží mezi lopatkami, mezi krčními svaly, okolo thymu, aorty a kolem ledvin.

Dlouho přetrvával názor, že hnědá TT se vyskytuje pouze v embryonálním, fetálním a novorozeneckém období a po porodu rychle mizí. Existence této TT u dospělých je stále předmětem mnoha diskuzí. Díky moderním zobrazovacím metodám PET a CT byly identifikovány shluky hnědých adipocytů v různých částech lidského těla. Nálezy jsou však u různých jedinců velmi variabilní (Strunecká et al., 2006). Hainera et al. (2004) zmiňuje, že i v 8. dekádě života lze najít v bílé TT roztroušené ostrůvky multilokulárních adipocytů.

Hnědá TT je u novorozence rozprostřena na mnoha místech těla. Je jediným typem savčí tkáně, jejíž primární funkcí je produkovat teplo. Je-li organismus vystaven chladu (nebo také při zvýšeném příjmu potravy), z nervových zakončení sympatiku je uvolněn noradrenalin a aktivuje v adipocytech prostřednictvím beta-adrenergních receptorů hormon senzitivní lipázu (HSL). HSL rozkládá TAG na mastné kyseliny (MK) a glycerol. Mastné kyseliny vstupují do mitochondrií a jsou zde oxidovány. Při reakci jsou z mitochondrií vypuzovány protony, které jsou však následně vraceny zpět díky přítomnosti termogeninu-odpřahujícího proteinu (uncoupling protein, UCP). Stimulované mitochondrie tak odpojují proces oxidativní fosforylace a veškerá chemická energie se mění na teplo. Ohřátá krev cirkuluje a je tak ohříván celý organismus. (Jelínek et al., 2002, Hainer et al., 2004).

Mezi významné látky ovlivňující expresi a účinnost metabolismu patří hormony štítné žlázy. I některé typy nádorů (např. adenokarcinom) mohou indukovat tvorbu UCP prostřednictvím lipidy-mobilizujícího faktoru (LPM).

## Unilokulární tuková tkáň

V závislosti na dietě je tato TT zabarvena bíle až žlutě (např. karoteny barví tkáň víc do žluta) a označuje se tedy jako bílá TT. U dospělých převažuje výhradně tento typ tukové tkáně a nachází se téměř všude mimo oční víčka, penis, skrotum a ušní boltec. Věk a pohlaví jsou prvotní faktory, které ovlivňují distribuci tukových zásob. U novorozenců se podkožní vrstva tuku vyskytuje rovnoměrně rozložená po celém těle a s přibývajícím věkem jsou jednotlivé partie těla zásobeny více nebo méně. To je ovlivňováno především pohlavními hormony a také adrenokortikotropním hormonem, který kontroluje akumulaci tuku (Jelínek et al., 2002).

Bílá tuková tkáň TT obsahuje až 85 % lipidů. Z tohoto množství představuje více než 90 % TAG, zbytek tvoří volné MK, monoacylglyceroly (MAG), diacylglyceroly (DAG), fosfolipidy, cholesterol a estery cholesterolu. Oproti ostatním tkáním obsahuje TT relativně nízké množství vody 10 až 14 %, zatímco svalová tkáň až 99 %.

V TT se vyskytuje přibližně 30 různých MK, ale jen 7 z nich tvoří více než 90 %, a to kyselina olejová (35 – 45 % z celkového množství MK), dále kyselina linolová, stearová, myristová, palmitoolejová a vakcenová. Individuální rozdíly v obsahu těchto 7 převažujících MK jsou značné a vzhledem k pomalejšímu metabolickému obratu TT odráží jejich výskyt složení potravy za posledních 12 měsíců. Největší rozdíly mezi jednotlivci byly nalezeny v obsahu kyseliny olejové, palmitoolejové a linolové. Co se týče rozdílné distribuce různých MK v jednotlivých tělesných partiích, největší rozdíly byly pozorovány v obsahu kyseliny olejové, palmitoolejové a stearové (Calder et al., 1992).

V tukových buňkách jsou uloženy lipidy ve formě TAG, které mají původ hl. v tucích z potravy a přichází do tkáně ve formě chylomikronů. Naopak TAG syntetizované v játrech jsou do TT transportovány jako lipoproteiny o velmi nízké hustotě (very low density lipoproteins, VLDL). TAG mohou také vznikat přímo v tukových buňkách syntézou volných mastných kyselin (free fatty acids, FFA) a glycerolu z glukózy. Tento proces je řízený inzulínem. Inzulín dále podporuje tvorbu enzymu lipoproteinové lipázy (LPL) a stimuluje ukládání glukózy do tukových buněk. U člověka je LPL hlavním regulátorem ukládání tuku, z některých studií ale vyplývá, že až 40 % celkové syntézy tuků může probíhat přímo v adipocytech (Hainer et al., 2004). Tuky v potravě mají naopak inhibiční vliv na syntézu MK v TT i játrech, proto by zde beztuková dieta naopak způsobovala zvýšenou syntézu MK a není (i z mnoha dalších důvodů) vhodná.

Mění-li se nutriční stav jedince, kolísá obsah TAG v adipocytech a dochází ke změnám jejich velikosti i metabolickým vlastnostem. Citlivost na inzulín u obézních pacientů je snížená a jejich zvětšené adipocyty produkují více prozánětlivých a méně protizánětlivých faktorů než u štíhlých (Haluzík, 2008).

Hromadění tuku v adipocytech začíná ve 30. týdnu intrauterinního života. Novorozenec je jeden z mála savců, který už má ve svém tukovém vazivu tuk. Při nadměrném příjmu potravy dochází nejprve k hypertrofickému nárůstu TT, kdy adipocyty zvětšují svoji velikost, až dosáhnou určité hraniční váhy (cca 1 mg). V momentě, kdy je zásobní kapacita adipocytu

překročena, je stimulována diferenciace dalších preadipocytů a dochází k hyperplastickému nárůstu TT. Počet tukových buněk tedy může snadno přibývat, redukovat jejich počet ale není možné. Dochází-li ke snížení hmotnosti jedince, adipocyty pouze zmenšují svůj objem, ale nikoli počet. Jak uvádějí Bray et al. (2004), podle většiny dosavadních studií nebyl zjištěn snížený počet tukových buněk, a to i přes extrémní redukci bílé tukové tkáně o 99%.

Ze studií na zvířatech i lidech vyplývá, že vývoj a funkce adipocytů se liší podle svého anatomického uložení. Tento fakt Bray et al. (2004) vysvětlují tak, že v různě lokalizované TT existuje rozdílná distribuce hormonálních receptorů a jiné prostředí ve smyslu krevního zásobení a inervace. Z hlediska distribuce lze rozlišit TT podkožní (subkutánní) a interní (viscerální, abdominální).

## 2.5 Funkce tukové tkáně

Tuková tkáň je největším zdroj energie a také zdroj nejefektivněji skladovaným ve formě TAG. Oproti energii uložené ve formě glykogenu, mají TAG nižší hmotnost a vyšší kalorickou hodnotu (TAG - 9,3 kcal/g, glykogen - 4,1 kcal/g). Tuk vede špatně teplo, je to výborný tepelný izolátor. Ve formě polštářů na ploskách nohou a dlaních má funkci mechanické ochrany - adsorbuje otřesy při nárazech, vyplňuje prostory mezi orgány, některé fixuje ve své poloze, a tak je mechanicky chrání (Jelínek et al., 2002).

Tradičně byly uváděny pouze výše zmíněné funkce a na TT se pohlíželo jako na pasivní zásobárnu energie. Počátkem 90. let minulého století bylo ale zjištěno, že TT je překvapivě velmi aktivní orgán s intenzívní endokrinní funkcí. Tento objev znamenal zásadní zlom v dosavadním pohledu vědců na tuto tkáň. (Haluzík, 2008) V TT jsou produkovány hormony, růstové faktory, imunokompetentní buňky aj. Zajímavé je, že metabolicky aktivnější je viscerální TT, která má menší velikost adipocytů a její produkty se dostávají portálním oběhem přímo do jater. Pokud se nadměrně hromadí TT především v abdominální oblasti, je obezita označováno jako centrální (androidní). Z hlediska zdravotních komplikací je tento typ obezity mnohem rizikovější. Hromadění TT subkutánně (hlavně v oblasti hýždí a boků) je označováno jako obezita gynoidní. V poslední době je intenzívně zkoumán 3. Typ TT – tzv. epikardiální, která obaluje srdeční sval a je také velmi metabolicky aktivní (Haluzík, 2008).

Množství tukových zásob nezůstává v průběhu života konstantní. V prvním roce života se procento tělesného tuku rapidně zvýší a dosahuje relativně vyšších hodnot, pak následuje postupné snižování podkožního tuku s nejnižšími hodnotami kolem 6. - 8. roku. V dalších

letech zásoby podkožního tuku opět rychle narůstají s výjimkou růstového spurtu (u dívek v 11. až 12. roce, u chlapců ve 14. - 16. roce). Od tohoto období množství tělesného tuku pozvolna narůstá a dosahuje maximálních hodnot v 6. dekádě u mužů a 7. dekádě u žen (Norton & Olds, 1996).

Při mobilizaci lipidů neprobíhá jejich odbourávání stejnoměrně. Nejprve jsou mobilizovány zásoby v podkoží, retroperitoneu a mezenteriu. Naopak na ploskách nohou a dlaních jsou lipidy metabolizovány až po dlouhodobém hladovění (Jelínek et al., 2002).

Tab. 5: Přehled funkcí tukové tkáně (Haluzík, 2008)

| | |
|---|---|
| Funkce tukové tkáně | zásobárna energie |
| | tepelně-izolační funkce |
| | endokrinní funkce |
| | mechanická ochrana vnitřních orgánů |
| | konverze některých hormonálních prekurzorů na aktivní hormony |
| | místo ukládaní lipofilních toxinů a léků |

Zdroj: Postgraduální medicína 6 (10), 626.

Tab. 6: Přehled nejdůležitějších hormonů produkovaných adipocyty (Haluzík, 2008)

| **název hormonu** | **význam v organizmu** |
|---|---|
| leptin | regulace energetické homeostázy |
| adiponektin | antiaterogenní účinky, zvýšení inzulínové senzitivity |
| rezistin | snížení inzulínové senzitivity, účast v regulaci zánětu |
| visfatin | inzulín-mimetický efekt |
| angiotezinogen | regulace krevního tlaku |
| IGF-1 | regulace růstu a metabolických dějů |
| TNF alfa | regulace zánětu, snížení inzulínové senzitivity |
| RBP-4 | regulace hladin retinolu, indukce inzulínové rezistence |
| interleukin 6 | regulace zánětu, modulace inzulínové senzitivity |

Zdroj: Postgraduální medicína 6 (10), 626.

## 2.6 Metabolizmus bílé tukové tkáně

Bílá TT je významným endokrinním a parakrinním orgánem. Její metabolické vlastnosti se liší v závislosti na anatomickém uložení v těle a na vývojové formě adipocytů ve tkáni. Adipocyty jsou hlavním místem metabolizmu lipidů a skladování TAG. Uvolňování MK z tukové tkáně do krevního oběhu je závislé na aktivitě HSL, která je inhibována inzulinem vyplaveným z pankreatu ihned po příjmu potravy. Změny hladin MK v krvi pak přímo ovlivňují i syntézu TAG v játrech.

Při hladovění dochází ke vzestupu krevních hladin noradrenalinu, který působí přes beta adrenergní receptory v TT, aktivuje HSL a do krve se vyplaví MK. V abdominálním (viscerálním) tuku je lipolytický efekt noradrenalinu výraznější než v tuku podkožním, zde byl naopak pozorován výraznější antilipolytický efekt inzulinu.

Opačný proces, tedy vstup MK do adipocytů, je závislý na aktivitě LPL, která extrahuje MK tím, že hydrolyzuje TAG. Menší význam byl přikládán vzniku MK přímo v adipocytech. Podle některých nových studií je ale syntéza MK de novo mnohem rozsáhlejší a může zahrnovat až 40 % celotělové syntézy MK (Hainer et al., 2004).

Dochází-li k nadměrnému hromadění TT jako je tomu při obezitě, je v TT utlumen vliv inzulinu a následně vázne oxidace glukózy, protože inzulin nedostatečně stimuluje vstup pyruvátu do Krebsova cyklu. Vzniká tak více laktátu, ten je transponován do jater a stimuluje glukoneogenezi. Dalším důsledkem inzulinové rezistence je pokles tvorby glycerol-3-fosfátu během glykolýzy, proto chybí substrát pro reesterifikaci MK do TAG a MK jsou ve větším množství vyplavovány z adipocytů.

Ke zvýšené hladině MK v krvi přispívá i nedostatečně inhibovaná lipolýza (především v abdominálním tuku). Mění se i odpověď organizmu na katecholaminy, v podkoží klesá jejich lipolytický efekt a naopak abdominálně opět stoupá. Výsledkem všech metabolických změn TT je menší schopnost ukládat přebytečné TAG a dál narůstat (Hainer et al., 2004).

Jak uvádí Masopust (2008), člověk je relativně dobře adaptován na překonání hladovění, ale nedokáže "beztrestně" zvládat chronický přebytek energie způsobený nadměrným přísunem energie v potravě. Přebytek se tak stává zátěží a z patofyziologického hlediska stresorem. Přebytek metabolické energie zvyšuje množství reaktivních forem kyslíku a dusíku, které nestačí zneškodnit běžná hladina antioxidantů, a tyto vysoce reaktivní látky

navozují oxidační stres. Odpovědí na jakýkoli závažný stres je aktivace mechanismů první obranné linie tj. systému přirozené imunity, začínající reakcí akutní fáze. Její součástí je mobilizace monocytů, makrofágů, adipocytů a endotelových buněk, které začnou vylučovat prozánětlivé cytokiny (interleukin-1, interleukin-6, TNF alfa) působící zvýšenou produkci proteinů akutní fáze v játrech. Viscerální TT lokální stimulací TNF alfa expanduje. Preadipocyty se mění v makrofágy, které jsou dalším zdrojem cytokinů. Všechny tyto i další doprovodné mechanismy mají původně neutralizovat stresora a napravit jeho škodlivé účinky. Při neustávající zátěži nadbytku přijímané energie potravou se „systém nakonec zhroutí a obrátí proti vlastnímu organizmu“ (Masopust, J., 2005).

# 3. Tělesné složení, modely

Zjištění tělesného složení a jeho pravidelné monitorování patří do základního klinického vyšetření a stalo se i běžnou součástí tréninkové praxe. Analýza poskytuje základní informace pro stanovení léčebného postupu řady onemocnění a zpětnou kontrolu při výživové intervenci a farmakologické terapii. V tréninkové praxi nachází svůj význam jako kontrola působení tréninkového zatížení, pomáhá diagnostikovat přetrénování a zhodnotit výživový režim (Skorocká et al., 2004).

Podle Pařízkové (1973) představuje složení těla jednu z nejproměnlivějších charakteristik lidského organizmu a podléhá změnám v průběhu celého života nejen v závislosti na stárnutí, ale především podle kalorické rovnováhy a rychlosti obratu energie.

Tělesná výška, hmotnost a různé somatometrické indexy jsou kvantitativní kritéria, která podávají pouze orientační informaci o tělesné konstituci a nejsou schopny vystihnout komplexní charakteristiku. Tělesná hmotnost je složitý parametr, který je třeba posuzovat podle analýzy jednotlivých tělesných komponent a teprve na základě tohoto zhodnocení posuzovat optimální váhu. Složení těla je ovlivňováno geneticky a formováno vnějšími faktory, především pohybovou aktivitou, výživovými zvyklostmi a zdravotním stavem (Riegerová & Ulbrichová, 1993).

S myšlenkou frakcionace tělesné hmotnosti přišel jako první český antropolog Jindřich Matiegka (1921), který také jako první v roce 1985 uskutečnil rozsáhlý komplexní výzkum tělesné stavby populace různých věkových skupin. Matiegka hodnotil podíl jednotlivých tkání na hmotnosti těla s cílem analyzovat tělesné složení (body composition, BC).

Myšlenku frakcionace BC dále rozvinul například Wang et al. (1992). Lidský organizmus je tvořen komponentami a ty lze uspořádat do pěti úrovní (5-level model), které tvoří modely tělesného složení (atomický, molekulární, buněčný, tkáňový a celotělový). Na každé úrovni spolu komponenty tvoří komplexní celek. Model vyšší úrovně je vždy unikátní, ale zachovává si jisté charakteristiky modelu nižší úrovně. Příkladem může být TT - komponenta tkáňového modelu, která zahrnuje adipocyty v rámci buněčného modelu, lipidy na úrovni molekulárního modelu a atomy uhlíku, které tvoří součást atomického modelu (Heymsfield & Wang, 1997).

Pěti stupňový model přináší nové možnosti při hodnocení BC. Dřívější studie byly často omezeny pouze na hodnocení antropometrických změn na úrovni celotělového modelu a soustředily se hlavně na změnu tukové hmoty na buněčné úrovni. Jen málo studií se věnovalo tomu, jak obezita ovlivňuje BC na dalších vyšších nebo nižších úrovních a jaké změny nastávají ve všech úrovních pěti stupňového modelu se změnou tělesné hmotnosti (Heymsfield & Wang, 1997).

## 3.1 Atomický model

Na nejnižší úrovni leží atomický model, jehož základními stavebními kameny jsou samotné prvky. V lidském těle bylo nalezeno 50 různých chemických prvků a jejich distribuce v organizmu je dobře popsána. Pouze 6 prvků (kyslík, uhlík, vodík, dusík, vápník a fosfor) vytváří více než 98 % tělesné hmotnosti. Pouze kyslík pak zaujímá přibližně 60 % celkové tělesné "masy". Zbývajících 44 prvků tvoří méně než 2 % tělesné hmotnosti. Tyto výsledky byly získány z chemické analýzy prováděné na mrtvých tělech a orgánech (Wang et al., 1992).

V současnosti je možné stanovit 98 % prvků obsažených v organizmu pomocí in vivo neutronové aktivační analýzy (IVNAA), a to kvalitativně i kvantitativně. Během vyšetření je pacient vystaven proudu neutronů o vysoké energii, poté je měřeno a analyzováno kompletní spektrum vyzářené pacientem, na jehož základě jsou prvky stanoveny dle známých standardů.

Mezi jednotlivými prvky v organizmu existují vztahy (poměry), které jsou za normálních podmínek (tzv. steady state, dynamická homeostáza) u zdravých jedinců vždy konstantní, i když absolutní množství daného prvku se u každého jedince liší. Tyto vztahy existují nejen mezi komponentami modelu na stejné úrovni, ale i mezi komponentami modelu na nižší a vyšší úrovni navzájem. Heymsfield & Wang (1997) uvádějí některé ze vztahů:

- tuková hmota = 0,80 x TT
- S / N = 0,062 (poměr síra - dusík)
- N / protein = 0,16 (poměr dusík - bílkovina)
- C / TAG = 0,77 (poměr uhlík – triacylglyceroly)

Tab. 7: Tělesné složení na úrovní atomického model, referenční člověk (Wang et al., 1992)

| Prvek | Množství (kg) | Množství (%) |
|---|---|---|
| **kyslík** | **43** | **61** |
| uhlík | 16 | 23 |
| vodík | 7 | 10 |
| dusík | 1,8 | 2,6 |
| vápník | 1,0 | 1,4 |
| fosfor | 0,58 | 0,83 |
| síra | 0,14 | 0,20 |
| draslík | 0,14 | 0,20 |
| sodík | 0,1 | 0,14 |
| chlor | 0,095 | 0,14 |
| hořčík | 0,019 | 0,027 |
| celkem | 69,874 | 99,537 |

Zdroj: American Journal of Clinical Nutrition, 56, 20.

## 3.2 Molekulární model

11 nejvíce zastoupených prvků v lidském organismu (kyslík, uhlík, vodík, dusík, vápník, fosfor, síra, draslík, sodík, chlór, hořčík) zde tvoří více než 100 000 chemických sloučenin. Nejsledovanější je 5 hlavních frakcí, hodnoty jsou vždy uvedeny pro referenčního člověka (RČ - muž, 70 kg).

- Nejvíce zastoupenou frakcí je voda, která zaujímá 60 % hmotnosti.
- Druhá skupina – bílkoviny (proteiny) zahrnuje jednoduché aminokyseliny až po složité nukleoproteiny s průměrnou molekulární hmotností 2257,4 a denzitou 1,34 g/cm$^3$ při 37 °C.
- Třetí skupinu tvoří glykogen jako zásobní forma glukózy v cytoplazmě buněk, především ve svalech a játrech, s průměrnou denzitou 1.52 g/cm$^3$ při 37 °C.
- Čtvrtá skupina zahrnuje minerální látky - skupinu anorganických sloučenin obsahující ve svých strukturách vždy nějaký prvek kovu a nekovové prvky. Nejvíce zastoupeným prvkem je zde vápník, který je z 99 % uložen ve formě hydroxyapatitu v kostech, zde je také z 86 % uložen fosfor.

