ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta elektrotechnická

Katedra teorie obvodů

Metoda hodnocení tělesného složení a dat získaných za pomocí bioimpedance

Method for body composition data abasement obtained by bioimpedance

Diplomová práce

Studijní program: (MP6) Biomedicínské inženýrství a informatika

Studijní obor: (3901T009) Biomedicínské inženýrství

Vedoucí práce: Ing. Jan Hlúbik

Jan Mondok

Praha 2016

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická

Katedra teorie obvodů

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student: Bc. Jan M o n d o k

Studijní program: Biomedicínské inženýrství a informatika (magisterský)

Obor: Biomedicínské inženýrství

Název tématu: Metoda hodnocení tělesného složení a dat získaných za pomoci bioimpedance

Pokyny pro vypracování:

1. Seznamte se s problematikou hodnocení tělesného složení pomocí metody BIA (body impedance analysis).
2. Proveďte rozbor problematiky a navrhněte možné metody pro vyhodnocování a klasifikaci výsledků získaných pomocí této metody (data budou dodána vedoucím práce, popřípadě naměřená studentem).
3. Na základě bodu 2 proveďte zpracování jednotlivých vybraných metod, rozdělení a navržení nejlepších postupů zpracování získaných dat.
4. Realizujte vyhodnocení dat získaných při experimentech.
5. Data vyhodnoťte a zpracujte v závislostech na kvalitativních a kvantitativních vlastnostech.

Seznam odborné literatury:

[1] Orjan G. Martinsen, Sverre Grimnes: Bioimpedance and Bioelectricity Basics, 2nd Edition. Elsevier, 2008
[2] Ramesh M. Gulrajani: Bioelectricity and Biomagnetism. John Wiley & Sons, Inc. New York, 1998

Vedoucí diplomové práce: Ing. Jan Hlúbik

Platnost zadání: do konce zimního semestru 2016/2017

L.S.

prof. Ing. Pavel Sovka, CSc.
vedoucí katedry

prof. Ing. Pavel Ripka, CSc.
Děkan

V Praze dne 29. 9. 2015

Prohlášení autora práce

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne ……. ……

Podpis autora práce

Poděkování

Děkuji Ing. Janu Hlúbikovi za vedení mé diplomové práce, za ochotnou pomoc při řešení problémů, za podnětné připomínky a cenné rady a dále děkuji své rodině za podporu při studiu.

Abstrakt:

Stav tělesného složení informuje o podílu tukové a netukové hmoty v těle a tudíž je důležitý pro sledování zdravotního stavu jednotlivce. Práce se zabývá zjišťováním tělesného složení pomocí bioimpedanční analýzy. Je to přesná metoda pro měření množství tukové hmoty a vody v těle, založená na měření odporu, který kladou tělesné tkáně protékajícímu střídavému elektrickému proudu o nízké voltáži. Vychází ze skutečnosti, že elektrický proud lépe prochází prostředím s větším zastoupením tekutiny, tzn. v lidském těle lépe tkání svalovou než tukovou. Na souborech osob byl sledován vliv pohlaví, výšky, BMI, substance mezi elektrodami a pokožkou a krátkodobé fyzické zátěže na bioimpedancí naměřené hodnoty.

Klíčová slova: Bioimpedance, tělesné složení, fyziologie, frekvence

Abstract:

The state of body composition informs about amount of fat and unfat mass in the human body and therefore it is important for monitoring the health state of the individual. This thesis deals with investigation of body composition using bioimpedance analysis. Bioimpedance analysis is an accurate method for measuring the fat mass and total body water, using small electrical current applied to the human body to measure two basic components of impedance – reaktance and rezistence. Based on the fact that electric current passes better through the tissue with more liquidie. in the human body, transmission is better in wer muscular tissuer than solid fat tissue with no electrolytes. In the thesis was studied influence of gender, height, BMI, used electrode-skin electrolytic transmitter and influence of physical aktivity on values of measured impedance.