- Pátou frakci molekulárního modelu tvoří lipidy, které bývají často zaměňovány s pojmem tuky, což je ale kompartment, který patří do modelu vyšší úrovně. Lipidy jsou skupina různorodých organických látek, pro které platí, že jsou nerozpustné ve vodě a rozpustné v organických rozpouštědlech (např. benzen, chloroform atd.). V lidském organizmu bylo identifikováno kolem 50 druhů lipidů. Jednu z podskupin tvoří i nejsledovanější triacylglyceroly (TAG), označované právě jako tuky s průměrnou molekulární hmotností 806 a denzitou 0,90 g/cm$^3$při 37° C. V těle dospělého jedince tvoří tuky přibližně 90 % lipidů (Wang et al., 1992).

Přehled a popis komponent molekulového modelu zahrnuje tabulka č. 8. Experimentálně odvozené vztahy pro některé frakce popisuje tabulka č. Celkovou tělesnou vodu (total body water, TBW) lze změřit například pomocí izotopových dilučních metod a minerály skeletu pomocí duální fotonové absorpciometrie (DEXA). Obě metody budou vysvětleny v následující kapitole. Pro molekulární model platí:

**BWt = FFM + FM**

**FFM = bílkoviny + glykogen + voda + minerální látky**

FFM - fat free mass, beztuková hmota, FM = veškeré lipidy, BWt = body weight (tělesná hmotnost)

Tab. 8: Tělesné složení na úrovní molekulárního modelu – RČ ((Wang et al., 1992).

| **Komponenta** | **Množství (kg)** | **Množství (%)** |
|---|---|---|
| Voda | | |
| ▪ extracelulární | 18 | 26 |
| ▪ intracelulární | 24 | 34 |
| Lipidy | | |
| ▪ esenciální | 1,5 | 2,1 |
| ▪ neesenciální | 12 | 17 |
| Bílkoviny | 10,6 | 15 |
| minerální látky | 3,7 | 5,3 |
| Celkem | 69,8 | 99,4 |

Pozn.: V tabulce není zahrnut glykogen (cca 400g)., zdroj: American Journal of Clinical Nutrition, 56, 20.

Tab. 9: Rovnice pro odhad některých tělesných komponent a referenční metody, ze kterých byly rovnice odvozeny (Heymsfield & Wang, 1997).

| **Rovnice** | **Referenční metoda** |
|---|---|
| FM = 0,65 x BWt - 0,21- 0,21 x Ht + 14,1 | antropometrie |
| FM = 4,95 x BV - 4,50 x BWt | hydrodenzitometrie |
| FM = 1,30 x TBC - 4,45 x TBN - 0,06 x TBCa | neutronová aktivační analýza |
| FFM = 0,85 x $Ht^2/Z$ + 3,04 | bioimpedanční analýza |
| FFM = 5,50 x BWt - 4,95 x BV | hydrodenzitometrie |
| FFM = 1,37 x TBW | izotopová diluční metoda |
| SM = 18,9 x Cre + 4,1 | 24-h exkrece kreatininu |
| Protein = 0,335 x TBW - 2,53 | izotopová diluční metoda |
| Protein = 6,25 x TBN | neutronová aktivační analýza |
| BCM = 213 x TBK | celotělová detekce $^{40}K$ |

Zdroj: Annual Review of Nutrition, 17, 531.
Vysvětlivky: BWt - 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.

## 3.3 Buněčný model

Na buněčné úrovni lze rozlišit 3 hlavní kompartmenty. Buňky, extracelulární tekutinu (extracellular fluid, ECF) a intracelulární tekutinu (intracellular fluid, ICF). V lidském organizmu se vyskytuje přes $10^8$ buněk, které se mohou lišit tvarem, molekulární strukturou, funkcí, typem metabolizmu, distribucí a elektrickou vodivostí. Na základě těchto odlišností vytváří 4 hlavní skupiny: buňky epiteliální, nervové, svalové a pojivové. Buňky obklopuje ECF, která je z 94 % tvořena vodou, a zbytek tvoří organické a anorganické komponenty (extracellular solids, ECS). ECF vytváří prostředí pro výměnu substrátů a tvoří hlavní součást plazmy v intravaskulárním prostoru a intersticiální tekutiny (interstitial fluids, ISF) v extravaskulárním prostoru.

Buněčný model může být popsán následujícími rovnicemi (Wang et al., 1992):

$$\mathbf{BWt = CM + ECF + ECS}$$

- CM = svalové buňky + pojivové buňky + nervové buňky + epiteliální buňky
- ECF = plazma + ISF
- ECS = organické ECS + anorganické ECS

CM - cell mass, buňka, na rozdíl od BCM je zde zahrnuta aktivní buněčná hmota i neaktivní část - tedy zásoby TAG.

Buněčná hmota (body cell mass, BCM) je "aktivní a pracovní" část všech buněk, ve kterých probíhá metabolizmus. U adipocytů je do BCM zahrnována pouze protoplazma, ale nejsou do ní zahrnovány uložené zásoby TAG, které tvoří až 90 % tukové buňky. BCM nelze v současnosti měřit přímo, proto je měřena nepřímo izotopovou diluční metodou při stanovení celkového draslíku v těle nebo pomocí IVNAA.

## 3.4 Tkáňový model

Na úrovni tkáňového modelu je pohlíženo na buňky jako na uspořádané struktury vytvářející společně s ECF a ECS tkáně a orgány. Pro tkáně jsou typické buňky mající stejný vzhled, funkci a původ. Lze rozlišit hlavní typy tkání: nervovou, svalovou, pojivovou, a epiteliální. Pozornost je soustředěna především na svalovou, tukovou a kostní tkáň. Tyto 3 komponenty zaujímají 75 % tělesné hmotnosti. Tuková i kostní tkáň jsou podskupinou pojivové tkáně. Dle distribuce v organizmu lze rozlišit tukovou tkáň subkutánní (podkožní), viscerální, intersticiální a žlutou kostní dřeň.

Orgán je tvořen dvěma a více typů tkáně, které vytvářejí dohromady rozsáhlou funkční jednotku jako je např. kůže, ledviny atd. Více orgánů, které mají příbuzné funkce a navzájem spolu spolupracují, vytvářejí systém (Wang et al., 1992). Celkovou tělesnou hmotnost pak vytvářejí tyto systémy:

**BWt = muskuloskeletární + kožní + nervový + respirační + oběhový + zažívací + vyměšovací + reprodukční + endokrinní systém**

Některé z těchto komponent lze stanovit přímo, např. stanovení subkutánního a viscerálního tuku pomocí axiální CT nebo MR. Jiné komponenty jsou hodnoceny nepřímo,

např. množství kosterní svalové hmoty zjišťované pomocí vyloučeného kreatininu za 24 hodin nebo z celkového tělesného draslíku (TBK) a pomocí IVNAA.

Tab. 10: Tělesné složení na úrovní tkáňového modelu – RČ (Wang et al., 1992).

| **Tkáň (orgán)** | **Množství (kg)** | **Množství (%)** |
|---|---|---|
| kosterní sval | 28 | 40 |
| tuková tkáň | | |
| podkožní tuk | 7,5 | 11 |
| viscerální tuk | 5 | 7,1 |
| intersticiální tuk | 1 | 1,4 |
| žlutá kostní dřeň | 1,5 | 2,1 |
| kost | 5 | 7,1 |
| krev | 5,5 | 7,9 |
| kůže | 2,6 | 3,7 |
| játra | 1,8 | 2,6 |
| CNS | 1,4 | 2 |
| GIT | 1,2 | 1,7 |
| plíce | 1 | 1,4 |

Zdroj: American Journal of Clinical Nutrition, 56, 24.

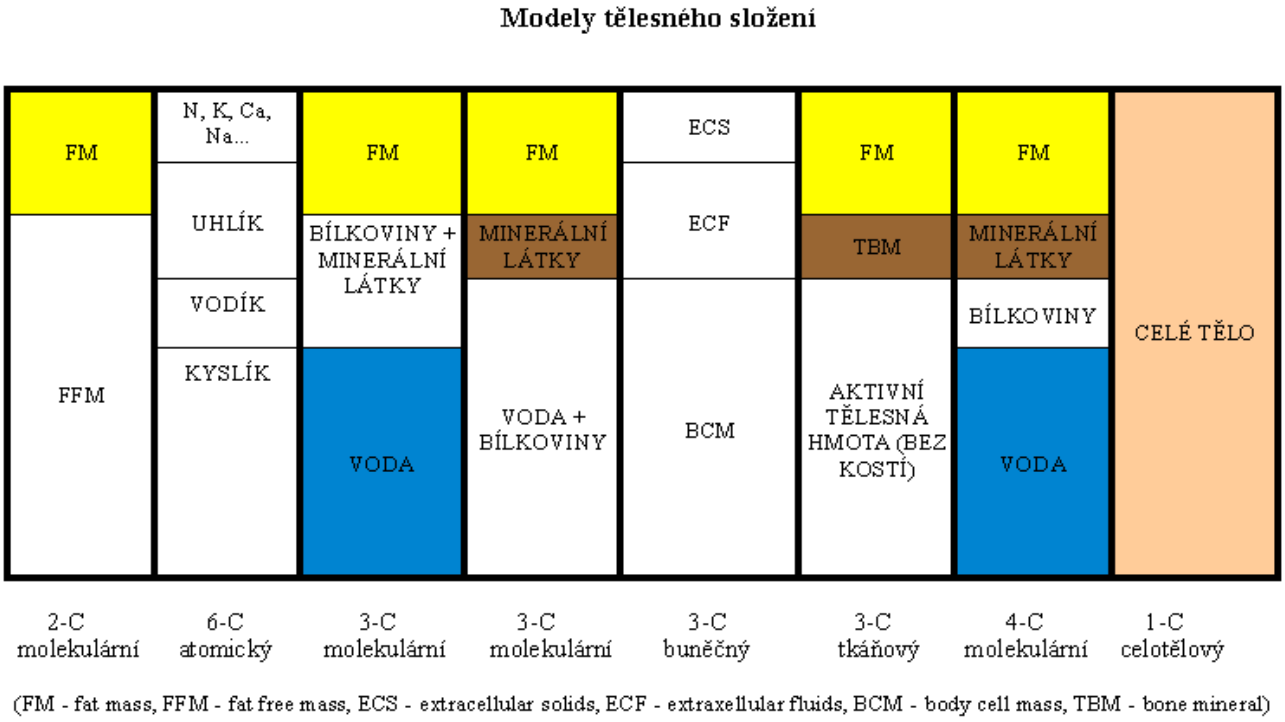
## 3.5 Celotělový model

Na nejvyšší úrovni je tělo vnímáno jako jeden kompartment, který lze charakterizovat tělesnou výškou, hmotnostní a hmotnostně-výškovými poměry. Hodnotí se délkové, šířkové, obvodové rozměry, tloušťka kožní řasy, objem těla a z něj odhadovaná denzita, která je indikátorem množství FFM a FM.

Z hlediska počtu komponent ve výše popsaných modelech lze rozlišit nejjednodušší – dvoukomponentový model (2-C), dále tříkomponentový model (3-C) a čtyřkomponentový model (4-C). Všechny tyto modely jsou podle potřeby analýzy a vybavení pracoviště využívány v klinické praxi. Modely s více než 4 komponentami se v klinické praxi obvykle

nevyužívají. Atomický 6-C model, jehož frakce se stanovují pomocí IVNAA, se využívá k hodnocení referenčních metod pro analýzu tělesného složení. Obrázek č. 1 naznačuje rozdělení tělesných modelů na různých úrovních a zároveň podle počtu komponent.

Obr.1:




Zdroj: Applied Body Composition Assessment (Heyward & Wagner, 2004).

## 3.6 Tělesné modely podle počtu komponent

### Dvoukomponentový model

Jak uvádí Heyward (2006), 2-C model je z praktického hlediska nejpoužívanější. Model vychází z molekulární úrovně, kde jsou rozlišovány dvě základní složky: FM a FFM. Pojem tukuprostá hmota (FFM) není ekvivalentem pojmu aktivní tělesná hmota (lean body mass, LBM). LBM obsahuje oproti FFM navíc malé množství tzv. esenciálních lipidů, špatně odlišitelného tuku, který u mužů tvoří 2 - 3%, u žen 5 - 8 %.

V minulosti vědci neměli dostatečné přístrojové vybavení a nebyli schopni měřit jednotlivé komponenty FFM, byli tedy odkázáni pouze na 2-C model. Díky technickým pokrokům v následujících letech je možné stanovit tělesnou vodu (izotopová diluční metoda), minerální látky (DEXA) a bílkoviny (NAA). Vědci tak mohou využít analýzy multikomponentového

modelu ke zpětnému zpřesnění popisu FFM, ověřit metody a predikční rovnice vycházející z 2-C modelu a vytvořit nové rovnice pro terénní metody analýzy BC.

Původní 2-C model zavedl Behnke et al. v roce 1942. Jeho popis komponent byl založený na odhadu denzity těla (body density, Db) pomocí metody podvodního vážení (hydrodenzitometrie). Behnke et al. prokázali nepřímou úměrnost mezi tělesnou denzitou a tučností a předpokládali, že tuk je hlavní faktor, který denzitu ovlivňuje.

Pro odhad BF% z Db navrhli Keys a Brožek (1953) predikční rovnice vycházející z 2-C modelu. Rovnice byla sestavena na základě hodnot tzv. referenčního těla o 14 % tělesného tuku a předpokládané denzitě tuku 0,9478 g/cm$^3$. Později byly výchozí hodnoty referenčního těla upraveny na 15,3 %, resp. 0,9007 g/cm$^3$.

Brožek et al. (1963) předpokládali, že jakákoli změna Db je dána přírůstkem nebo úbytkem TT. Výsledná rovnice měla tvar: **BF% = (4,57 / Db - 4,142) x 100** a je stále široce používána při odhadu BF% z 2-C modelu. Další 2-C predikční rovnice pro odhad BF% z Db sestavil Siri (1956), který předpokládal, že jakékoli změny v Db neodráží změny v množství celkové TT, ale konkrétně změny v množství TAG, které jsou v TT uloženy. Siri sestavil tuto predikční rovnici: **BF% = (4,95 / Db - 4.50) x 100**. Obě 2-C predikční rovnice jsou sestaveny na základě určitých předpokladů.

- Hlavním předpokladem je, že chemické složení FFM je relativně konstantní pro všechny jedince a také v rámci jedince samotného. Procentuální zastoupení komponent se předpokládá následující: obsah vody 72 - 74 %, obsah draslíku 60 - 70 mmol/kg u mužů a 50 - 60 mmol/kg u žen.
- Dalším předpokladem je konstantní denzita komponent (v g/cm$^3$): voda - 0,9937, tuk - 0,9007, minerální látky (kostní hmota) - 3,038, bílkoviny - 1,34.
- Třetím předpokladem je, že pouze množství TT (nebo TAG) odlišuje jedince od referenčního těla.

Jsou-li tyto předpoklady splněny, rovnice poskytují uspokojivé výsledky. Ve skutečnosti ale nelze zaručit, že složení FFM je opravdu konstantní a Db se tedy bude lišit. Věk, pohlaví, etnický původ, stupeň fyzické aktivity a zdravotní stav jsou faktory, které ovlivňují vzájemný poměr vody, minerálních látek a bílkovin, a proto i celkovou tělesnou denzitu. Aplikací původní rovnice na jedince s jiným etnickým původem, sportovce, jedince nemocné, děti

nebo naopak staré lidi vzniká systematická chyba, protože jejich denzita FFM je jiná než referenční 1,10 g/cm$^3$.

Například afroameričani mají Db 1,106 g/cm$^3$, což je dáno vyšším procentem minerálních látek a bílkovin v FFM, a proto by jejich odhad BF% byl systematicky podhodnocený. Siri (1956) uvádí, že 2% rozdíl v hydrataci organismu vede k chybě odhadu 2,7 % BF.

Na základě analýzy multikomponentového tělesného modelu byly později odvozeny další predikční rovnice specifické pro konkrétní věkové a etnické skupiny a také pro sportovce nebo jedince nemocné, jejichž onemocnění může významně ovlivnit tělesné složení (Heyward, 2006).

## Tříkomponentový model

3-C model, který zavedl Siri (1961), se snaží eliminovat vliv variability hydratace organizmu na výsledný odhad BF%. Na molekulární úrovni Siri rozlišuje tuk, vodu a ostatní pevné složky (myšleno bílkoviny a minerální látky). Nově (oproti 2-C) je zde zjišťována celková tělesná voda (TBW) pomocí jedné z referenčních metod, nejčastěji izotopovou diluční metodou. Pro komponentu pevných složek zavádí Siri konstantu, která vyjadřuje poměr denzit bílkoviny / minerální látky (protein-to-mineral ratio). Odhady vycházející ze Siriho 3-C modelu jsou přesnější než u modelu 2-C, a to hlavně pro analýzu tělesného složení u dětí, starých lidí, obézních jedinců a sportovců, jejichž obsah vody v FFM se výrazně liší od referenční hodnoty 73,8 %.

Naopak pro populace jako jsou například afroameričani, američtí indiáni apod. není Siriho 3-C model vhodný vzhledem ke konstantě protein-to-mineral ratio. Variabilitu v relativním obsahu minerálních látek postihuje 3-C model, který navrhl Lohman v roce 1986. Za kostantní považuje (na rozdíl od Siriho modelu) frakci voda + bílkoviny s denzitou 1,0486 g/cm$^3$. Denzitu Lohman odahaduje metodou podvodního vážení a celkový obsah minerálních látek (TBM, total body mineral) pomocí duální rentgenové absorpciometrie a dopočítán ze vztahu: **TBM = kostní hmota x 1,279**. Konstanta ve vzorci vychází z relativně stálého poměru kostní hmoty a ostatních minerálních látek v těle zjištěného při analýze mrtvých těl (Heyward, 2006).

## Čtyřkomponentový model

4-C model rozlišuje frakce tuk, voda, minerální látky a bílkoviny. Poskytuje přesnější odhad BF% oproti 2-C a 3-C modelu. Na druhou stranu vyžaduje měření více proměnných (Db, TBM, TBW), které je vždy zatíženo chybou, jejíž velikost záleží na preciznosti použité metody. Celkovou chybu měření (total measurement error, TME) lze vypočítat jako odmocninu ze součtu druhých mocnin chyby každé metody. Heyward (2006) uvádí, že TEM je srovnatelná se směrodatnou odchylkou (SD, standard deviation) spojenou s 2-C modelem. 4-C model by měl být proto používán k odhadu, kdykoli je to možné, především k sestavování nových predikčních rovnic a ověřování přesnosti dalších metod analýzy tělesného složení.

# 3.9 Odlišnosti tělesného složení dětí, starých lidí a sportovců

### Tělesní složení dětí

Během růstu a dospívání dochází u dětí k výraznějším změnám v zastoupení komponent FFM (vody, bílkovin a minerálních látek), které ovlivňují denzitu FFM. Celkový obsah tělesné vody se postupně snižuje (ze 79 % v 1. roce života na 74 % ve 20. roce), zatímco obsah minerálních látek se zvyšuje (TBM u kojenců 3,7 %, TBM u dospělých 7 %). Vzhledem k těmto změnám roste i denzita FFM (Fomon et al., 1982). Výrazně odlišná denzita FFM dětí od dospělých (RČ) je příčinou systematického nadhodnocování BF% (o 3 – 5 %), je-li k odhadu použit klasický 2-C model (Heyward & Wagner, 2004).

### Tělesné složení starých lidí

S přibývajícím věkem dochází v organizmu k typickým změnám tělesného složení. Zvyšuje se podíl FM a relativně více tuku je uloženo v centrální oblasti těla, jde hlavně o abdominální tuk. Ke změnám dochází také ve FFM, ubývá kosterní svalstvo (sarkopenie) a řídne kostní tkáň (osteopenie). Velikost změn je ale velmi individuální. Od 40. roku věku dochází v průměru k 5% ztrátě svalové hmoty za dekádu. Po 65 letech je ztráta ještě výraznější. Sarkopenie je charakterizovaná poklesem svalové síly, jejíž příčinou je degenerace, atrofie a zánik svalových vláken, snížení syntézy svalových proteinů a mitochondriální dysfunkce. Sarkopenie úzce souvisí s věkem, ale může být urychlena řadou dalších faktorů (nízká pohybová aktivita, malnutrice, chronická onemocnění).

Kosterní svaly mají výraznou metabolickou aktivitu, proto ztráta svalové hmoty významně souvisí s redukcí energetické potřeby organismu. Pokles fyzické aktivity a svalové hmoty je v přímé souvislosti s akumulací celkového tělesného tuku. Vzestup podílu TT v organismu vede ke snížení glukózové tolerance, což je rizikový faktor pro rozvoj diabetu mellitu 2. typu (Hrnčiariková, 2008).

Průměrná denzita FFM žen a mužů starších 65 let se pohybuje v rozmezí 1,093 - 1,099 g/cm$^3$ a množství TBW: 73,6 - 75,6 % u žen a 72,4 - 74,4 % u mužů v závislosti na věku, etnickém původu a množství TT. Podobně jako u dětí, i u starých lidí není vhodné používat k odhadům BF% Siriho a Brožkův 2-C model, který by v tomto případě systematicky nadhodnocoval BF% o 2 - 5 % (Heymsfield et al., 1989).

## Tělesné složení sportovců

Optimální tělesné složení je pro výkon sportovce jedním z nejdůležitějších faktorů ve většině sportů. Pomocí analýzy BC lze monitorovat a hodnotit efektivitu tréninkových metod a stravovacích plánů, odhadnout vhodnou tělesnou váhu sportovce pro určitý druh sportu a také monitorovat zdravotní stav sportovce a hlídat příliš extrémně nízké hodnoty množství tělesného tuku.

V závislosti na typu pohybové aktivity, její intenzitě a frekvenci dochází k různě velkým změnám tělesné hmotnosti sportovce, ke snížení BF% a nárůstu FFM. Obecně platí, že sportovci mají vyšší obsah kostní hmoty (BCM), o něco vyšší denzitu kostní hmoty (BMD) a denzitu FFM a nižší BF%.

Z výsledků několika multikomponentových studií však vyplývá, že někdy denzita FFM dosahuje u sportovců podobných hodnot jako u nesportovců a někdy jsou její hodnoty dokonce i nižší než u nesportovců (Arngrimsson et al., 2000). To je dáno typem svalového zatížení. Jde-li o sportovce s mohutně vyvinutým svalstvem (svalová hypertrofie), obsahuje jeho FFM více vody, která má nižší denzitu než ostatní komponenty FFM. Naopak u sportovců jako jsou například gymnasti, tanečníci apod., kteří mají vyšší relativní obsah kostní hmoty, bývá denzita vyšší než je referenčních 1,100 g/cm$^3$ (Modlesky & Cureton et al., 1996).

# 4. Metody analýzy tělesného složení

Cílem analýzy tělesného složení (BCA, body composition analysis) je co nejlepší odhad každého tělesného kompartmentu. Ne vždy je ale možné odhadovat každý kompartment přímo, proto byly experimentálně určeny vztahy mezi jednotlivými složkami, pomocí kterých lze odhadovat některé kompartmenty nepřímo - výpočtem.

Metody pro BCA lze rozčlenit z několika hledisek. Podle místa a složitosti provedení lze označit metody buď jako laboratorní, nebo terénní. Laboratorní metody jsou technicky, cenově a časově náročnější. Nehodí se pro rozsáhlé opakované analýzy, poskytují však referenční data pro vývoj a zpřesnění predikčních rovnic pro terénní metody. Naopak terénní metody jsou lépe "přenosné" a vhodné pro rozsáhlé každodenní analýzy, jsou také méně finančně nákladné.

Přestože jsou laboratorní metody přesnější, stále vycházejí z určitých předpokladů a domněnek. A protože jde stále jen o odhad, žádnou in vivo laboratorní metodu nelze označit za zlatý standard v pravém slova smyslu. Přesto se takovéto označení používá pro hydrodenzitometrii a metodu DEXA (Heyward, 2006).

Z hlediska způsobu získání informací o tělesné kompozici se metody rozdělují na přímé, nepřímé a dvojitě nepřímé. Přímé metody nepotřebují k provedení žádné odhady a domněnky a přímo stanovují neznámou veličinu. Jediné přímé metody jsou chemická analýza prováděná při pitvě a in vivo neutronová aktivační analýza. Nepřímé metody jsou založeny na jistých pravidlech a konstantách, které byly odvozeny z referenčních dat přímých metod. Jedná se o tyto metody: hydrodenzitometrie, pletysmografie, duální fotonová absorpciometrie, ultrazvuk, výpočetní tomografie, magnetická rezonance, izotopové diluční metody, měření celkového tělesného draslíku a dusíku, měření plazmatického kreatininu a kreatininurie. Dvojitě nepřímé metody spoléhají na určité statistické vztahy mezi neznámou veličinou, která je snadněji měřitelná a veličinou, jejíž hodnoty je třeba zjistit. Jsou to metody: měření tloušťky kožní řasy, infračervená interakce, bioimpedanční metody a měření celkové tělesné vodivosti. (Bray & Bouchard, 2004).

## 4.1 Laboratorní metody pro analýzu tělesného složení

### 4.1.1 Hydrodenzitometrie

Hydrodenzitometrie nebo také podvodní (hydrostatické) vážení je metoda, pomocí které lze zjistit tělesný objem (body volume, BV) a následně denzitu těla (hustotu). Na základě zjištěné denzity lze poté podle predikčních rovnic (Siri, Brožek, Lohman a další) odhadnout BF%.

Průkopníkem této metody byl americký lékař Albert Behnke a jeho kolegové (1942), kteří využili princip Archimédova zákona k výpočtu BV. Denzitu těla lze vypočítat jako poměr tělesné hmotnosti a objemu. Je proto nutné jedince zvážit a zjistit tělesný objem. Podle Archimédova zákona platí, že *těleso ponořené do kapaliny je nadlehčováno silou, jejíž velikost se rovná velikosti tíhy kapaliny, vytlačené ponořenou částí tělesa*.

Objem vytlačené vody (a tedy i BV) vypočteme jako podíl hmotnosti vytlačené vody a její hustoty. Hmotnost vytlačené vody není třeba zjišťovat přímo. Stačí, když jedince zvážíme tzv. na suchu a poté při maximálním výdechu pod vodou. Úbytek hmotnosti pod vodou je rovný hmotnosti vytlačené vody, je však třeba provést korekci a zahrnout do výsledku i reziduální plicní objem (RV) a reziduální objem vzduchu v gastrointestinálním traktu (GIT). RV můžeme nahradit konstantou 1,3 l pro muže a 1,0 l pro ženy (existují i jiné populačně specifické konstanty). Pro objem plynu v GIT platí konstanta 100 ml (Thomas, 1978, Heyward & Wagner, 2004). Dále je potřeba provést korekci na teplotu (a tedy denzitu) vody v okamžiku vážení. Hydrodenzitometrie (HW) vychází z 2-C modelu lidského těla, jehož dvě složky FM a FFM mají odlišnou denzitu. Princip metody je založen na třech základních předpokladech:

1. Denzita FM a FFM jsou aditivní a jsou relativně konstantní u všech jedinců.
2. Úroveň hydratace FFM je relativně konstantní.
3. Poměr kostních minerálních látek ve vztahu ke svalovým proteinům je také konstantní.

První předpoklad byl prokázán na základě chemických analýz, další dvě domněnky jsou stále předmětem diskuzí. Největším zdrojem variability v denzitě FFM jsou rozdíly v její hydrataci, což může vést k chybě odhadu tuku kolem 2,7 %. Variabilita poměru proteinů a minerálů může vést k chybě kolem 2,1 %. Variabilita poměru složek ve FFM se týká

především dětí, starých lidí a černochů, proto jsou postupně zpracovávány nové, populačně specifické rovnice (Riegerová, 1993). Nejpoužívanější jsou tyto predikční rovnice:

| | |
|---|---|
| Brožek (1963) | BF% = (4,57 / Db - 4, 412) x 100 |
| Siri (1961) | BF% = (4,95 / Db - 4,5) x 100 |
| Lohman (1986) | BF% = (2,118 / Db - 0,78 x W - 1,354) x 100<br>BF% = (6,386 / Db + 3,961 x m - 6,090) x 100 |

Vysvětlivky: BF% - % tělesného tuku, Db - tělesná denzita, W - denzita vody, m - kostní minerály

| | |
|---|---|
| Výpočet Db (Thomas, 1978) | Db (kg / l) = Wa / {(Wa - Ww) / Dw)} - (RV + 0,1) |

Vysvětlivky: Wa = tělesná váha "na suchu" (kg), Ww = tělesná váha pod vodou (kg), Dw = denzita vody při určité teplotě, RD = reziduální plicní objem

HW je metoda finančně nenáročná, neinvazivní a při dodržení správné metodiky relativně přesná, a proto je často považována za "zlatý standard". Riegerová (1993) uvádí, že chyba HW při odhadu podílu tuku se odhaduje v rozmezí 3 - 4 %. Na chybě má největší podíl variabilita v hodnotě RV a také schopnost probanda správně spolupracovat, zůstat pod vodou v klidu při maximálním expiriu minimálně 5 vteřin než se váha ustálí a kolísání nepřekračuje 25 - 50 g. (Thomas, 1978). Vliv chyby při měření některých veličin na celkový odhad BF% zachycuje tabulka č. 11.

Někteří probandi jsou z měření raději vyloučeni (např. malé děti, staří lidé, nemocní). HW je oproti ostatním metodám časově náročnější. Nejdříve je nutno probanda správně vyškolit a poté je provedeno 5 až 10 měření, z nichž je vypočítán průměr.

Tab. 11: Vliv chyby měření reziduálního objemu, tělesné hmotnosti, hmotnosti pod vodou a teploty na výsledné hodnoty procenta tělesného tuku

| **Chybná veličiny** | **Velikost podhodnocení** | | **Správné hodnoty** | **Velikost nadhodnocení** | |
|---|---|---|---|---|---|
| | **BF** | | | **BF** | |
| RV (ml) | - 400 | - 100 | 1200 | + 100 | + 400 |
| | 17,8 % | 15,7 % | 15 % | 14,3 % | 12,2 % |
| UBWt (g) | - 50 g | - 20 g | 3360 | + 20 | + 50 |
| | 15,4 % | 15,1 % | 15,0 % | 14,9 % | 14,6 % |
| BWt (kg) | - 0,5 | - 0,1 | 70,0 | + 0,1 | + 0,5 |
| | 15,3 % | 15,1 % | 15,0 % | 15,1 % | 15,3 % |
| Tw (°C) | - 1,0 | - 0,5 | 36,0 | + 0,5 | + 1,0 |
| | 15,2 % | 15,1 % | 15 % | 15,1 % | 15,2 % |

Vysvětlivky: RV – reziduální objem plic, UBWt – hmotnost pod vodou, Bwt – tělesná hmotnost, Tw – teplota vody. Zdroj: http://physrev.physiology.org/cgi/content-nw/full/80/2/649/T3

### 4.1.2 Pletysmografie

Pletysmografie (air displacement pletysmography, ADP) je další metoda, pomocí které lze měřit objem těla a následně vypočítat tělesnou denzitu. Pletysmografie je obecně definována jako *vyšetřovací metoda založená na záznamu změn velikosti (objemu) orgánu při jeho funkci.* ADP je mnohem modernější metoda ve srovnání s HW, časově méně náročná a klade minimální nároky na spolupráci probanda a zručnosti personálu.

První celotělový pletysmograf, který poskytoval uspokojivé výsledky, sestavil Dempster a Aitkens v roce 1995. Jednalo se o tzv. Bod Pod vejcovitého tvaru. Pletysmograf je tvořen hermeticky uzavřenou „komorou", která je rozdělena na dvě menší komory. Přední testovací komora je vymezena pro probanda a druhá slouží jako referenční. Navzájem jsou komory odděleny přepážkou, jejíž součástí je tzv. diafragma, která osciluje v důsledku tlakových změn uvnitř testovací komory.

BV je stanoven na základě tlakových změn vyvolaných pumpou o známem zdvihu (Riegerová, 1993). Podle Boylova zákona platí tento vztah: **p1 / p2 = V1 / V2**, kde tlak p1 a objem V1 představují stav v prázdné komoře a p2 a V2 označují stav v komoře s probandem.

Boylův zákon však předpokládá, že v izolované soustavě probíhá děj izotermický, což není pravda, protože se jedná spíš o děj adiabatický, kdy plyn je komprimován nebo expanduje v závislosti na přijaté energii (práci), která mu je dodávána ve formě tepla z těla probanda. Proto software Pod Podu využívá zákon Poissonův, kde „k“ označuje Poissonovu konstantu, pro vzduch k = 1,4.

$$p1 / p2 = (V1 / V2) \cdot k$$

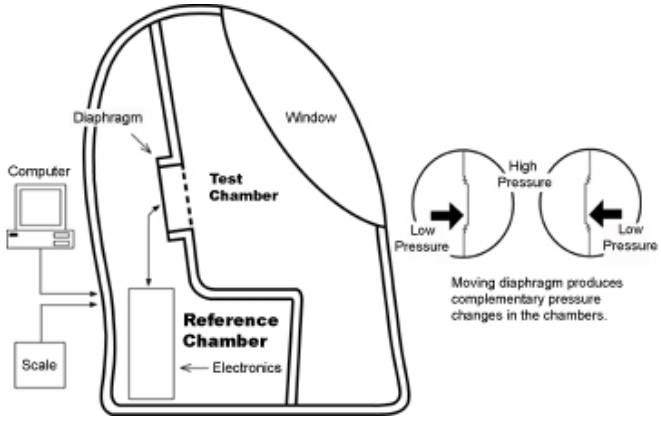
Získaná hodnota BV ještě není definitivní, je potřeba provést korekci na tělesný povrch a objem vzduchu v dýchacích cestách (thoracic gas volume, TGV). Povrch těla (body surface, BS) je automaticky počítán Pod Podem z tělesné výšky a hmotnosti na základě formule, kterou vytvořil Dubois a Dubois (1916). Pro zjištění TGV lze použít populačně specifické predikční hodnoty. Výsledná rovnice pro výpočet objemu těla je následující (Heyward & Wagner, 2004).

$$BS\ (m^2) = Bwt^{0,425}\ (kg) \times BHt^{0,725}\ (m) \times 0,007184$$

$$BV\ (l) = BVraw - povrch\ těla + 40\ \%\ TGV$$

Pozn.: BVraw = objem těla před korekcí

Obr. 1 Schéma Pod Bodu




Zdroj: http://www.bodyologystudio.com.au/Bodpodexplained.html

Hodnoty Db, zjištěné pomocí HW nebo ADP je nutné dosadit do správných populačních formulí. Základní populačně specifické formule uvádí tabulka č. 12.

Populačně-specifické formule pro odhad BF% z 2-C tělesného modelu (Heyward & Wagner, 2004)

| **Skupina** | **Věk** | **Pohlaví** | **Formule pro odhad BF%** |
|---|---|---|---|
| běloši | 8 - 12 | muž | (5,27 / Db) - 4,85 |
| | | žena | (5,27 / Db) - 4,85 |
| | 13 - 17 | muž | (5,12/ Db) - 4,69 |
| | | žena | (5,19 / Db) - 4,76 |
| | 18 - 59 | muž | (4,95 / Db) - 4,50 |
| | | žena | (4,96 / Db) - 4,51 |
| | 60 - 90 | muž | (4,97 / Db) - 4,52 |
| | | žena | (5,02 / Db) - 4,57 |
| sportovci | 18 - 22 | muž | (5,12 / Db) - 4,68 |
| | | žena | (4,96 / Db) - 4,51 |

Zdroj: Applied Body Composition Assessment, 9.

### 4.1.3 Izotopové diluční metody

Izotopové diluce jsou biochemické metody, jejichž podstatou je zředění známého množství radioaktivního izotopu o hmotnosti $m_1$ neznámým (zjišťovaným) množstvím rozpouštědla o objemu $V_x$ (nebo hmotnosti $m_x$), jehož koncentraci $c_1$ (aktivitu $A_1$) známe.

Izotopovou diluční metodu (IDM) lze využít k odhadu celkové tělesné vody (TBW). TBW tvoří přibližně 60 % hmotnosti referenčního člověka a 73 % FFM. Z těchto údajů dopočteme celkové množství FFM a FM.

Pro stanovení TBW jsou používány nejčastěji tyto tracery (indikátory): izotopy vodíku deuterium $^{2}H$, tritium $^{3}H$ a izotopy kyslíku $^{18}O$, jejichž koncentrace (aktivita) ve vzorku moči, slin nebo krvi je stanovena pomocí hmotnostní (hmotové) spektrometrie nebo plynové chromatografie. U zdravých jedinců je rovnováha deuteria ve slinách, plazmě i moči dosažena za cca 2 hodiny po podání izotopu a setrvává v konstantní koncentraci po dobu 3 hodin. Tritium je kontraindikováno u dětí, těhotných žen a při opakování v kratších časových

intervalech (Riegerová, 1993). IDM vychází z 2-C modelu a využívá těchto poznatků (Heyward & Wagner, 2004):

- Tracer je rozpustný pouze ve „vodních prostorech“ těla během krátké doby
- Pouze malé množství izotopu nahrazuje vodíky ve strukturách sacharidů a proteinů. Podle odhadů je TBW nadhodnocena o 1 %, je-li použit izotop kyslíku a o 4 % při použití deuteria a tritia. Proto je výsledná hodnota TBW násobena faktorem 1,01 respektive 1,04.
- Tracer dosáhne rychle stabilní rovnováhy (za 2 až 3 hodiny).
- Tracer není v těle ukládán ani dál metabolizován.
- Tracer je kompletně zaměnitelný za tělesnou vodu.

Výpočet TBW a BF% je následující:

**TBW = FFM (kg) x 0,732**

**BF% = ((BWt - (TBW / 0,732)) / BWt) x 100**

Siri (1961) odhaduje biologickou variabilitu v hydrataci FFM na 2 %, což vede k chybě odhadu 2,7 % TBW.

### 4.1.4 Duální rentgenová absorpciometrie

Duální rentgenová absorpciometrie (DEXA) je všestranná radiografická zobrazovací metoda původně vyvinutá za účelem zjišťování kvality kostní tkáně (kostní denzity) a celkového kostního minerálu. Díky schopnosti metody dobře rozlišit určité tělesné kompartmenty bývá DEXA některými odborníky označována za referenční metodu pro analýzu BC.

DEXA je moderní, časově nenáročná metoda, která poskytuje relativně přesný odhad množství kostní hmoty a měkkých tkání, v nichž dokáže rozlišit FFM (přesněji lean body mass, LBM) a FM. Analýzu dokáže provést také regionálně. Další výhodou je, že DEXA neklade velké nároky na technickou obsluhu ani na samotného probanda, který jen musí zůstat v klidu ležet na skenovacím stole (Heyward & Wagner, 2004). Nevýhodou metody jsou ale vysoké pořizovací náklady.

Principem metody DEXA je prozařování pacienta úzkým svazkem rentgenového záření o dvou energiích (nízké a vysoké), který je při průchodu tkáněmi zeslabován v důsledku fotoelektrického jevu a Comptonova rozptylu. Celková velikost útlumu a vzájemný podíl obou jevů závisí především na vlnové délce procházejícího záření, na délce dráhy v absorbujícím prostředí a také na molekulární hmotnosti absorbující látky (atomových číslech prvků).

Kvantitativně je celková velikost útlumu charakterizována součinitelem útlumu μ, který má rozměr [$m^{-1}$]. Protože je součinitel útlumu úměrný hmotnosti prostředí, je někdy výhodné zavést tzv. měrný součinitel útlumu $\mu \rho$ , kde ρ je hustota daného prostředí.

Velikost zeslabení záření tedy závisí na tloušťce, denzitě a chemické struktuře tkáně. DEXA vychází z rozdílných poměrů absorpce rtg záření v kostech a měkkých tkáních při nízké a vysoké energii záření. Pro výpočet zeslabení záření (atenuaci) při průchodu hmotou (vzorkem, tkání) platí následující vztah:

$$I / I_0 = \exp e^{-\mu M}$$

I = intenzita záření, které do vzorku vstoupilo, $I_0$ = intenzita záření, které vzorkem prošlo, M = denzita tkáně (g /$cm^2$), μ – koeficient útlumu

Poměr zeslabení záření s nízkou a vysokou energií označili Pietrobelli et al. (1996) jako R, jehož hodnotu experimentálně zjišťovali pro různé chemické prvky. Z výsledků odvodili teoretické hodnoty R pro FM a LBM. Znalost těchto hodnot je nutná pro sestavení kalibračních fantomů přístroje DEXA.