Key words: Bioimpedance, body composition, physiology, frequency

Obsah

Seznam zkratek **11**

Seznam obrázků **12**

Seznam tabulek **13**

Úvod **16**

1 Teoretická část **18**

1.1 Buňka 18

1.1.1 Buněčná membrána 19

1.2 Transport látek 21

1.2.1 Pasivní transport 21

1.2.2 Aktivní transport 23

1.3 Typy tkání 24

1.3.1 Svalová tkáň 25

1.3.2 Tuková tkáň 26

1.3.3 Kostní tkáň 28

1.4 Celková tělesná voda 29

1.4.1 Intracelulární tekutina 30

1.4.2 Extracelulární tekutina 31

1.4.3 Iontové složení obou tekutin 31

1.5 Bioimpedance 34

1.5.1 Model lidského těla 34

1.5.2 Měření bioimpedance 37

1.5.3 Impedance a její základní veličiny 39

1.5.4 Faktory ovlivňující měření 41

1.6 Statistické testy 42

1.6.1 Neparametrický pořadový test Mann – Whitney 42

1.6.2 Spearmanův test nezávislosti 42

1.6.3 Wilcoxonův test 43

2 Praktická část 44

2.1 Charakteristika dvanáctičlenného souboru 45

2.2 Charakteristika patnáctičlenného souboru 46

2.3 Statistické zpracování dat 47

2.3.1 Popisná charakteristika dvanáctičlenného souboru 47

2.3.2 Popisná charakteristika patnáctičlenného souboru 49

2.3.3 Test hypotéz pro dvanáctičlenný soubor 51

2.3.4 Test hypotéz pro patnáctičlenný soubor 69

3 Závěr 76

4 Bibliografie 79

Seznam zkratek

DNA - deoxyribonukleová kyselina

rRNA - ribozomální ribonukleová kyselina

mRNA - messenger ribonukleová kyselina

ATP - adenosintrifosfát

FFM - fat free mass (tukuprostá hmota)

FM - fat mass (tuková hmota)

TBW - total body water (celková tělesná voda)

MM - muscle mass (svalová hmota)

ECW - extracelular water (extracelulární tekutina)

ICW - intracelular water (intracelulární tekutina)

H_0 - nulová hypotéza

H_A - alternativní hypotéza

Seznam obrázků

Obrázek 1: *Schéma buňky a jejích nejdůležitějších organel* 18
Obrázek 2: *Schéma mitochondrie* 19
Obrázek 3: *Schéma buněčné membrány* 20
Obrázek 4: *2-C model složení lidského těla* 24
Obrázek 5: *Model 4-C složení lidského těla* 25
Obrázek 6: *Procentuální zastoupení tuku pro muže a ženy* 27
Obrázek 7: *Schéma elektrolytu* 31
Obrázek 8: *Vznik membránového potenciálu na membráně propustné pro* K^+ 32
Obrázek 9: *Model rozdělení těla na 5 základních válců* 34
Obrázek 10: *Válec o ploše A a délce L, kterým protéká elektrický proud* 35
Obrázek 11: *Graf závislosti impedance na rezistenci, reaktanci a frekvenci* 36
Obrázek 12: *Obvod nahrazující impedanční vlastnosti tkáně.* $R_{(ECW)}$ *– resistence extracelulární tekutiny,* $R_{(ICW)}$ *– resistence intracelulární tekutiny, Cm – membránová kapacitance* 36
Obrázek 13: *Nastavení požadovaného proudu* 37
Obrázek 14: *Obvod s měřenou osobou* 38
Obrázek 15: *Proud procházející tukovou tkání* 38
Obrázek 16: *Proud protékající svalovou tkání* 39
Obrázek 17: *Impedance jako komplexní veličina* 39
Obrázek 18: *Průchod proudu při různých frekvencích* 41
Obrázek 19: *Vliv substance na naměřené hodnoty* 69