Výhodou rentgenového záření o nízké a vysoké energii je, že lze rozlišit, jaká část celkové absorpce záření byla způsobena kostí a jaká část měkkou tkání. Zpravidla se jedná o dvojice energií fotonů 35 keV a 75 keV nebo 50 keV a 100 keV. Následně je zeslabené záření detekováno pomocí spektrometru, jehož součástí jsou různé typy detektorů. V moderních zobrazovacích denzitometrech jsou detektory uspořádány do dvourozměrné mozaikové konfigurace s vysokým prostorovým rozlišením a tvoří digitální snímač rtg obrazu. Na závěr počítač porovnává poměr vyzářeného a detekovaného záření na dvou energetických hladinách se svým vnitřním kalibračním fantomem.

V současnosti existují tři hlavní výrobci přístrojů pro DEXA diagnostiku: Hologic, Lunar a Norland. Ačkoli se provedení přístroje každého výrobce liší a je unikátní, princip fungování a základní struktura přístrojů je obdobná (viz obrázek č. 2). Systém DEXA se vždy skládá z počítače, skenovacího stolu, detektoru zabudovaného v tzv. C-rameni a zdroje rtg záření. Odlišnosti existují například v typu svazku rtg záření (tužkovitý versus vějířovitý), rozměrech přístroje nebo v typu detektoru záření. Používají se scintilační detektory (jodid sodný aktivovaný thaliem) nebo polovodičové detektory na bázi kadmia, zinku a telluridu (CZT) nebo gadolinia a křemíku atd.

DEXA je často považována za metodu vycházející ze 3-C modelu, protože poskytuje odhad "celkového minerálu" (total body bone mineral, TBBM), LBM a FM. Ale jak zmiňují Heyward & Wagner (2004), jde spíš o dva sety 2-C modelů. Z první sady rovnic se nejprve zjišťuje množství kostní hmoty a měkké tkáně. Z druhé sady rovnic se odhaduje množství LBM a FM. Stejně jako ostatní metody pro analýzu BC i DEXA je založena na jistých předpokladech (Heyward & Wagner, 2004):

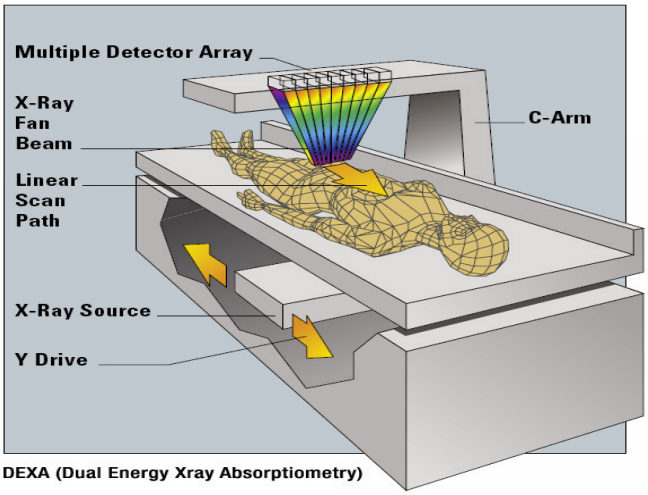
- Množství tuku v blízkosti kosti je stejné jako množství tuku mimo oblast kosti - v oblasti měkké tkáně. Analýza měkkých tkání metodou DEXA je provedena pouze z pixelů, které neobsahuj kost, což je přibližně 60 % pixelů z celotělového skenu. V oblastech těla jako jsou například končetiny zaujímá plocha kosti relativně hodně pixelů a odhad složení měkké tkáně nebude tak přesný.

- Výsledky měření pomocí metody DEXA nejsou ovlivněny předozadním rozměrem (tloušťkou) těla. Tento předpoklad není zcela pravdivý, i když se výrobci přístrojů DEXA snaží pomocí kalibračních fantomů nepřesnosti odstranit. Se zvětšujícím se předozadním rozměrem těla a tedy s prodlužující se dráhou rtg paprsků dochází k jevu označovanému jako „beam hardening“. Část záření o nízké energii se neuplatní a poměry koeficientů útlumu (R) jsou více ovlivněny hodnotami části záření o vysoké energii. R je proto o něco nižší, což ve výsledku vede k podhodnocení BF% u obézních jedinců (Genton, 2002).

- Metoda DEXA předpokládá konstantní složení FFM (LBM), tedy konstantní hydrataci a obsah minerálních látek. Přestože tato domněnka opět není zcela pravdivá, jak uvádějí Heyward & Wagner (2004), výsledný odhad BF% je ovlivněn hydratací jen mírně. Například 5% změna v hydrataci ovlivní odhady BF% pouze o 1 %. Složitější situace

může nastat u nemocných lidí trpící například edémy, u kterých je změna hydratace vysoká a chyba odhadu BF% je tedy větší.

Obr. 2: Schéma přístroje DEXA




Zdroj: http://www.tappmedical.com/page_images/dexa.jpg

### 4.1.5 Stanovení celkového tělesného draslíku

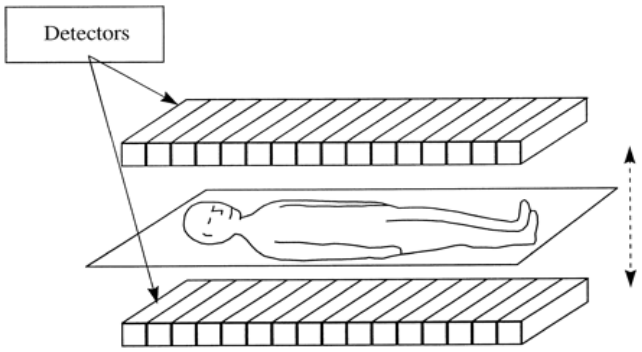
Elementární draslík je dominantní kationt intracelulárního prostoru a je esenciálním pro všechny živé organismy. V lidském těle se 97 % veškerého draslíku vyskytuje uvnitř buňky. Pro představu, tělo RČ obsahuje 140 g draslíku, ze kterého 84 g (tj. 60 %) uloženo v kosterním svalu.

Měření celkového tělesného draslíku (total body potassium, TBK) je založeno na faktu, že 0,012 % TBK tvoří izotop $^{40}K$ (převážná většina je $^{39}K$). Izotop $^{40}K$ je radioaktivní a jeho emise gama záření (1,46 MeV) lze detekovat celotělovým detektorem a stanovit tak množství.

Draslík je jediným prvkem v těle, který může být stanoven neinvazivně pasivním způsobem, a to díky svým fyzikálním vlastnostem. Dříve byla metoda celotělového stanovení draslíku využívána pro odhad tukové hmoty, dnes se využívá hlavně ke stanovení množství celkového proteinu, buněčné masy a intracelulární tekutiny (Wielopolski, 2006).

Výpočet FFM vychází z předpokladu, že obsah draslíku ve FFM je konstantní veličinou. Podle chemické analýzy jsou to následující hodnoty: 2,66 g / kg u mužů a 2,5 g / kg u žen.

Obr. 3: Schéma celotělového detektoru




Zdroj: http://physrev.physiology.org/cgi/content/full/80/2/649/F4

Dále zmíněné laboratorní metody nejsou typické pro odhad tělesného složení (FFM a FM) a budou vysvětleny jen stručněji. Tyto metody jsou využívány k získání referenčních dat a následnému porovnání s terénními metodami a také k porovnání referenčních metod navzájem. Jejich nevýhodou je obecně špatná dostupnost, vysoké pořizovací a provozní náklady (Heyward & Wagner, 2004).

### 4.1.6 Počítačová tomografie

Počítačová tomografie (CT, Computed tomography) je rentgenová zobrazovací metoda založená na zobrazování příslušné oblasti těla ve vrstvách (tomogramech) a na počítačovém vyhodnocení (i drobných) rozdílů v pohlcování rtg záření mezi různými tkáněmi. Princip CT se značně liší od konvenčního rtg zobrazování. Obraz není v tomto případě stínem vrženým na film nebo stínítko, ale jedná se o matematickou rekonstrukci obrazu.

Pro všechny výpočetní tomografy platí, že intenzita rtg paprsku procházející subjektem se snižuje dle průměrného koeficientu zeslabení tkání, jimiž prochází. Posunem systému rentgenka - detektor nebo snímáním signálu z mnoha detektorů současně jsou získávány tzv. absorpční profily, které jsou digitalizovány a matematicky zpracovány. Tomogram zobrazený na monitoru počítače je tvořen body o různých odstínech šedi (Hrazdira & Mornstein, 2001). V analýze tělesného složení se CT využívá hlavně pro lokální diagnostiku (Heyward & Wagner, 2004).

### 4.1.7 Magnetická rezonanční tomografie

Magnetická rezonanční tomografie (MRI, Magnetic resonance imaging) je založená na prostorové analýze jevu nukleární magnetické rezonance. Podstatou tohoto jevu je existence nenulového jaderného spinu, které mají některé prvky v organizmu (např. 1H, 13C a 31P). Jádra těchto atomů se chovají jako magnetické dipóly a mohou se účinkem vnějšího magnetického pole vyskytovat ve vysokoenergetickém stavu a po zániku vnějšího magnetického pole přecházet opět ve stav nízkoenergetický.

Zjednodušeně lze říct, že přechod mezi těmito stavy je doprovázen absorpcí a následně vyzářením energie v radiofrekvenčním pásmu. Tento signál lze detekovat, hodnotit v čase a vytvořit matematickou rekonstrukci obrazu. MRI poskytuje přesný odhad objemu TT.

CT a MRI jsou jediné dvě metody, pomocí kterých lze rozlišit subkutánní a viscerální (interní) tuk. Znalost množství viscerálního tuku je velmi důležitá, protože právě tato TT je metabolicky velmi aktivní a je klíčovým faktorem pro rozvoj řady metabolických onemocnění. Jak uvádí Thomas (1998), CT poskytuje relativně přesný odhad viscerálního a podkožního tuku, nevýhodou je však radiační zátěž při vyšetření. MRI je v tomto ohledu přijatelnější, protože zde není radiační zátěž žádná. MRI poskytuje relativně dobré odhady BF%. Výsledky byly ověřovány na fantomech a lidských i zvířecích mrtvých tělech a také porovnány s výsledky z chemických analýz.

### 4.1.8 Neutronová aktivační analýza

Neutronová aktivační analýza (NAA) je kvantitativní i kvalitativní analytická metoda, jejíž podstatou je jaderná reakce a aktivace vzorku probíhá pomocí neutronů. NAA je vysoce citlivá metoda, založená na záchytu neutronů v jádrech zkoumané látky. Záchytem neutronů vznikají radioaktivní jádra a sledováním jaderných přeměn produktů reakce lze daný nuklid identifikovat i kvantifikovat. Radionuklid lze identifikovat spektrometrickou analýzou energií a intenzit emitovaného záření (především gama) aktivovaného vzorku a lze i zpětně "dohledat" jemu odpovídající (neaktivní) výchozí nuklid obsažený ve vzorku. S použitím vhodné kalibrace se stanoví jeho obsah (koncentrace) ve zkoumaném materiálu. In vivo NAA (IVNA) umožňuje přímou analýzu tělesného složení na úrovní atomického modelu. NAA je velmi finančně náročná a je prováděna pouze v několika laboratořích na světě, a to především k experimentálním účelům.

## 4.2 Terénní metody pro analýzu tělesného složení

### 4.2.1 Bioimpedanční analýza

Bioimpedanční analýza (BIA) je neinvazivní, bezpečná, rychlá a relativně levná metoda pro analýzu BC na buněčné úrovni. Z těchto důvodů je v současnosti využívána v širokém spektru oborů od soukromých klinických center a nemocnic až k domácímu použití. Na světovém trhu dnes existuje řada přístrojů pro BIA.

BIA vychází z měření odporu, které tělo klade procházejícímu střídavému elektrickému proudu nízké intenzity a vysoké frekvence. Jde o frekvenci v řádu desítek až stovek kHz. Jak uvádí Janouch (2008), běžně používaný rozsah frekvencí je mezi 1 - 200 kHz a velikost proudu 0,4 mA. BIA je založena na elektrických vlastnostech biologické tkáně. Organizmus je z hlediska proudu a elektrických polí heterogenní soustavou a je komplikovaným vodičem. Ve zjednodušeném tkáňovém modelu lze rozlišit dva typy elektrické vodivosti. Cytoplazma a mezibuněčné prostředí se chovají jako vodič 2. řádu, který je charakterizovaný frekvenčně nezávislým ohmickým odporem (rezistance, R). Membránové struktury ale mají z elektrického hlediska kapacitní vlastnosti a jsou charakterizovány impedancí (Z), v níž se uplatňuje vedle rezistance také odpor kapacitní ($X_C$).

Celkový odpor tkáně (Z) je dán vektorovým součtem ohmického odporu a kapacitance ($X_C$, kapacitní reaktance) viz obrázek č. 4. Průchod proudu tkání je proto frekvenčně závislý. Membrány kladou velký odpor nízkofrekvenčnímu proudu, naopak vysokofrekvenční proud jimi prochází snadno díky malému kapacitnímu odporu membrán. Plošný odpor membrány je přibližně 10 MΩ/m$^2$ a plošná kapacita buněčné membrány cca 100 mF/m$^2$ Schéma tkáňových odporů naznačuje obrázek č. 5. Elektrické vlastnosti tkání jsou charakterizovány měrným odporem (rezistivita), příklady uvádí tabulka č. 13.

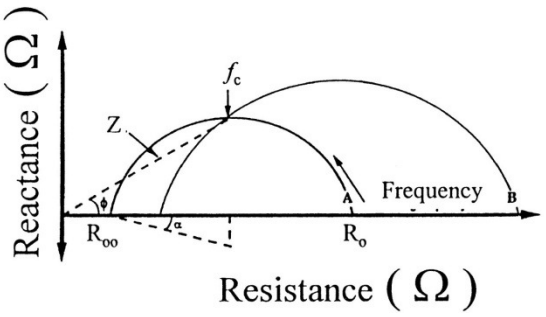
- pro absolutní hodnotu impedance platí (jednotka ohm, Ω): $|\mathbf{Z}| = \sqrt{R^2 + X^2}$

pozn.: Induktance ($X_L$, indukční reaktance) je ve tkáních zanedbatelná.

- pro kapacitní reaktanci platí (jednotka farad, F): $X = |\mathbf{Z}| sin\varphi$

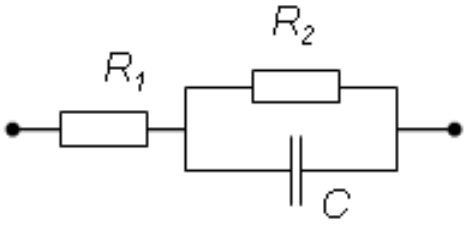
$$X_C = \frac{1}{C \cdot \omega}$$

Obr. 4: Schéma impedance tkáně




Zdroj: http://physrev.physiology.org/content/vol80/issue2/images/large/9j0200074003.jpeg

Obr. 4: Schéma elektrického modelu části tkáně




Zdroj: http://www.bem.fi/book/25/fi/2501.gif

Tab. 13: Měrné odpory některých tkání (Hrazdira & Mornstein, 2001)

| **Část organizmu** | **Rezistivita [Ω . m]** |
|---|---|
| cytoplazma buněk | 1 |
| tělesné tekutiny | 0,8 – 0,3 |
| svalová tkáň | 3 |
| tuk | 10 – 5 |
| kostní tkáň | 30 |

Zdroj: Lékařská biofyzika a přístrojová technika, 203.

FFM obsahuje velké množství vody a elektrolytů, je proto dobrým vodičem elektrického proudu. FM, který obsahuje jen málo vody, je naopak špatným vodičem. Čím je tedy větší podíl FFM, tím menší odpor je kladen elektrickému proudu a hodnoty impedance jsou nižší. Impedance tkáně je závislá na frekvenci proudu, délce vodiče, jeho vlastnostech a průřezu.

Základem BIA analyzátorů je stabilní zdroj elektrického proudu o dané frekvenci a voltmetr umožňující měřit fázový posun. Na zdroj proudu jsou připojeny elektrody, vysílající proud do měřené osoby, na voltmetr jsou připojeny měřící elektrody. S využitím Ohmova zákona a ze známé velikosti proudu a změřeného napětí lze určit biologickou impedanci. Ze znalosti této impedance a fázového posunu lze dále určit biologickou rezistanci a reaktanci, jejichž hodnoty slouží k odhadu tělesných kompartmentů.

Základem úspěšného využití BIA metody je však dosazení výsledných dat do správných predikčních rovnic, které respektují danou populační skupinu, tělesné složení jedince a pohlaví. Na základě predikčních rovnic jsou pak zjištěny hodnoty TBW, BF%, FFM a BCM (Všetulová & Bunc, 2004). Klasická tetrapolární BIA předpokládá, že tělo je přibližně tvaru válce o kostantní délce (L) a průřezu (S). Ve skutečnosti je tělo ale spíš soustavou pěti válců (čtyři končetiny a trup) spojených do série (Heyward & Wagner, 2004). Eliss (1999) naopak navrhuje, že správnější by bylo označovat tělo jako soustavu zapojenou paralelně.

- Vztah mezi Z, L a S je následující: $Z = \rho \cdot L / S$
- Nahradíme-li plochu objemem: $Z = \rho \cdot L^2 / V$

$$V = \rho \cdot L^2 / Z$$

$$\text{Index impedance} = L^2 / Z$$

Pro měření bioimpedance se nejčastěji využívá multifrekvenční metody s rozsahem frekvencí 1 až 500 kHz a proudem 400 - 800 μA. Použití frekvence pod 5 kHz a nad 200 kHz je však zatíženo velkou chybou měření, a to hlavně pro reaktanci u nízkých frekvencí (Deurenberg et al., 1995). V praxi je nejvíce využívaná čtveřice frekvencí 5, 50, 100 a 200 kHz. Proud o nízké frekvenci (cca 1 až 5 kHz) neproniká do intracelulárního prostoru, lze jím proto měřit jen hodnoty ECW a naopak proud o vysoké frekvenci (cca 50 až 100 kHz) proniká přes buněčnou membránu a lze jím tak měřit hodnoty TBW. Jak uvádí Bunc (1998), BIA je velice citlivá na stav hydratace organismu a je schopna zachytit příjem nebo ztrátu tekutiny v objemu nižším než 0,5 litru.

Pro klasické tetrapolární měření je dvojice elektrod umístěna vždy na pravé ruce a pravé noze. Přesné umístění elektrod je následující: signální elektroda je umístěna dorzálně na prostoru mezi 2. a 3. metakarpem, měřící elektroda pak dorzálně na zápěstí mezi radiem a ulnou. Na noze je signální elektroda umístěna dorzálně mezi 1. a 2. metatarzem, měřící elektroda pak anterolaterálně vedle kotníku mezi tibií a fibulou. Vzdálenost elektrod by měla být min. 5 cm, jinak by mohlo docházet ke vzájemnému ovlivňování (Janouch, 2008).

Základem BIA je měření **rezistance**, **reaktance**, **impedance** a **fázového úhlu**. Ale teprve dosazením těchto veličin do správných predikčních rovnic získáme správné hodnoty pro odhad BC. Na základě výzkumů a klinických studií byla stanovena řada predikčních rovnic převážně pro parametry FFM, TBW a ECW. Zbylé parametry jsou potom dopočítávány z ostatních a ze znalosti celkové hmotnosti jedince. Jak uvádí ve své práci Janouch (2008), rovnice mají vždy tento obecný tvar:

$$FFM = A + B \times ( Ht^2 / R_{50}) + Bwt + D \times Age + E \times Sex$$

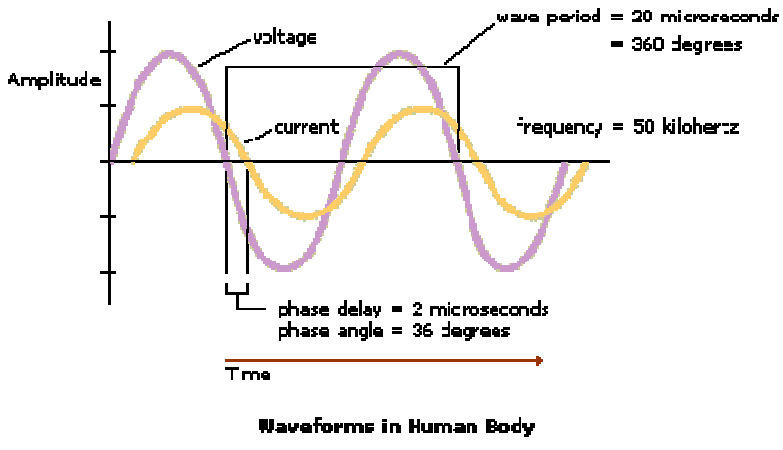
$$TBW = A + B \times ( Ht^2 / Z_{100}) + C \times BWt + D \times Age + E \times Sex$$

Vysvětlivky: A, B, C, D, E – konstanty, $R_{50}$ – rezistance (Ω) při 50 kHz, $Z_{100}$ – impedance (Ω) při 100 kHz

Fázový posun

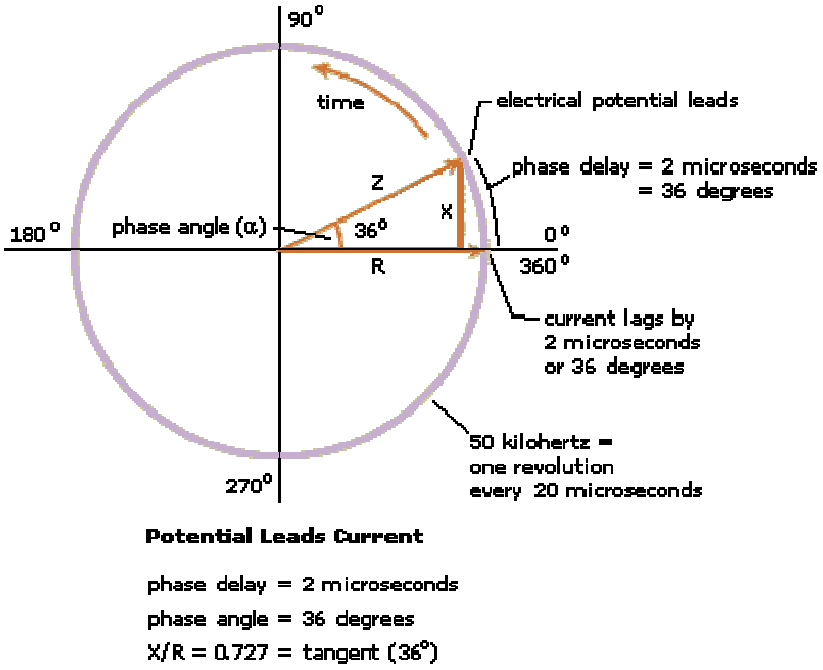
Fázový posun (fázový úhel, phase angle, PA) je dobrým indikátorem stavu, funkce a integrity buněk. Protože mají membrány buněk kapacitní charakter, proud předbíhá napětí a dochází k PA (vyjádřeno ve stupních nebo v milisekundách). Čím větší je PA, tím má buňka větší elektrickou kapacitu a je v lepší „kondici“ (normální hodnoty jsou 500 – 1000 pF). Tento vztah je přibližně lineární. Nízký PA signalizuje neschopnost buňky do svých struktur správně ukládat substráty pro "výrobu" energie a může znamenat poruchu selektivní propustnosti membrány. PA pro dospělé se pohybuje v rozmezí 1° – 20°. Hodnoty nižší než 5° signalizují vážnou energetickou deficienci (Ott et al., 1995). Fázový posun při průchodu harmonického proudu přes membránu vysvětluje obrázek č. 6 a 7.

Obr. 6: Průchod harmonického proudu přes buněčnou membránu




Zdroj: http://www.biodyncorp.com/product/450/phase_angle_450.html

Obr. 7: Fázový posun




Zdroj: http://www.biodyncorp.com/product/450/phase_angle_450.html

Poměr ECM / BCM

Poměr mimobuněčné hmoty a buněčné hmoty (ECM / BCM) je důležitý ukazatel pro hodnocení předpokladů pro svalovou práci. Nízké hodnoty signalizují vyšší množství aktivní buněčné hmoty a dobrý energetický stav organizmu, normální hodnoty se pohybují kolem 1,0.

Bioimpedanční analyzátory

Při vývoji nových přístrojů se výrobci ubírají dvěma hlavními směry. První směr je orientovaný především na laického uživatele, jedná se o tzv. inteligentní váhy a tukoměry. Druhý směr je orientovaný na odborné využití lékaři a vědci. Profesionální bioimpedanční analyzátory se vyznačují především jiným rozmístěním měřících elektrod a použitím více pracovních frekvencí, proto jsou reprodukované výsledky více spolehlivé a je možné hodnotit více tělesných parametrů. Další výhodou těchto analyzátorů je možnost získání "surových" dat, připojení k počítači a zpracovaní výsledných dat pomocí sofistikovaného softwaru (Janouch, 2008).

Jednoduché jednofrekvenční analyzátory vyráběné pro komerční použití většinou využívají excitační proud 800 μA s frekvencí 50 kHz (Riegerová & Ulbrichová, 1993). Monofrekvenční zařízení měří jen odporovou složku celotělové impedance, umožňuje tak odhad TBW a FFM,

ale neumožňuje stanovit ICW. Pro odhad dalších kompartmentů musí být použito multifrekvenční zařízení, které dovoluje odhad i např. BCM a ECM.

Bioimpedanční analyzéry lze z hlediska počtu pracovních frekvencí rozdělit na monofrekvenční a multifrekvenční. Z hlediska oblasti těla, ze které je impedance měřena pak lze rozlišit analyzéry "hand-to-hand" měřící přes horní polovinu těla (známé analyzéry od firmy Omron) a bipedální analyzéry "foot-to-foot" meřící přes dolní polovinu těla (Tanita). Tím však může dojít k nadhodnocení nebo podhodnocení BF%, je-li tuk rozložen nesouměrně převážně v horní nebo dolní polovině těla. Tento problém nemají analyzéry celotělové, například zmiňovaný tetrapolární multifrekvenční analyzátor. Nejmodernější přístroje typu In Body mohou hodnotit tělesné složení i segmentálně. Analyzér In Body měří pomocí osmibodových tetrapolárních dotekových bodů, pacient stojí na nášlapných elektrodách a zároveň drží v obou rukách úchop, každý s jednou elektrodou a dvěma dotykovými body. Přístroj tak umožňuje kromě TBW, ICW, ECW, FFM a BCM určit segmentální rozložení tělesné tekutiny v horních končetinách, dolních končetinách a trupu a zjistit případné asymetrie, svalové disbalance nebo zranění v daných částech těla.

Vyšší podíl ECW na TBW u obézních (a u jiných patologických stavů) způsobuje při frekvencích měřícího proudu 50 kHz snížení impedance, a proto podhodnocení BF%. Bunc (2007) proto navrhuje rozlišit minimálně tři podskupiny v každé věkové skupině podle množství BF% (do 15 %, 15,1 až 30 %, 30,1 % a vyšší), pro které je nutno použít jiné predikční rovnice.

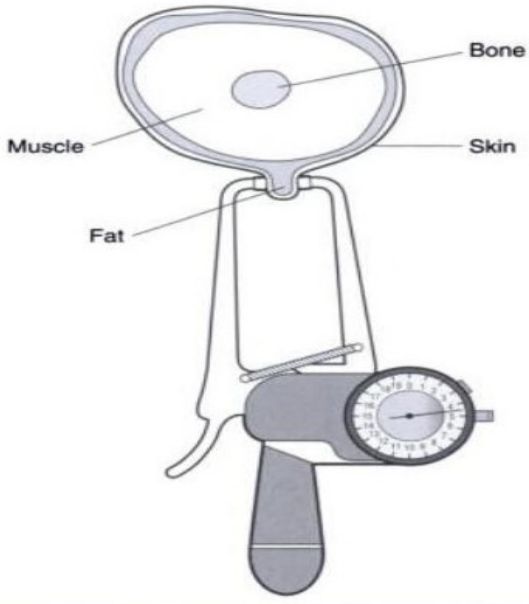
BIA je kvalitním nástrojem pro určování tělesné kompozice, má ale i svoje limity. Limitujícím faktorem mohou být abnormality v tělesné geometrii a také odlišná tělesná kompozice u různých etnických skupin. Proto stále vznikají nové predikční rovnice pro konkrétní populační skupiny a podskupiny, což v konečném důsledku může vést spíš k nepřehlednosti při využití BIA. Dalším limitujícím faktorem je použití správné referenční metody pro vytváření predikčních rovnic. V současné době se jako referenční metoda využívá DEXA, HW a TBK (Janouch, 2008).

### 4.2.2 Měření tloušťky kožní řasy

Měření tloušťky kožní řasy (skinfold thickness, SKF) je metoda, pomocí které lze nepřímo odhadnout tělesnou denzitu a množství tělesného tuku. SKF je metoda terénní, neinvazivní, časově a finančně nenáročná, rozšířená a oblíbená po celém světě. Neklade velké nároky na analyzovanou osobu, zato však klade velké nároky na zručnost a dovednost personálu. Standardní měření SKF vyžaduje velmi pečlivý zácvik postupu s přesností odečtu 0,5 mm (Riegerová & Ulbrichová, 1993).

K měření SKF 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 stanoveném místě těla kožní řasa, která obsahuje dvě vrstvy kůže a TT ležící mezi nimi (viz obrázek č. 8). 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 jasně definovaná a musí být přesně dodržena, protože tloušťka tukové vrstvy může kolísat i na malé ploše. Ze součtu tloušťky určitého počtu kožních řas (tradičně součet 10, 7 nebo 3 kožních řas) a po dosazení hodnoty do správné predikční rovnice lze zjistit odhad BF% nebo Db (Riegerová & Ulbrichová, 1993).

Obr. 8: Měření tloušťky kožní řasy (Heyward & Wagner, 2004)




Zdroj: Applied Body Composition Assessment, 50

Odhad podílu tuku na základě SKF metody je založen na těchto předpokladech:

- Tloušťka podkožní TT je v konstantním poměru k celkovému množství tuku.
- Definovaná místa pro měření kožních řas reprezentují průměrnou tloušťku podkožní tukové vrstvy.

Riegerová & Ulbrichtová (1993) zmiňuje, že tyto předpoklady však nebyly jednoznačně prokázány a není ani dostatek informací o distribuci tuku v různých populačních skupinách. Je ale známo, že distribuce tuku se mění s věkem, v závislosti na pohlaví, pohybové aktivitě a zdravotním stavu. Proto je validita predikčních rovnic omezena pouze na populační skupinu, ze které byly rovnice odvozeny, a také vždy pro určitý typ kaliperu.

V zahraniční literatuře existuje více než stovka predikčních rovnic (pro děti, dospělé, seniory, etnické skupiny, obézní, sportovce atd.). Jak již bylo zmíněno, kaliperace vyžaduje pečlivý zácvik. I u zkušených antropometristů může chyba měření dosáhnout až 5 %. Pravděpodobnost chyby se zvyšuje u extrémně vysokých nebo nízkých hodnot. K certifikaci antropometristy je obvykle požadovaná reprodukovatelnost SKF ± 10 %.

Přibližně 30 až 50 % celkového tělesného tuku se nachází v podkoží. Existují ale velké individuální rozdíly v přesných hodnotách tuku lokalizovaného v podkoží, intermuskulárně, intramuskulárně, viscerálně a také v distribuci esenciálních lipidů v kostní dřeni a centrální nervové soustavě. Obecně lze konstatovat, že senioři mají ve srovnání s mladšími jedinci méně podkožního tuku. Také štíhlí jedinci mají nižší podíl podkožního tuku (vztaženého k celkovému množství tuku) oproti obézním lidem.

Velkou individuální variabilitu v relativním zastoupení podkožního tuku také konstatuje Thomas et al. (1998), který ve své studii analyzoval tělesné složení 54 „zdravých“ žen s širokým rozpětím BMI od 19 do 51,6 kg / $m^2$. Analýza byla provedena pomocí magnetické rezonance, která jako jedna z mála metod dokáže rozlišit podkožní a interní tukovou tkáň. S narůstajícím množstvím interního tuku se podle očekávání sice zvyšoval i podíl podkožního tuku, ale ne ve stejném poměru u různých jedinců. Thomas a jeho kolegové (1998) uvádějí, že významný počet probandů ze skupiny štíhlých jedinců měl podobné množství (někdy i vyšší) interního tuku, než měli někteří obézní jedinci (a to nejen procentuálně, ale i v absolutním množství litrů TT).

Nejčastěji u nás používaným postupem k hodnocení SKF je odhad tělesného tuku ze součtu deseti kožních řas podle Pařízkové (1962) kaliperem typu Best.

Tab. 14: Lokalizace deseti kožních řas (Riegerová & Ulbrichtová, 1993)

| | |
|---|---|
| 1. | tvář: pod spánkem, ve výši tragu |
| 2. | krk: pod bradou, nad jazylkou |
| 3. | hrudník 1: v přední axilární čáře nad m. pectoralis major |
| 4. | hrudník 2: ve výši X. žebra, v přední axilární čáře |
| 5. | paže: nad tricepsem, v polovině vzdálenosti acromion - olecranon |
| 6. | záda: pod dolním úhlem lopatky |
| 7. | břicho: v mediální třetině spojnice pupek - iliospinale anterior superior |
| 8. | bok: nad hřebenem kosti kyčelní v prodloužení přední axiliární čáry |
| 9. | stehno: nad patelou |
| 10. | lýtko: 5 cm pod fossa poplitea |

Zdroj: Aplikace fyzické antropologie v tělesné výchově a sportu, 30.

Tab. 15: Predikční rovnice podle Pařízkové (1961)

| **Věk (roky)** | **Pohlaví** | **Rovnice** |
|---|---|---|
| 9 - 12 | chlapci | y = 1,180 - 0,069 . log x |
| | dívky | y = 1,160 - 0,061 . log x |
| 13 - 16 | | y = 1,205 - 0,78 . log x |
| 17 - 45 | muži | BF% = 28,96 . log x - 41,27 |
| | ženy | BF% = 35,572 . log x - 61,25 |

Zdroj: Aplikace fyzické antropologie v tělesné výchově a sportu, 30.

Vysvětlivky: x - součet deseti kožních řas (mm), y = Db

Vztahy pro výpočet BF%, FM a FFM

$$BF\% = (4{,}201 / y - 3{,}813) \cdot 100$$

$$FM\ (kg) = (BWt \cdot BF\%) / 100$$

$$FFM\% = 100 - BF\%$$

V zahraničí jsou využívané jiné typy rovnic, které vycházejí z menšího počtu kožních řas a někdy pouze z těch, které jsou lokalizovány v horní polovině těla. Tyto rovnice pak nejsou schopny postihnout větší množství tuku na dolních končetinách.

Tab. 16: Porovnání predikčních rovnic různých autorů (Riegerová & Ulbrichtová, 1993)

| **BF% stanovené dle různých formulí** | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Formule | Pařízková (1978) | Jackson & Pollock (1978) | Jackson & Pollock (1978) | Durnin & Womersley (1974) |
| Počet hodnocených kožních řas | 10 | 3 | 7 | 4 |
| BF% | 10,1 | 3,6 | 3,7 | 9,6 |

Zdroj: Aplikace fyzické antropologie v tělesné výchově a sportu, 32.

Jak vyplývá z tabulky, stanovený podíl tělesného tuku se podle různých formulí může značně lišit. Rozdíly jsou tím větší, čím je jedinec obéznější s výrazně asymetrickým rozložením tukových zásob. Tento fakt souvisí samozřejmě také s pohlavím a tedy s typem obezity (gynoidní vs. androidní).

Inovace predikčních rovnic byla v České republice provedena v období 1997 - 1999 na pracovišti FTVS UK v Praze pod vedením prof. Ing. Václava Bunce, CSc. Predikční rovnice mají tuto podobu:

Tab. 17: Inovace predikčních rovnic (Bunc, 1997)

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

Zdroj: http://www1.cuni.cz/cuni/ruk/gauk/zz1999/316_97-c.htm

Typy kaliperu

Kaliper je dotykové měřidlo pro zjišťování tloušťky kožní řasy (obecně pro zjišťování vzdálenosti mezi dvěma protilehlými symetrickými stranami). Ve strojírenství je měřidlo známé spíš pod pojmem posuvné měřítko (tzv. šuplera) a v zahraniční literatuře pod pojmem Vernierův kaliper. Klasický strojírenský kaliper se skládá z části pevné, na které je základní stupnice (v milimetrech a palcích), a části posuvné, na které je tzv. vernier (odtud název Vernierův kaliper), který slouží k jemnějšímu odečítání délek (polohy dvou stupnic). Kaliper má dva páry čelistí (ramen), z nichž jedna je pohyblivá. Čelisti jsou v okamžiku měření stlačovány stanovenou silou. Kalipery určené pro měření SKF mají dále úchop a pružinu, pomocí které se čelisti pohybují. Při výběru kaliperu je důležité znát tyto parametry (Heyward & Wagner, 2004):

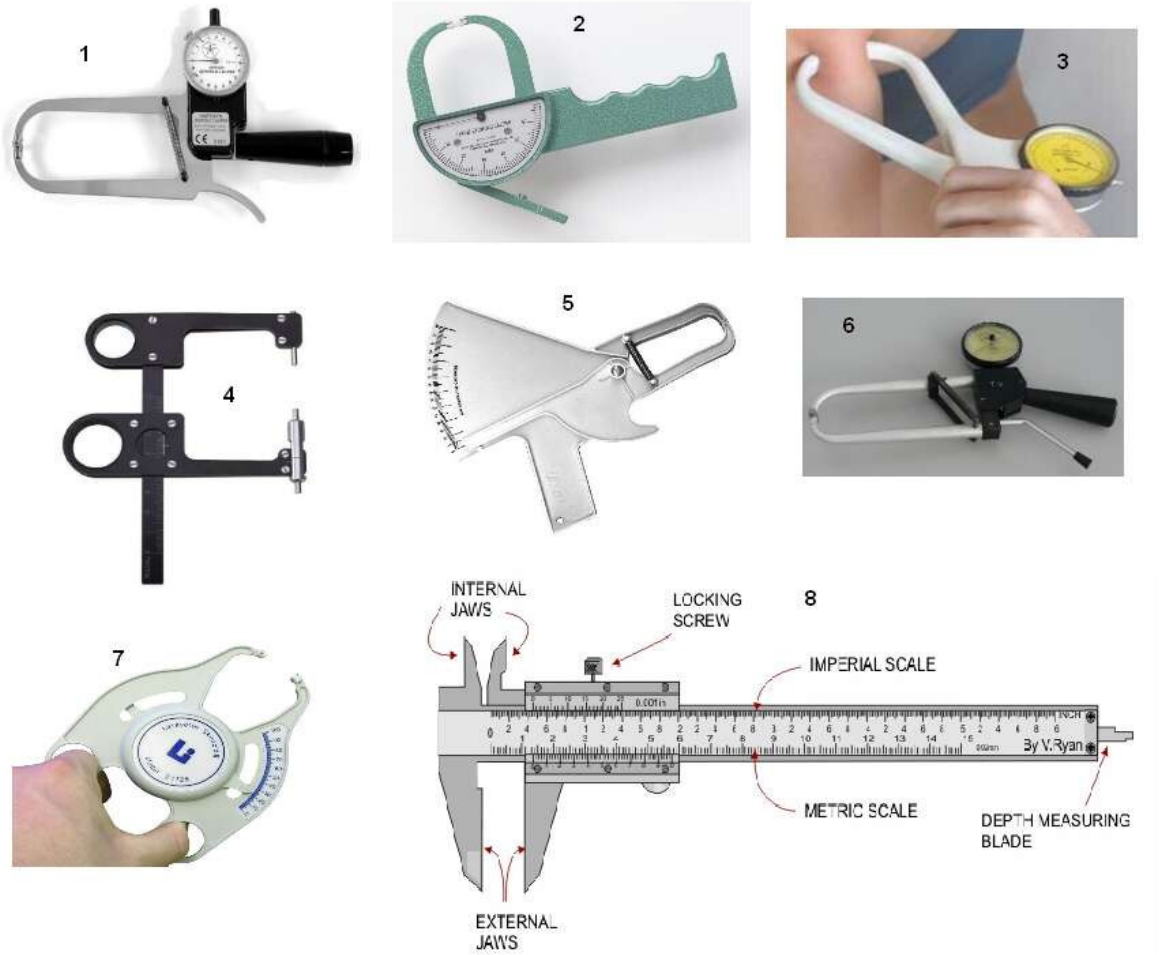
- Tlak, který vyvíjejí čelisti na měřenou kožní řasu. U každého kaliperu může být tento parametr trochu jiný, měl by se však pohybovat v rozmezí 7 - 10 g/mm$^2$. Nebo se udává tzv. přítlačná síla (N). Tlak čelistí se nesmí lišit o více než 2 g/mm$^2$ v celém rozsahu měření.
- Rozsah měření, který se pohybuje většinou kolem 60 až 80 mm.
- Přesnost měření, u lepších kaliperů lze měřit s přesností na 0,5 mm, 0,2 mm i 0,1 mm.

Na trhu jsou k dostání nejrůznější druhy kaliperů, které se liší cenou, kvalitou, tlakem čelistí, velikostí plochy konce čelistí, celkovými rozměry i náročností manipulace. Nejlevnější plastové domácí kalipery lze pořídit za 300 Kč, profesionální kalipery nejvyšší kvality (kovové) stojí až 15 000 Kč.