Seznam tabulek

Tabulka 1: *Tělesná voda a její rozložení v intracelulárním a extracelulárním prostoru v závislosti na věku (hodnoty jsou v % tělesné vody)* 30
Tabulka 2: *Srovnání průměrné koncentrace různých látek uvnitř a vně buňky* 33
Tabulka 3: *Charakteristika dvanáctičlenného souboru* 45
Tabulka 4: *Charakteristika patnáctičlenného souboru* 46
Tabulka 5: *Charakteristika hodnot impedance při frekvenci proudu 50 kHz* 47
Tabulka 6: *Charakteristika hodnot FFM při frekvenci proudu 50 kHz* 47
Tabulka 7: *Charakteristika hodnot FM při frekvenci proudu 50 kHz* 47
Tabulka 8: *Charakteristika hodnot MM při frekvenci proudu 50 kHz* 48
Tabulka 9: *Charakteristika hodnot ECW při frekvenci proudu 50 kHz* 48
Tabulka 10: *Charakteristika hodnot ICW při frekvenci proudu 50 kHz* 48
Tabulka 11: *Charakteristika hodnot FFM při frekvenci proudu 50 kHz* 49
Tabulka 12: *Charakteristika hodnot FM při frekvenci proudu 50 kHz* 49
Tabulka 13: *Charakteristika hodnot ECW při frekvenci proudu 50 kHz* 50
Tabulka 14: *Charakteristika hodnot ICW při frekvenci proudu 50 kHz* 50
Tabulka 15: *Mann - Whytneyho test - vliv pohlaví na hodnoty impedance* 51
Tabulka 16: *Mann - Whytneyho test - vliv pohlaví na hodnoty FFM* 51
Tabulka 17: *Mann - Whytneyho test - vliv pohlaví na hodnoty FM* 51
Tabulka 18: *Mann - Whytneyho test - vliv pohlaví na hodnoty MM* 52
Tabulka 19: *Mann - Whytneyho test - vliv pohlaví na hodnoty ECW* 52
Tabulka 20: *Mann - Whytneyho test - vliv pohlaví na hodnoty ICW* 52
Tabulka 21: *Spearmannův testu - vliv BMI na hodnoty impedance* 53
Tabulka 22: *Spearmannův testu - vliv BMI na hodnoty FFM* 53
Tabulka 23: *Spearmannův testu - vliv BMI na hodnoty FM* 53
Tabulka 24: *Spearmannův testu - vliv BMI na hodnoty MM* 53
Tabulka 25: *Spearmannův testu - vliv BMI na hodnoty ECW* 54
Tabulka 26: *Spearmannův testu - vliv BMI na hodnoty ICW* 54
Tabulka 27: *Spearmannův testu - vliv BMI na hodnoty impedance* 54
Tabulka 28: *Spearmannův testu - vliv BMI na hodnoty FFM* 55
Tabulka 29: *Spearmannův testu - vliv BMI na hodnoty FM* 55
Tabulka 30: *Spearmannův testu - vliv BMI na hodnoty MM* 55
Tabulka 31: *Spearmannův testu - vliv BMI na hodnoty ECW* 55
Tabulka 32: *Spearmannův testu - vliv BMI na hodnoty ICW* 56