Za zlatý standard je celosvětově považován kaliper Harpenden (britský) a Lange (americký), oblíbené jsou také Lafayette, Holtain, Fat-O-Meter, Slim-Guide a digitální kaliper Skyndex. U nás se nejvíce pracuje s kalipery Best, Somet harpendenského typu a SK.

Při měření SKF nelze libovolně zaměňovat kalipery různých výrobců, přestože splňují standardy a mají stejné technické parametry. Například kalipery Harpenden a Holtain poskytují nižší hodnoty SKF než Fat-O-Meter a Lange (Heyward & Wagner, 2004). Vždy je proto třeba měřit probanda stejným kaliperem, obzvlášť při hodnocení změn tělesných parametrů v čase. Stejně tak je velmi důležité, aby měření bylo prováděno vždy jednou osobou a byla použita predikční rovnice vytvořená pro konkrétní typ kaliperu.

Obr. 9: Typy kaliperu



Vysvětlivky a zdroje:

1. Harpenden http://www.exercise-equipment-review.com/images/harpenden-skinfold-caliper.jpg
2. Lange http://www.chponline.com/moreinfo/Beta%20Technology,%20Inc_files/Caliper.jpeg
3. Holtain http://www.cosmed.it/index.php?option=com_content&view=article&id=969&Itemid=312&lang=en
4. Best II K-501 http://www.trystom.eu/produkty-a-sluzby-1/laboratorni-a-zdravotnicka-technika/kaliper-best-ii-k-501
5. Slim-Guide www.exrx.net/Store/Other/SlimGuide.html
6. Somet http://fsps.muni.cz/laborator/pristroje2.php
7. Lafayette http://prohealthcareproducts.com/images/lafayette-body-fat-skinfold-caliper-ii.jpg

### 4.2.3 Ultrazvuk

BCA pomocí ultrazvuku (UZ) je založena na vlastnostech rozhraní mezi jednotlivými tělesnými tkáněmi a strukturami. Ultrazvuk lze definovat jako mechanické kmity o frekvenci vyšší než je frekvenční mez slyšitelnosti lidského ucha, tj. vyšší než 20 kHz. Pro diagnostické účely se používá vysokých frekvencí v megahertzové oblasti.

Každé prostředí (živé i neživé) je z akustického hlediska charakterizováno několika parametry. Nejdůležitějším z nich je rychlost šíření UZ daným prostředím (tzv. fázová rychlost), akustická impedance a útlum. Množství akustické energie odražené na akustickém rozhraní je funkcí rozdílu akustických impedancí tkání tvořících toto rozhraní. Diagnostická informace je získána zachycením, zpracováním a zobrazením UZ signálů, odražených od tkáňových rozhraní (Hrazdira, 2003).

UZ přístroje využívají přeměny elektrické energie ve vysokofrekvenční UZ energii, vysílanou vysílačem sondy. Na hranicích mezi tkáněmi se UZ vlny odrážejí zpět do přijímače, kde se mechanická energie opět přeměňuje na elektrickou a signál je zaznamenáván a vyhodnocen počítačem. Každá tkáň má pro průchod UZ charakteristické vlastnosti.

Analýza tělesného složení pomocí UZ patří mezi terénní metody, které zatím nejsou příliš rozšířeny. I při konstantním nastavení akustických parametrů zobrazení je odrazivost tkání u různých jedinců různá. Tento fakt souvisí především se somatickým typem vyšetřovaného a s útlumem UZ signálu vmezeřenými tkáněmi (Hrazdira, 2003). Přesto někteří autoři udávají

velmi dobrou shodu výsledků porovnávaných s referenčními metodami. Pineau a kolegové (2009) porovnávaly odhad BF% pomocí metody DEXA s výsledky přenosného UZ přístroje. Pomocí UZ o frekvenci 5 MHz zjišťovali tloušťku TT na čtyřech místech těla v UZ modu A. Na základě statistické analýzy byly vytvořeny predikční rovnice pro populační skupiny s absolutním množstvím tělesného tuku do 8 kg a nad 8 kg, zvlášť pro muže a ženy. Pineau a kolegové (2009) udávají velmi dobrou shodu získaných výsledků metodou DEXA a pomocí ultrazvuku.

### 4.2.4 Infračervená interakce

Infračervená interakce (near infrared interactance, NIR) je terénní optická metoda založena na absorpci a odrazu infračerveného záření (IČ). NIR byla původně využívaná v zemědělství již od 60. let 20. století pro zjišťování obsahu bílkovin, tuku a vody zrnech a semenech, ale teprve v 80. letech byla metoda NIR využita k nepřímé analýze BC za použití velmi přesného a drahého spektrofotometru.

Pro analýzu BC se využívají spektrofotometry pracující na vlnové délce 700 - 1100 nm. Odhad BC je založen na tomto předpokladu: míra absorpce a odrazu IČ záření, které prochází tkání, závisí na chemické struktuře (obsahu tuku, bílkovin, vody atd.) v této tkáni a dále závisí na konkrétní použité vlnové délce IČ. Pro samotný tuk (TAG) je peak hodnot absorbance při vlnové délce 930 nm, pro vodu 970 nm. Tvar interakční křivky na zmíněných vlnových délkách je pak funkcí množství tuku a vody přítomné v měřené oblasti tkáně (Heyward & Wagner, 2004). Spektrofotometr (v tomto případě Futurex-5000) měří optickou denzitu záření odraženého od jednotlivých vrstev a struktur tkání.

IČ záření proniká do hloubky 4 cm tkáně a je odraženo od kosti zpět k detektoru, proto je do měření zahrnutý nejen subkutánní tuk, ale i intramuskulární. Čím více IČ záření je tkání pohlceno, tím více tuku je ve tkáni obsaženo. Vztah mezi optickou denzitou, subkutánním tukem a BF% záleží na oblasti těla, kde je měření provedeno. Nejčastěji se měření provádí v oblasti bicepsu (Heyward & Wagner, 2004).

### 4.2.5 Celková tělesná vodivost

Celková tělesná vodivost (total-body electrical conductivity, TOBEC) je metoda založená na rozdílných elektrických vlastnostech FFM a FM. Důležitou vlastností FFM (podobně jako u bioimpedanční metody) je dobrá elektrická vodivost. Zatímco FM je špatným vodičem (obsahuje malé množství vody a tedy málo iontů). FFM je přibližně 20 krát vodivější než FM.

Při analýze metodou TOBEC je jedinec na cca 10 vteřin vystaven slabému elektromagnetickému poli, které svým tělem ovlivňuje v závislosti na množství elektrolytu, které tělo obsahuje. Metoda TOBEC byla původně vyvinuta k rychlé analýze masa v masném průmyslu. Vzhledem k nákladnému přístrojovému vybavení a vyšším nárokům na spolupráci probanda není metoda příliš rozšířená (Heymsfield, 2005).

### 4.2.6 Kreatinurie

BCA je provedena pomocí stanovení koncentrace kreatininu v moči. Kreatinin vzniká hydrolýzou kreatinu, který je obsažen z 98 % ve svalech. Kreatinin je vylučován ledvinami jako odpadní produkt v množství 1,2 - 1,7 g za 24h. Hlavním předpokladem pro správný odhad kosterního svalstva je, že množství vyloučeného kreatininu odpovídá množství svalové hmoty a že vylučovaný kreatinin je produktem metabolických pochodů v kosterním svalstvu a je endogenního původu (Riegerová & Ulbrichová, 1993).

### 4.2.7 Celkový plazmatický kreatinin

BCA je založena na předpokladu, že existuje velmi těsný vztah mezi celkovým plazmatickým kreatininem a množstvím svalové hmoty. Bylo zjištěno, že 1 mg celkového plazmatického kreatininu odpovídá 0,88 - 0,98 kg svalové hmoty (Riegerová & Ulbrichová, 1993).

# II. Praktická část

# 5. Cíl

Cílem praktické části diplomové práce bylo porovnat tři terénní metody pro analýzu tělesné kompozice (body composition analysis, BCA) s referenční laboratorní metodou. Porovnávala jsem dvě bioimpedanční a jednu antropometrickou metodu s metodou hydrodenzitometrie (podvodní vážení, HW). Cílem bylo identifikovat metodu, která se co nejvíce blíží metodě HW a zároveň je dobře dostupná a praktická pro opakované analýzy.

Experiment jsem zaměřila na skupinu probandů s nadváhou, tedy s rozsahem BMI 25,0 - 29,9 kg/m$^2$. Jedná se o nenápadnou, často opomíjenou skupinu populace, která stojí na rozhraní mezi populací s normální tělesnou hmotností na jedné straně a obézními jedinci na straně druhé, u kterých je riziko zdravotních komplikací velmi vysoké.

Má-li jedinec nadváhu, většinou svůj zdravotní stav nepokládá za "tragický"a rizikový a subjektivní pocit ho tedy nijak nemotivuje ke změně životního stylu a následně ke snížení hmotnosti (přesněji - snížení BF%). Většinou není vyvíjen tlak na úpravu životosprávy ani ze strany lékařů (dokud se nemanifestují zdravotní problémy). A to i přesto, že už při BMI nad 25 kg/m$^2$existuje zvýšené riziko metabolických a kardiovaskulárních komplikací.

# 6. Soubor vyšetřených a metodika

Zkoumaný soubor tvořilo 18 relativně zdravých dobrovolníků (6 mužů, 12 žen), kteří byli vybráni z kruhu přátel a známých. Kritériem pro zařazení do experimentu byla hodnota BMI (v rozsahu nadváhy), vypočtená z uvedené váhy a výšky. Dalším kritériem byl věk (18 - 65 let) a dobrý zdravotní stav. Častým jevem u zkoumaných probandů bylo subjektivní podhodnocení jejich hmotnosti a nadhodnocení výšky. Většinou probandi udávali o 3 - 4 kg méně respektive 4 cm více, než bylo později naměřeno v laboratoři. Proto se v několika případech na místě zjistilo BMI přesahující hodnotu 29,9 kg/m$^2$. Přesto byli do pokusu zařazeni všichni nahlášení probandi.

Měření probíhalo v Laboratoři sportovní medicíny Fakulty tělesné výchovy a sportu Univerzity Karlovy v dubnu 2009 pod vedením prof. Ing. Václava Bunce a jeho kolegů. Probandi byli rozděleni na dvě skupiny a pro každou bylo vymezeno jedno odpoledne. Každý dobrovolník tedy podstoupil všechna měření v jednom dni, a to v co nejkratším časovém sledu, aby nedocházelo ke změnám v hydrataci organizmu, na které jsou citlivé zvláště bioimpedanční analýzy.

Měření zajišťovala vždy stejná osoba. Probandi byli poučeni, že 24 hodin před testováním nesmí pít alkohol a silnou kávu a 12 hodin před testováním nesmí vykonávat žádnou náročnou pohybovou aktivitu. Dále bylo probandům sděleno, že 2 hodiny před měřením a také v jeho průběhu nesmí jíst ani pít větší množství tekutin. Průměrný věk souboru dobrovolníků byl 46,1 ± 15,8 let a průměrná hodnota BMI 28,2 ± 2,5 kg/$m^2$.

Nejprve byla u každého probanda změřena tělesná výška a váha. Následně každý proband postupně prošel bioimpedanční analýzou 1 (BIA1), bioimpedanční analýzou 2 (BIA2), kaliperací (SKF) a nakonec někteří nejodvážnější podstoupili i podvodní vážení (n = 11, použitelné výsledky n = 8).

# 7. Bioimpedanční analýza 1

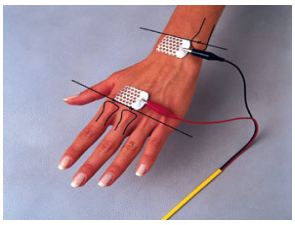
První metoda BCA byla realizována pomocí multifrekvenčního tetrapolárního analyzéru Nutriguard-M Data Input (viz obrázek č. 11), který k měření užívá fázově citlivý odpor na frekvencích 5, 50 a 100 kHz. S přístrojem jsou dodávány speciální elektrody určené k tomuto měření. Dvěma vnějšími elektrodami je do těla pouštěn slabý elektrický proud 800 μA různých frekvencí a druhou vnitřní dvojicí je snímáno napětí a vyhodnocována elektrická impedance (Z, Ω) v úseku těla mezi oběma elektrodami.

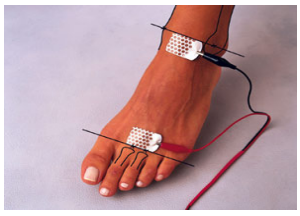
Další parametry přístroje jsou: rozsah měření impedance 0 – 1300 Ω s přesností na 1 Ω, odchylka ± 0,5 % (rezistance), ±2 % (reaktance), pro fázový úhel ± 0,5 °. Jedná se o přístroj německé výroby v ceně kolem 70 000,- Kč. K analyzéru je nabízen např. se software Nutriplus v ceně 20 000,- Kč (není zahrnutý v ceně analyzéru). Jak uvádí Bunc & Skorocká (2004), velikost kontaktního povrchu by neměla být menší než 4 $cm^2$ a přechodový odpor mezi povrchem elektrody a kůží větší než 250 Ω. Velikost přechodového odporu je

kontrolován samotným přístrojem. Elektrody jsou umístěné na horních a dolních končetinách pravé strany těla dorzálně: na středu metakarpálních kůstek (signální elektroda), zápěstí (měřící elektroda), středu metatarzálních kůstek (signální elektroda) a kotníku (měřící elektroda). Umístění elektrod naznačuje obrázek č. 10. Horní končetiny se nesmí dotýkat trupu a dolní končetiny sebe navzájem.

Měření se provádí vleže na lehátku, neklade velké nároky na spolupráci probanda ani personálu a je rychlé (do několika vteřin). Analyzér Nutriguard-M je připojen k počítači, přes který je ovládán. Požadovanými vstupními údaji jsou věk, výška, hmotnost, pohlaví a stupeň pravidelně vykonávané pohybové aktivity. Tyto parametry jsou pak společně s hodnotami impedance automaticky dosazeny do predikční rovnice, nastavené výrobcem analyzéru. Výstupními údaji jsou BF%, TBW (l), ICW (l), ECW(l), ECM/BCM, BMR (kcal), Z (Ω), FFM (kg). Jakou predikční rovnici výrobce použil nelze zjistit, ale lze použít výstupní údaj o naměřené reálné složce impedance a tu pak dosadit do vlastních specifických rovnic. Nevýhodou tohoto klasického tetrapolárního analyzéru je neschopnost hodnotit tělesné partie segmentálně. Proto při výraznějším asymetrickém rozložení tukové tkáně je její množství systematicky podhodnocováno.

Obr. 10: Umístění tetrapolárních elektrod





Obr.11: Nutriguard-M Data Input

Zdroj: http://www.data-input.de/_site/german/produkte/geraete/nutrim.php

# 8. Bioimpedanční analýza 2

Druhá bioimpedanční analýza byla realizována multifrekvenčním analyzérem Inbody 3.0 (viz obrázek č. 12), který používá frekvence 5, 50, 250 a 500 kHz a proud o velikost 400µA. Hlavní výhodou Inbody 3.0 oproti klasickým tetrapolárním analyzerům je, že měření provádí segmentálně pomocí osmibodových tetrapolárních dotekových bodů ( viz obrázek č. 13). Použití dvou elektrod na každé ruce a noze zaručuje stejný bod vstupu a výstupu, kdykoliv je

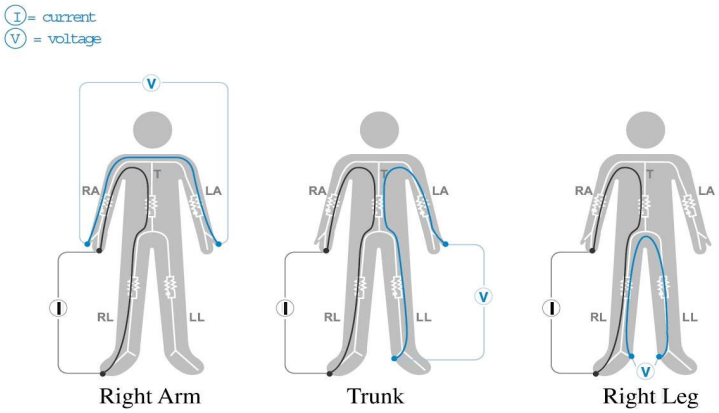
osoba měřena. Ručně přiložené elektrody nemusí být přiloženy pokaždé správně, ale se zapuštěnými elektrodami začíná proud v prstech nebo špičkách a setkává se vždy ve stejném místě. To zaručuje stejnou délku proudu v každém následném měření. InBody 3.0 provádí 20 měření za použití 4 frekvencí na 5 segmentech těla, a to do 2 minut. Kromě parametrů TBW, ICW, ECW, FFM a BCM tak umožňuje určit segmentální rozložení tělesné tekutiny v horních končetinách, dolních koncetinách a trupu. Pomocí těchto parametrů lze diagnostikovat asymetrické složení těla, svalové disbalance, otoky atd.

Tělo si lze zjednodušeně představit jako systém pěti válců (čtyři končetiny a trup), jejichž impedance je měřena samostatně. Segmentální analýza významně zpřesňuje odhady tělesných kompartmentů, protože rozdíl v hodnotách impedance trupu a končetin jsou velké (cca 20 Ω vs 350 Ω). Velikost impedance závisí mimojiné na délce a průřezu vodiče, proto jsou hodnoty impedance trupu nízké ve srovnání s impedancí končetin. Na druhou stranu množství TT je více zastoupeno na trupu (a event. dolních končetinách). Chyba několika ohmů představuje u impedance končetin malou chybu, zatímco u trupu jde o chybu podstatnou.

Měření pomocí přístroje Inbody 3.0 je rychlé, jednoduché a není náročné na spolupráci probanda ani práci obsluhujícího personálu. Nevýhodou Inbody 3.0 je opět fakt, že nelze zjistit a následně upravit predikční rovnici, kterou výrobce použil. Mezi výstupními údaji jsou sice infomace o naměřených odporech, hodnoty jsou ale prezentovány zmateně a nejsou použitelné pro dosazení do specifických rovnic. Další nevýhodou Inbody 3.0 mohou být vyšší pořizovací náklady, cena přístroje se pohybuje kolem 350 tisíc Kč.

Obr. 12: Inbody 3.0

Obr. 14. Segmentální analýza




Zdroj: http://www.biospace.cz/soubory/katalogy-anglicky/what-is-body-composition-analysis.pdf

# 9. Kaliperace

Jako třetí terénní metodu BCA podstoupili probandi měření tloušťky kožní řasy (SKF) pomocí měřidla označovaného jako kaliper. Kaliperace je rychlá, dobře dostupná, cenově nenáročná metoda BCA, vyžaduje však výborný zácvik a zručnost personálu.

Měření bylo realizováno pomocí kaliperu typu Best. Palcem a ukazovákem levé ruky se uchopí a vytáhne na stanoveném místě těla kožní řasa, která obsahuje dvě vrstvy kůže a TT ležící mezi nimi. Čelisti kaliperu se umístí kolmo asi 1 cm od zdvižené řasy, aby k sobě byly obě části kůže navzájem rovnoběžné. Ke stanovení odhadu BF% jsme využili součtu deseti kožních řas lokalizovaných na těchto místech těla: tvář – pod spánkem, krk - pod bradou, hrudník 1: v přední axilární čáře nad m. pectoralis major, hrudník 2: ve výši X. žebra v přední axilární čáře, paže: nad tricepsem - v polovině vzdálenosti acromion – olecranon, záda: pod dolním úhlem lopatky, břicho - v mediální třetině spojnice pupek - iliospinale anterior superior, bok - nad hřebenem kosti kyčelní v prodloužení přední axiliární čáry, stehno - nad patelou, lýtko - 5 cm pod fossa poplitea. Hodnota součtu SKF byla dosazena do populačně specifických rovnice podle Bunce (1994), jejichž přesnost stanovení BF% se pohybuje v rozmezí 0,8-1,8 % z naměřené hodnoty.

# 10. Hydrodenzitometrie (podvodní vážení)

Jako referenční metoda byla zvolena metoda podvodního vážení (hydrodenzitometrie, HW), jejíž provedení bylo z praktického hlediska zařazeno až na závěr. Této části experimentu se účastnili jen někteří probandi (n = 11). Probandi, kteří se odmítli zúčastnit HW, uváděli jako důvod většinou příliš velkou stydlivost a stud kvůli své postavě.

Metoda HW patří mezi staré osvědčené metody. V poslední době ji však nahradily jiné referenční metody (hl. DEXA), které jsou modernější a nevyžadují takovou míru spolupráce probanda. Nutná spolupráce probanda je hlavní nevýhoda této metody a také faktor, na kterém záleží rychlost provedení HW.