Tabulka 33: *Wilcoxonův test - rozdílné impedance u substancí 1 a 2* 57
Tabulka 34: *Wilcoxonův test - rozdílné impedance u substancí 1 a 3* 57
Tabulka 35: *Wilcoxonův test - rozdílné impedance u substancí 1 a 4* 57
Tabulka 36: *Wilcoxonův test - rozdílné impedance u substancí 1 a 5* 58
Tabulka 37: *Wilcoxonův test - rozdílné impedance u substancí 1 a 6* 58
Tabulka 38: *Wilcoxonův test - rozdílné impedance u substancí 1 a 7* 58
Tabulka 39: *Wilcoxonův test - rozdílné impedance u substancí 1 a 8* 59
Tabulka 40: *Wilcoxonův test - rozdílné impedance u substancí 1 a 9* 59
Tabulka 41: *Wilcoxonův test - rozdílné impedance u substancí 2 a 3* 59
Tabulka 42: *Wilcoxonův test - rozdílné impedance u substancí 2 a 4* 60
Tabulka 43: *Wilcoxonův test - rozdílné impedance u substancí 2 a 5* 60
Tabulka 44: *Wilcoxonův test - rozdílné impedance u substancí 2 a 6* 60
Tabulka 45: *Wilcoxonův test - rozdílné impedance u substancí 2 a 7* 61
Tabulka 46: *Wilcoxonův test - rozdílné impedance u substancí 2 a 8* 61
Tabulka 47: *Wilcoxonův test - rozdílné impedance u substancí 2 a 9* 61
Tabulka 48: *Wilcoxonův test - rozdílné impedance u substancí 3 a 4* 62
Tabulka 49: *Wilcoxonův test - rozdílné impedance u substancí 3 a 5* 62
Tabulka 50: *Wilcoxonův test - rozdílné impedance u substancí 3 a 6* 62
Tabulka 51: *Wilcoxonův test - rozdílné impedance u substancí 3 a 7* 63
Tabulka 52: *Wilcoxonův test - rozdílné impedance u substancí 3 a 8* 63
Tabulka 53: *Wilcoxonův test - rozdílné impedance u substancí 3 a 9* 63
Tabulka 54: *Wilcoxonův test - rozdílné impedance u substancí 4 a 5* 64
Tabulka 55: *Wilcoxonův test - rozdílné impedance u substancí 4 a 6* 64
Tabulka 56: *Wilcoxonův test - rozdílné impedance u substancí 4 a 7* 64
Tabulka 57: *Wilcoxonův test - rozdílné impedance u substancí 4 a 8* 65
Tabulka 58: *Wilcoxonův test - rozdílné impedance u substancí 4 a 9* 65
Tabulka 59: *Wilcoxonův test - rozdílné impedance u substancí 5 a 6* 65
Tabulka 60: *Wilcoxonův test - rozdílné impedance u substancí 5 a 7* 66
Tabulka 61: *Wilcoxonův test - rozdílné impedance u substancí 5 a 8* 66
Tabulka 62: *Wilcoxonův test - rozdílné impedance u substancí 5 a 9* 66
Tabulka 63: *Wilcoxonův test - rozdílné impedance u substancí 6 a 7* 67
Tabulka 64: *Wilcoxonův test - rozdílné impedance u substancí 6 a 8* 67
Tabulka 65: *Wilcoxonův test - rozdílné impedance u substancí 6 a 9* 67
Tabulka 66: *Wilcoxonův test - rozdílné impedance u substancí 7 a 8* 68