Aparatura pro podvodní vážení je umístěna ve spodních prostorech FTVS UK v Praze a je jediná v České republice. Její hlavní součástí je tank s vodou, závěsné sedlo uvnitř tanku, které je napojeno na váhu. Váha je napojena na notebook, kde je sledována oscilace hmotnosti

a data jsou zaznamenána (viz obrázek č. 14 a 15). Teplota vody je udržována na hodnotě 27 – 29 °C průtokem teplé vody, který se v okamžiku měření zastaví. Teplota v místnosti byla v okamžiku měření 23 °C.

Probandi byli požádáni, aby se převlékli do plavek a po jednom sestoupili do tanku s vodou. Poté se usadili na speciální sedlo, které je součástí celé aparatury a je napojeno na váhu. Probandi měli za úkol maximálně vydechnout a zároveň se pomalu potápět pod vodu včetně hlavy, dovydechnout pod vodou zbývající vzduch a zůstat v klidu. V této pozici měli vydržet, než se voda ustálí a oscilace váhy nepřekročí 25 – 50 g (minimálně 5 vteřin). Měření bylo opakováno tolikrát, než bylo možné odečíst 5 kvalitních výsledků měření u každého probanda. V některých případech trvalo měření opravdu dlouho, protože vydechovat před potápěním je přesný opak toho, na co jsou probandi naučeni a co je pro ně přirozené. Pro probandy bylo především obtížné zůstat po výdechu v klidu pod hladinou požadovanou dobu, tedy minimálně 5 vteřin.

Ze znalosti úbytku váhy pod vodou (hmotnost na suchu mínus hmotnost pod vodou) a ze znalosti hustoty vody lze odvodit tělesnou denzitu (Db), ze které je odhadnuto po dosazení do predikční rovnice množství BF%. Podrobnější postup a princip metody je vypracován v kapitole 4.1.1. V našem experimentu jsme dosazovali hodnoty do rovnic, které sestavil:

1. Brožek (1963): **BF% = (4,57 / Db - 4, 412) x 100**
2. Siri (1961): **BF% = (4,95 / Db - 4,5) x 100**

Db byla odvozena podle následujícího vztahu:

**Db (kg / l) = Wa / {(Wa - Ww) / Dw)} - (RV + 0,1)**

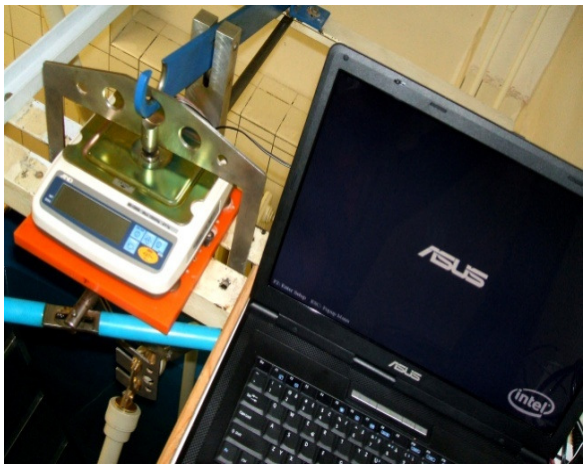
Wa – tělesná hmotnost na suchu (kg)

Ww – tělesná hmotnost pod vodou (kg)

Dw – denzita vody při 37 ° C

RV – reziduální objem plic, konstanta pro muže 1,3 (l), pro ženy 1,0 (l)

Obr. 14 a 15: Aparatura pro podvodní vážení




# 11. Výsledky a diskuze

Statistická analýza byla provedena pomocí programu Microsoft Office Excel 2007. Výsledky jsou prezentovány jako průměrná hodnota ± směrodatná odchylka. Pro porovnání výsledků měření jednotlivými metodami byla použita korelační analýza, stanoven korelační koeficient R. Jako kritérium statistické významnosti byl použit koeficient determinace $R^2$ a hladina spolehlivosti p-value. Byl proveden párový t-test na střední hodnotu a zjištěna p-value, která udává mezní hladinu významnosti, při které bychom nulovou hypotézu o shodnosti středních hodnot výsledků ještě zamítali. Hypotézu $H_0$ (o nulovém rozdílu středních hodnot BF%) zamítáme na hladině významnosti alfa, právě když p-value je menší než alfa. Kromě statistické významnosti hodnotíme také tzv. věcnou významnost, která má v tomto případě (nízký rozsah výběru) mnohem větší výpovědní hodnotu. Věcně významná diference byla stanovena na 1,5 % tělesného tuku a udává přípustnou velikost rozdílu metody na základě praktických zkušeností. Je-li tedy věcně významný rozdíl středních hodnot BF% menší než 1,5 %, jsou metody považovány za zaměnitelné (Všetulová & Bunc, 2004).

Charakteristiku vybraného souboru vystihuje tabulka č. 18. a výsledné hodnoty shrnuje tabulka č. 19. Průměrná hodnota procenta tělesného tuku naměřená metodou podvodního vážení (HW) byla 28,7 ± 3,2 % (výpočet podle Brožka) a 29,3 ± 3,5 % (Siri). Pro porovnání výsledků metod byla u HW použita pro odhad BF% formule podle Brožka. Metodou BIA1

pomocí přístroje Nutriguard-M s využitím původních predikčních rovnic nastavených výrobcem byla naměřena průměrná hodnota 25,9 ± 5,1 %, to je o 2,8 % méně než metodou HW. Pomocí metody BIA2 přístrojem Inbody 3.0 byly naměřena průměrná hodnota 30,5 ± 5,1, což je o 1,8 % více než metodou HW. Z kaliperace byly získány tyto průměrné hodnoty 29,6 ± 4,8 %, tj. o 0,9 % více než referenční metodou HW.

Pro zjištění míry lineární závislosti naměřených hodnot použitými metodami byla využita korelační analýza. Čím více se Pearsonův korelační koeficient (R) blíží jedničce, tím více jsou výsledné hodnoty vzájemně v korelaci, a tedy lineárně závislé. R je však pouze ukazatelem těsnosti lineárního vztahu a nevypovídá nic o tom, zdali jsou dvě metody shodné. Také si je třeba uvědomit, že závěry plynoucí z výsledku dat platí pouze pro rozsah hodnot, v němž byly metody porovnávány. A jakékoli zobecňování výsledků může vést k falešným závěrům.

Závislost BF% uvedenými metodami je znázorněna na grafech č. 2 až 7. Nízký koeficient determinace a korelace ($R^2 = 0,161$, $R = 0,401$, $P < 0,05$) nevykazuje dobrou shodu měření při porovnání metody BIA1 a referenční metody HW. Z výsledků vyplývá, že BIA1 vysvětluje HW pouze z 16 % a zbylých 84 % variability tohoto modelu zůstává nevysvětleno. Rozdíl středních hodnot BIA1 / HW se ukázal jako statisticky významný.

Jako těsnější se jeví vztah mezi metodou BIA2 a HW ($R^2 = 0,399$, $R = 0,631$ $P > 0,05$). Těsnější vztah je i mezi SKF a HW ($R^2 = 0,304$, $R = 0,551$, $P > 0,05$), také mezi výsledky měření pomocí BIA1 a BIA2 ($R^2 = 0,572$ , $R = 0,756$, $P < 0,05$) a mezi BIA2 a SKF ($R^2 = 0,366$ , $R = 0,605$, $P < 0,05$). Nejtěsnější vztah vykazují výsledky metody BIA1 a SKF ($R^2 = 0,83$, $R = 0,91$, $P < 0,05$). BIA1 však poskytuje výrazně nižší hodnoty než SKF.

Hladina spolehlivosti p-value dosáhla při párovém t-testu v případě porovnání HW / BIA1, BIA1 / BIA2 a BIA1 / SKF nižších hodnot, než byla stanovena hladina významnosti ($\alpha = 0,05$). Z výsledku t-testu vyplývá, že rozdíl středních hodnot BF% je statisticky významný. Rozdíl středních hodnot BF% nebyl statisticky významný u HW / BIA2, HW / SKF a BIA2 / SKF, kde p-value dosáhla hodnot vyšších než 0,05. Statistická významnost však silně závisí na rozsahu souboru, který byl v tomto případě velmi nízký (n = 8 u porovnání s referenční metodou, n = 18 u porovnání ostatních metod navzájem). Statisticky významný znamená „statisticky zobecnitelný“ z reprezentativního náhodného výběru na základní soubor. Výpovědní hodnotu statistické významnosti je proto třeba posuzovat v souvislosti s cílem provést zobecnění z výběru na základní soubor s přijatelnou chybou a přijatelným rizikem.

Statisticky nevýznamný (nesignifikantní) ještě nemusí znamenat, že naměřená data jsou nevýznamná ve smyslu vědeckého důkazu. Proto je důležité sledovat především tzv. věcnou významnost, která nezávisí na rozsahu souboru a udává přípustnou velikost rozdílu metod. V našem případě byla věcná významnost stanovena na 1,5 % tělesného tuku.

Průměrná hodnota BF% získaná kaliperací byla jen o 0,9 % vyšší než u referenční HW (Brožek), nelze tedy hodnotit rozdíl v BF% jako věcně významný a nebyl ani statisticky významný. Koeficient determinace ($R^2$ = 0,304) vykazuje význačnou těsnost. Pearsonův koeficient korelace se významně liší od nuly (R = 0,551). Metoda poskytla dobré výsledky, ale pro spolehlivou předpověď hodnot BF% pomocí zkoumané metody je potřeba těsnější korelace s referenční metodou.

Rozdíl středních hodnot BF% u metody BIA2 / HW lze hodnotit jako statisticky nevýznamný, ale věcně významný (i když hodnota 1,8 % není tak vzdálená od stanovené hranice věcné významnosti 1,5 %). Přístroj Inbody lze v nadneseném slova smyslu přirovnat k černé skřínce. Známe data na vstup a na výstupu, neznáme však „algoritmus“, kterým funguje - neznáme použité predikční rovnice a ani není jasné, jaké hodnoty impedance přístroj naměřil.

Jako statisticky i věcně významný se ukázal rozdíl středních hodnot získaných metodami BIA1 a HW. BIA1 poskytovala nápadně nízké hodnoty, což bylo v souladu s naším očekáváním. U bioimpedanční metody je všeobecně známé, že má tendenci podhodnocovat BF% u jedinců s nadváhou a obezitou. To je dáno především typem použité predikční rovnice. Výrobce bioimpedančních analyzérů používají většinou pouze obecné predikční rovnice, což se nám při experimentu potvrdilo.

Výsledky bioimpedanční analýzy jsou značně ovlivněny hydratací organizmu, která je u jedinců s nadváhou a obézních jedinců významně změněna. Jedná se hlavně o vyšší podíl vody na tukuprosté hmotě a vyšší podíl extracelulární tekutiny na celkovém množství tělesné vody (Deurenberg, 1996). Následkem těchto změn dochází ke snížení impedance a výsledkem jsou falešně nízké hodnoty BF%. Je-li však použita vhodná specifická predikční rovnice, bioimpedanční analýza je akceptovatelnou metodou pro odhad BF% i u jedinců s nadváhou a jedinců obézních (Všetulová & Bunc, 2004).

Bioimpedanční analýza je zatížena chybou biologického subjektu a chybou měřící metody. Za biologickou chybu je považována chyba personálu, který zařízení obsluhuje. Ta je u BIA metod relativně nízká a souvisí hlavně s umístěním elektrod. Všetulová & Bunc (2004) uvádějí, že posun elektrody ± 2 cm od optimální polohy představuje chybu ± 4,1 % v hodnotě impedance. Chyba vlastní metody může být spojena se softwarem (typem použitých predikčních rovnic) nebo spojená s hardwarem - chyba vlastního měřícího zařízení (cca 1,5 %), dále nepřesnosti spojené s typem použitých elektrod (do 3 %) a k velikosti chyby metody také přispívá aproximace lidského těla válcem (1 – 3 %).

Kaliperace je na rozdíl od BIA zatížena vysokou biologickou chybou. Personál, který kaliperaci provádí, musí být velmi dobře proškolen. Heyward & Wang (2004) uvádějí, že variabilita naměřených hodnot tloušťky kožní řasy různým personálem dosahuje 3 – 9 %, a to nejvíce při měření abdominální a stehenní kožní řasy. Za největší zdroj chyby je považovaná nevhodná predikční rovnice.

Celková chyba odhadu (total error of estimate, TEE) je součtem jednotlivých dílčích chyb. V praxi lze počítat, že při použití správných predikčních rovnic a za kontrolovaného stavu hydratace se TEE bude pohybovat u kaliperace a bioimpedanční analýzy kolem 3 – 6 % z naměřené hodnoty, což je tolerovatelná hodnota při měření biologických veličin (Lohman, 1992).

Tab. 18: Charakteristika vybraného souboru (n = 18)

| Metoda | **Průměrná hodnota** | **Směrodatná odchylka** | **Rozsah (range)** |
|---|---|---|---|
| věk (roky) | 46,1 | 15,8 | 22 - 65 |
| výška (cm) | 165,7 | 8,6 | 148,7 – 182,6 |
| hmotnost (kg) | 77,65 | 11,1 | 58,0 – 105,1 |
| BMI (kg / $m^2$) | 28,2 | 2,5 | 24,7 – 32,9 |
| BF% (HW, n = 11, Brožek) | 28,7 | 3,2 | 23,1 – 32,5 |
| BF% (HW, n = 11, Siri) | 29,27 | 3,5 | 23,7 – 33,9 |

Tab. 18: Výsledné hodnoty BF% u zkoumaného výběru 18 osob

| **Metoda** | **Průměrná hodnota BF%** | **Směrodatná odchylka** | **Rozsah (range)** |
|---|---|---|---|
| HW (Brožek) | 28,7 | 3,2 | 23,1 – 32,5 |
| HW (Siri) | 29,3 | 3,5 | 23,7 – 33,9 |
| BIA1 (Nutriguard-M) | 25,9 | 5,1 | 17 - 35 |
| BIA2 (Inbody) | 30,5 | 5,1 | 20,1 – 40,4 |
| SKF | 29,6 | 4,8 | 21 - 38 |

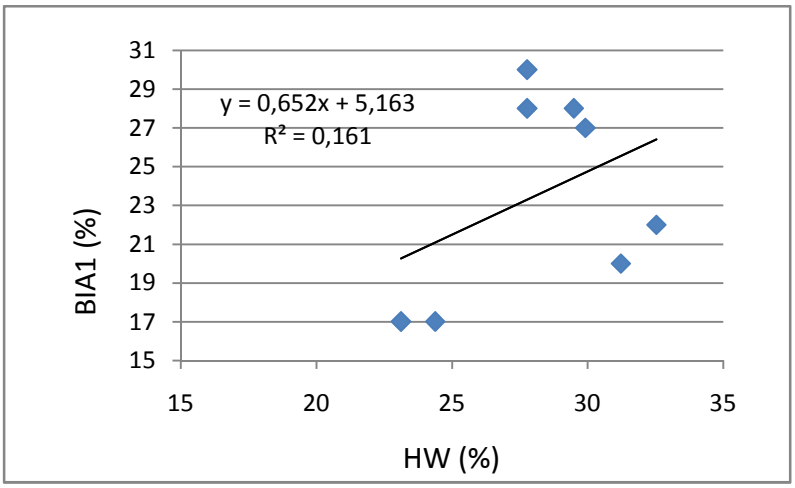
Tab. 19: Porovnání metod měření BF% pomocí korelační analýzy a párového t-testu

| Metody | $R^2$ | R | P (t-test) |
|---|---|---|---|
| HW / BIA1 | 0,161 | 0,401 | < 0,05 |
| HW / BIA2 | 0,399 | 0,631 | NS |
| HW / SKF | 0,304 | 0,551 | NS |
| BIA1 / BIA2 | 0,572 | 0,756 | < 0,05 |
| BIA1 / SKF | 0,830 | 0,911 | < 0,05 |
| BIA2 / SKF | 0,366 | 0,605 | NS |

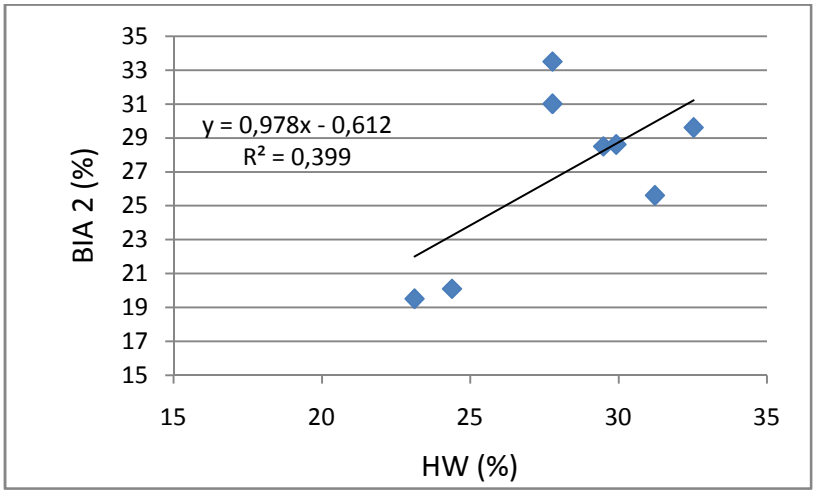
Vysvětlivky: $R^2$ – koeficient determinace, R – Pearsonův korelační koeficient, P (t-test) – statistická významnost středních hodnot.

Pozn.: Pro výpočet BF% metodou HW byla použita formule podle Brožka.

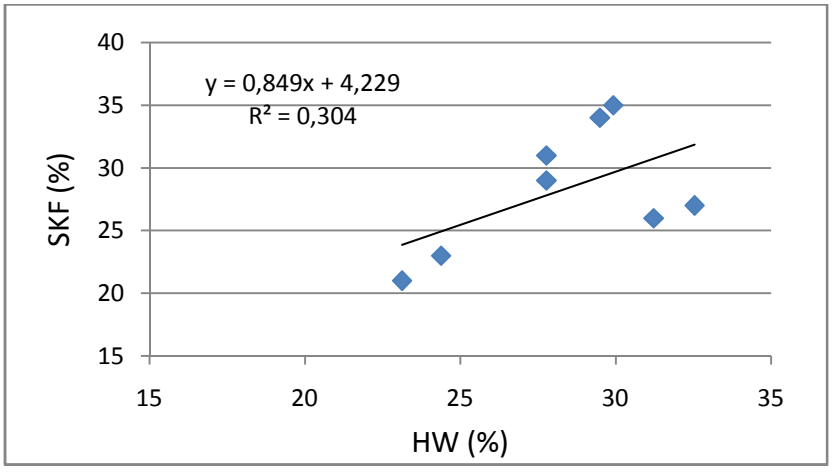
Graf 2: Závislost BF% naměřeného pomocí BIA1 a referenční metody HW



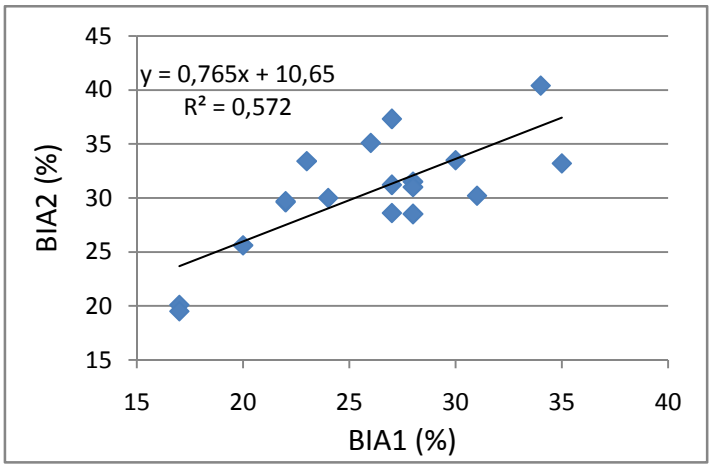

Graf 3: Závislost BF% naměřeného pomocí BIA2 a referenční metody HW



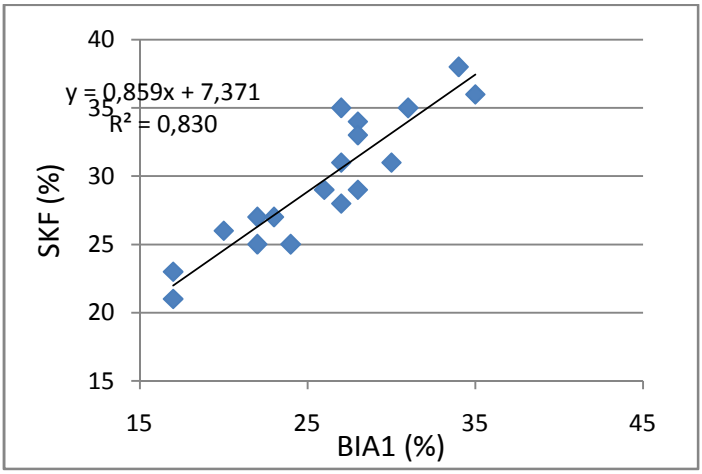

Graf 4: Závislost BF% naměřeného pomocí SKF a referenční metody HW



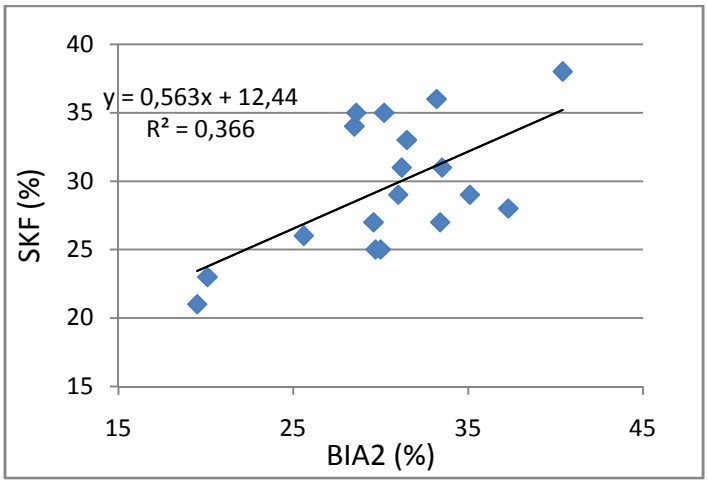
Graf 5: Závislost BF% naměřeného pomocí BIA1 a BIA2




Graf 6: Závislost BF% naměřeného pomocí BIA1 a SKF




Graf 7: Závislost BF% naměřeného pomocí BIA2 a SKF



# 12. Závěr

Na základě našeho experimentu bylo zjištěno, že naměřené hodnoty tělesného tuku pomocí bioimpedanční analýzy 2 (přístroj Inbody 3.0) a pomocí metody měření tloušťky kožní řasy (kaliper Best) se od hodnot referenční metody významně neliší. Naopak bioimpedanční analýza 1 realizovaná tetrapolárním multifrekvenčním analyzérem Nutriguard-M poskytovala statisticky i věcně významně odlišné výsledky. Tyto výsledné hodnoty lze přičíst hlavně typu predikčních rovnic, které výrobce přístroje použil. Nejtěsnější výsledky s referenční metodou HW vykazovala metoda BIA2. Přístroj Inbody 3.0 hodnotí tělesné impedance segmentálně. Pro zdravou populaci s normální hmotností nemusí mít tento přístroj výrazné výhody oproti klasickému tetrapolárnímu multifrekvenčnímu analyzéru. Náš experiment byl ale zaměřen na osoby s nadváhou (někteří byly nakonec klasifikováni jako obézní), u kterých může být distribuce extracelulární tekutiny výrazně změněna, a proto použití Inbody přinášelo určitou výhodu. Bioimpedanční metody jsou snadno dostupné, klienta nijak neomezují a za předpokladu vhodně použitých predikčních rovnic lze metodu doporučit k rozsáhlým epidemiologickým studiím. Lze doporučit i méně přesné analyzéry za podmínky, že je změna tělesné kompozice hodnocena vždy na stejném přístroji, který je zatížen stále stejnou chybou. Důležité je tedy sledovat hlavně změny v čase než samotné absolutní hodnoty.

I přesto, že metoda měření tloušťky kožní řasy vykazovala nejvyšší shodu s referenční metodou, nelze ji obecně doporučit pro hodnocení tělesné kompozice u obézních a jedinců s výraznější nadváhou. Uchopení a změření kožní řasy může být u těchto osob velmi obtížné a přispívá k vyšší biologické chybě. Také nelze tuto metodu doporučit u jedinců, kteří zredukovali vyšší množství tuková tkáně za relativně krátkou dobu, protože změny v tloušťce kožních řas neprobíhají rovnoměrně na jednotlivých tělesných partiích a také proto, že dochází k vyššímu poklesu tuku interně než subkutánně. Měření tloušťky kožní řasy je naopak vhodné jako monitoring změn tělesné kompozice u sportovců a obecně se také doporučuje u jedinců štíhlých a s normální hmotností. To ovšem platí pouze v případě, je-li dobře sestavena predikční rovnice pro odhad BF%, která respektuje věk, pohlaví, etnický původ a míru tělesné aktivity. Vzhledem k tomu, že je tato metoda zatížena vysokou biologickou chybou, je nutné, aby měření prováděla vždy pokud možno stejná osoba se stejným kaliperem. Jedině tak lze správně hodnotit změny výsledných hodnot.

# 13. Literatura


Arngrimsson, S.A. et al. (2000). Validation of body composition estimates in male and fiale distance runners using estimates form a four-component model [abstract online]. [cit. 2. dubna 2010]. American Journal of Human Biology, 12, 301-314. Dostupné na WWW: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11534021>.

Behnke, A.R. et al. (1942). The specific gravity of health men. Body weight and volume as an index of obesity. Journal of the American Medical Association 118, 495-498. [non vidi]

Bray, G.A., Bouchard, C. ( 2004). Handbook of obesity: etiology and pathophysiology. USA: Marcel Dekker.

Bunc, V. (2007). Možnosti stanovení tělesného složení u dětí bioimpedanční metodou. Časopis lékařů českých, 5 (146), 492-496 .

Bunc, V. (1998). Možnosti stanovení tělesného složení bioimpedanční metodou u netrénovaných i trénovaných jedinců. Medicina sportiva Bohemica et Slovaca, 3 (7), 89.

Bunc, V. et al. (1997). Inovace predikčních rovnic pro stanovení složení těla bioimpedanční metodou a měřením tloušťky kožních řas [online]. [cit. 2. dubna 2010]. Dílčí zpráva GAUK 316/97/C, Praha, UK FTVS. Dostupné na WWW: <http://www1.cuni.cz/cuni/ruk/gauk/zz1999/316_97-c.htm>.

Calder, P. et al. (1992). Site-specific differences in the fatty acid composition of Human Adipose Tissue. Lipids, 9 (27), 716-720.

Carneiro, J et al. (2002). Základy histologie. Praha. H+H.

Cooney, G.J. (2002). Obesity. London : Bailliere Tindall.

Dalton, S. (1997). Overweight and weight management. Maryland: Aspen Publishers.

Deurenberg, P. et al. (1991). Body mass index as a measure of body fatness: age- and sex-specific prediction formulas [online]. [cit. 25. ledna 2010]. British Journal of Nutrition, 65, 105-114. Dostupné na WWW: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/sites/pubmed>.

Deurenberg, P. et al. (1995). Multi-frequency impedance for the prediction of extracellular water and total body water. British Journal of Nutrition, 73, 349-358.

Deurenberg, P. (1996). Limitations of the bioelectrical impedance method for the assessment of body fat in severe obesity. The American Journal of Clinical Nutrition, 64, 449 – 452.

Ellis, K.J. et al. (1999). Bioelectrical impedance methods in clinical research: A follow-up to the NIH technology assessment conference [online]. [cit. 24. května 2010]. Nutrition 15, 874-880. Dostupné na WWW: <http://www.nutritionjrnl.com/article/PIIS0899900799001471/fulltext>.

Eston, R., Reilly, T. (2001). Kinanthropometry and exercise physiology laboratory manual: Tests, procedures and data (2nd ed.). UK: Routledge.

Fejfuša, M. (2005). 15. evropský meeting o hypertenzi, Kardiologická Revue, 7 (4), 214.

Fomon, S.J. et al.(1982). Body composition of reference children from birth to age 10 years [soubor PDF online]. [cit. 3. března 2010]. American Journal of Clinical Nutrition, 35, 1169–1175. Dostupné na WWW: <http://www.ajcn.org/cgi/reprint/35/5/1169.pdf>.

Forbes, G. B. (1987). Human Body Composition. New York: Springer Verlag.

Genton, L. et al. (2002). Dual-energy x-ray absorptiometry and body composition: differences between devices and comparison with reference methods. Nutrition, 1 (18), 66-70.

Gray, D.S. (1991). Use of relative weight and Body Mass Index for the determination of adiposity. The Journal of Clinical Epidemiology, 44 (6), 545-550.

Hainer, V. et al. (2004). Základy klinické obezitologie. Praha: Grada.

Hainer, V., Kunešová, M. et al. (1997). Obezita: etiopatogeneze, diagnostika a léčba. Praha: Galén.

Haluzík, M. (2008). Hormony tukové tkáně. Postgraduální medicína, 6 (10), 625-630.

Heymsfield, S.B. et al. (1989). Body composition in eldery subjects: A critical appraisal of clinical metodology [soubor PDF online]. [cit. 14. dubna 2010]. American Journal of Clinical Nutrition. 50, 1167–1175. Dostupné na WWW: < http://www.ajcn.org/cgi/reprint/50/5/1167>.

Heymsfield, S. B. (2005). Human Body Composition. USA: Human Kinetics.

Heymsfield, S.B. et al. (1993). Body Composition and Aging: A Study by In Vivo Neutron Activation Analysis. The Journal of Nutrition, 123, 432-437.

Heymsfield, S.B., Wang, Z. (1997). Human Body Composition: Advances in Models and Methods. Annual Review of Nutrition, 17, 527 - 558.

Heyward, H. V. (2006). Advanced fitness assessment and exercise prescription (5th ed.). USA: Human Kinetics.

Heyward, H., Wagner, D. (2004). Applied Body Composition Assessment (2nd ed.). Champaign IL: Human Kinetics.

Hlúbik, P. (2002). Obezita - závažný problém současnosti. Interní medicína pro praxi, 7, 314-317.

Holeček, M. (2006). Regulace metabolismu cukrů, tuků, bílkovin a aminokyselin. Praha: Grada.

Hrazdira, I. (2003). Stručné repetitorium ultrasonografie. 1. vyd. Praha: Audioscan.

Hrazdira, I., Mornstein, V. (2001). Lékařská biofyzika a přístrojová technika. Brno: Neptun.

Hrnčiariková, D. et al. (2008). Sarkopenie ve stáří. Zdravotnické noviny, 19 (57), 18-20.

Janouch, M. (2008). Bioelektrická impedanční analýza. Lékař a technika, 4 (38), 57-60.

Jelínek, R. et al. (2001). Skripta histologie [online]. [cit. 3. ledna 2010]. Dostupné na WWW: <http://www.lf3.cuni.cz/ustavy/histologie/doc/Hist.doc>.

Kalousková, P., Kunešová, M. (2008). Obezita - stále podceňovaná nemoc. Medicína pro praxi, 5 (1), 6-8.

Keys, A., Brožek, J. (1953). Body fat in adult man. Physiological Reviews 33, 245-252. [non vidi]

Kopelman, P.G. (2001). Obesity is a medical problem. Nature, l404, 635–643.

Kunešová, M. (2006). Životní styl a obezita [soubor PDF online]. [cit. 5. března 2010]. Závěrečná zpráva z výzkumu pro MZ ČR a Českou obezitologickou společnost. Dostupné na WWW: <http://www.stemmark.cz/download/press_release_obezita_Kunesova.pdf>.

Kunešová, M. et al. (2009). Obezita - doporučený diagnostický á léčebný postup pro všeobecné lékaře [soubor PDF online]. [cit. 20. března 2010]. Praha: SVL ČLS JEP. Dostupné na WWW: <http://www.svl.cz/Files/nastenka/page_4766/Version1/Obezita.pdf>.

Kytnarová, J. et al. (2008). Obezita v dětském věku. Postgraduální medicína, 10 (5), 20-25.

Lohman, T.G. (1992). Advances in body composition assessement. Champaign IL: Human Kinetics.

Lukaski, H.C. (2001). Body mass index, bioelectrical impedance, and body composition. Nutrition, 17 (1), 55-56.

Masopust, J. (2005). Pohybové ústrojí: Metabolický syndrom, 12, 1-2 Suppl. Praha: Společnost ČSL J.E. Purkyně.

Masopust, J. (2008). Metabolický syndrom 3. - aneb proč tloustneme [soubor PDF online]. [cit. 5. února 2010]. Dostupné na WWW: <http://www.roche-diagnostics.cz/download/prolekare/MS_III_web_June08.pdf>

Modlesky, C.M. et al. (1996). Density of the fat-free mass and estimates of body composition in male weight trainers [abstract online]. [cit. 30. dubna 2010]. Journal of Applied Physiology, 80, 2085 – 2096. Dostupné na WWW: < http://jap.physiology.org/cgi/content/abstract/80/6/2085>.

Moore, F.D. et al. (1963). The Body Cell Mass and Its Supporting Environment. Philadelphia: WB Saunders.

Norton, K., Olds, T. (1996). Anthropometrica: a textbook of body measurement for sports and health courses. Sydney: UNSW Press.

Norton, K., Olds, T. (2004). Anthropometrica: a text book for body measurement for sports and health courses. Australia: University of New South Wales Press Ltd.

Ott, M. et al (1995). Bioelectrical impedance analysis as a predictor of survival in patients with human immunodeficiency virus infection [abstract online]. [cit. 20. května 2010]. Journal of acquired immune deficiency syndromes and human retrovirology, 9, 20 - 25. Dostupné na WWW: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/7712230>.

Pařízková, J. (1973). Složení těla a lipidový metabolismus za různého pohybového režimu. Praha: Avicenum

Pietrobelli, A. et. al. (1996). Dual-energy X-ray absorptiometry body composition model: Review of physical concepts [online]. [cit. 20. května 2010]. American Journal of Physiology, 274. Dostupné na WWW: < http://ajpendo.physiology.org/cgi/reprint/271/6/E941>.

Pineau, J.C. et al. (2009). Ultrasound Techniques Applied to Body Fat Measurement in Male and Femal Athletes [soubor PDF online]. [cit. 5. dubna 2010]. Journal of Athletic Training, 44 (2), 142-147. Dostupné na WWW: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2657029/pdf/attr-44-02-142.pdf>.

Riegerová, J., Ulbrichová, M. (1993). Aplikace fyzické antropologie v tělesné výchově a sportu. Olomouc: Vydavatelství University Palackého.

Rybka, J. (2007). Diabetes Mellitus - komplikace a přidružená onemocnění. Praha: Grada.

Siri, W.E. (1956). The gross composition of the body. In Advances in biological and medici physics, ed. C.A. Tobias and J.H. Lawrence. New York: Academic Press, 239 – 280. [non vidi]

Siri, W.E. (1961). Body composition from fluid spaces and density: Analysis of methods. In Techniques for measuring body composition, ed. J. Brozek and A. Henschel. Washington, DC: National Academy of Sciences, 223 – 244. [non vidi]

Skorocká, I., Bunc, V., Kinkorová, I. (2004). Určení distribuce tělesných tekutin přístrojem IN BODY 3.0. Česká kinantropologie, 1 (8), 19-25.

Strunecká, A., Janský V. (2006). Hibernace a afektivní sezónní porucha. Psychiatrie, 4 (10), 220-223.

Thomas, E.L. et al. (1998). Magnetic resonance imaging of total body fat. Journal of Applied Physiology, 85, 1778-1785.

Thomas, T. R. (1978). A simple inexpensive method for estimating underwater weight. British Journal of Sports Medicine, 1 (12), 33-36.

Trayhurn, P. (2009). Obesity Facts: Fat – Hotting up Again. S. Karger. GmbH: Freiburg, 3, 143-145.

Understanding Your Body Fat Percentage [online]. [cit. 5. března 2010]. Dostupné na WWW: <http://www.healthchecksystems.com/bodyfat.htm>.

Všetulová, E., Bunc, V. (2004). Využití bioimpedanční metody pro stanovení procenta tělesného tuku obézních žen. Časopis lékařů českých, 143, 528-532.

Wang, Z. et al. (1992). The five-level model: a new approach to organizing body-composition research. American Journal of Clinical Nutrition, 56, 19-28.

Wielopolski, L. (2006). Measuring partial body potassium in the arm versus total body potassium [soubor PDF online]. [cit. 28. března 2010]. Journal of Applied Physiology, 101, 945-949. Dostupné na <http://jap.physiology.org/cgi/reprint/101/3/945>.

# 14. Seznam zkratek

| | |
|---|---|
| **ADP** | Air displacement pletysmography, pletysmografie |
| **BCA** | Body composition analysis, analýza tělesného složení |
| **BCM** | Body cell mass, aktivní buněčná hmota |
| **BF%** | Body fat percentage, Procento tělesného tuku |
| **BMI** | Body mass index |
| **BV** | Body volume, objem těla |
| **BWt** | Body weight, tělesná hmotnost |
| **DAG** | Diacylglyceroly |
| **Db** | Body density, tělesná denzita |
| **DEXA** | Dual energy x-ray absorptiometry |
| **ECF** | Extracellular fluid, extracelulární tekutina |
| **ECS** | Extracellular solids, extracelulární pevné částice |
| **FFA** | Free fatty acid, volné mastné kyseliny |
| **FFM** | Fat-free mass, beztuková tělesná hmota |
| **FM** | Fat mass, tuková hmota |
| **HW** | Hydrostatic weighting, podvodní vážení |
| **ICF** | Intracellular solids, intracelulární pevné částice |
| **IDF** | International Diabetes Federation |
| **IDM** | Izotopová diluční metoda |
| **LPL** | Lipoproteinová lipáza |
| **MAG** | Monoacylglycerol |
| **MK** | Mastné kyseliny |
| **NIR** | Near infrared interactance, infračervená interakce |
| **RČ** | Referenční člověk |
| **RV** | Residual volume, reziduální objem plic |
| **SKF** | Skinfold thickness, tloušťka kožní řasy |
| **TAG** | Triacylglyceroly |
| **TBK** | Total body potassium, celkový tělesný draslík |
| **TBM** | Total body mineral, celkový tělesné minerální látky |
| **TBW** | Total body water, celková tělesná voda |
| **TT** | Tuková tkáň |

# 15. Seznam obrázků, tabulek a grafů


Tab. 1 Klasifikace tělesné hmotnosti dle WHO (1998)

Tab. 2 Klasifikace hodnot BF%

Tab. 3 Přehled komplikací obezity Tab. 4: Prevalence obezity - faktory ovlivnění

Tab. 4 Prevalence obezity - faktory ovlivnění

Tab. 5 Přehled funkcí tukové tkáně

Tab. 6 Přehled nejdůležitějších hormonů produkovaných adipocyty

Tab. 7 Tělesné složení na úrovní atomického modelu

Tab. 8 Tělesné složení na úrovní molekulárního modelu

Tab. 9 Rovnice pro odhad některých tělesných komponent a referenční metody

Tab. 10 Tělesné složení na úrovní tkáňového modelu

Tab. 11 Vliv chyby měření reziduálního objemu, tělesné hmotnosti, hmotnosti pod vodou a teploty na výsledné hodnoty procenta tělesného tuku

Tab. 12 Populačně-specifické formule pro odhad BF% z 2-C tělesného modelu

Tab. 13 odpory některých tkání

Tab. 14 Lokalizace deseti kožních řas

Tab. 15 Predikční rovnice podle Pařízkové

Tab. 16 Porovnání predikčních rovnic různých autorů

Tab. 17 Inovace predikčních rovnic

Tab. 18 Charakteristika vybraného souboru

Tab. 19 Porovnání metod měření BF% pomocí korelační analýzy a párového t-testu

Obr. 1 Schéma Pod Bodu

Obr. 2 Schéma přístroje DEXA

Obr. 3 Schéma celotělového detektoru

Obr. 4 Schéma impedance tkáně

Obr. 5 Schéma elektrického modelu části tkáně

Obr. 6 Průchod harmonického proudu přes buněčnou membránu

Obr. 7 Fázový posun

Obr. 8 Měření tloušťky kožní řasy

Obr. 9 Typy kaliperů

Obr. 10 Umístění tetrapolárních elektrod

Obr. 11 Nutriguard-M Data Input

Obr. 12 Inbody 3.0

Obr. 13 Segmentální analýza

Obr. 14 Aparatura pro podvodní vážení

Obr. 15 Aparatura pro podvodní vážení

Graf 1 Změny tělesného tuku v průběhu života

Graf 2 Závislost BF% naměřeného pomocí BIA1 a referenční metody HW

Graf 3 Závislost BF% naměřeného pomocí BIA2 a referenční metody HW

Graf 4 Závislost BF% naměřeného pomocí SKF a referenční metody HW

Graf 5 Závislost BF% naměřeného pomocí BIA1 a BIA2

Graf 6 Závislost BF% naměřeného pomocí BIA1 a SKF

Graf 7 Závislost BF% naměřeného pomocí BIA2 a SKF