Tabulka 67: *Wilcoxonův test - rozdílné impedance u substancí 7 a 9* 68
Tabulka 68: *Wilcoxonův test - rozdílné impedance u substancí 8 a 9* 68
Tabulka 69: *Wilcoxonův test - vliv sportovní zátěže na FMM na přístroji TANITA* 69
Tabulka 70: *Wilcoxonův test - vliv sportovní zátěže na FM na přístroji TANITA* 69
Tabulka 71: *Wilcoxonův test - vliv sportovní zátěže na TBW na přístroji TANITA* 70
Tabulka 72: *Wilcoxonův test - vliv sportovní zátěže na ECW na přístroji TANITA* 70
Tabulka 73: *Wilcoxonův test - vliv sportovní zátěže na ICW na přístroji TANITA* 70
Tabulka 74: *Wilcoxonův test - vliv sportovní zátěže na FFM na přístroji InBody* 71
Tabulka 75: *Wilcoxonův test - vliv sportovní zátěže na FM na přístroji InBody* 71
Tabulka 76: *Wilcoxonův test - vliv sportovní zátěže na TBW na přístroji InBody* 71
Tabulka 77: *Wilcoxonův test - vliv sportovní zátěže na ECW na přístroji InBody* 72
Tabulka 78: *Wilcoxonův test - vliv sportovní zátěže na ICW na přístroji InBody* 72
Tabulka 79: *Spearmannův testu - rozdílné hodnoty FMM u obou přístrojů před zátěží* 72
Tabulka 80: *Spearmannův testu - rozdílné hodnoty FM u obou přístrojů před zátěží* ... 73
Tabulka 81: *Spearmannův testu - rozdílné hodnoty TBW u obou přístrojů před zátěží* . 73
Tabulka 82: *Spearmannův testu - rozdílné hodnoty ECW u obou přístrojů před zátěží* 73
Tabulka 83: *Spearmannův testu - rozdílné hodnoty ICW u obou přístrojů před zátěží* .. 73
Tabulka 84: *Spearmannův testu - rozdílné hodnoty FMM u obou přístrojů před zátěží* 74
Tabulka 85: *Spearmannův testu - rozdílné hodnoty FM u obou přístrojů před zátěží* ... 74
Tabulka 86: *Spearmannův testu - rozdílné hodnoty TBW u obou přístrojů před zátěží* . 74
Tabulka 87: *Spearmannův testu - rozdílné hodnoty ECW u obou přístrojů před zátěží* 74
Tabulka 88: *Spearmannův testu - rozdílné hodnoty ICW u obou přístrojů před zátěží* .. 75

Úvod

Stav tělesného složení podává u sledovaných pacientů informace o podílu tukové a tuku prosté hmoty v těle, o zastoupení tělesných tekutin a svalové hmoty. Znalost tělesného složení pacienta se používá při sledování zdravotního stavu a případné indikaci léčby. Pro udržování dobrého zdraví nejde pouze o udržování tělesné hmotnosti, ale mnohem důležitější je, z čeho je ona tělesná hmotnost složená, čili co se skrývá uvnitř těla. Hodnoty získané analýzou tělesného složení pak ukazují, zda je vhodné u sledovaného jedince změnit životní styl, např. stravování či pohybovou aktivitu, za účelem úpravy tělesné hmotnosti a to ve smyslu jak snižování tělesného tuku, tak i zvyšování svalové hmoty, nebo zda je vše v pořádku a není nutné měnit nic.

Pro orientační zjištění množství tuku v organismu/zdravotního stavu za účelem odhadnutí rizika spojeného s obezitou se dnes nejčastěji používá BMI neboli body mass index. Vyjadřuje poměr mezi hmotností a kvadrátem tělesné výšky udávané v metrech. Hodnota parametru dává však jen orientační informaci o tom, zda má vyšetřovaný člověk normální tělesnou hmotnost, podváhu, nadváhu nebo zda trpí obezitou. Informace je orientační z důvodu, že při výpočtu BMI je ignorováno velké množství důležitých faktorů jako je např.: rozdílná stavba těla u mužů a žen, věk, způsob života, tělesné aktivity a další. BMI tak neodráží přesně podíl tuku a tuku prosté (hlavně svalové) hmoty u sledovaného jedince. Pro příklad sportovec s velkým množstvím svalové hmoty (kulturista) má vysoké BMI a je hodnocen jako obézní, i když množství jeho tuku je pod úrovní běžné populace (do 20% u mužů a do 33% u žen jak ukazuje obrázek 6). V klinické praxi se proto používají přesnější vyšetřovací metody a jednou z nich je právě bioimpedanční analýza. Ta je založená na měření odporu kladeného tělesnými tkáněmi tekoucímu střídavému elektrickému proudu o velmi nízkém napětí.

Teoretická část této diplomové práce pojednává o základní fyziologii buněčné membrány, o typech tkání, o významu celkové tělesné vody pro bioimpedanční měření. Je zde vysvětlena podstata bioimpedance, podrobněji popsán postup bioimpedančního měření a jsou uvedeny a vysvětleny vzorce používané při zpracování naměřených hodnot.

Praktická část se zabývá statistickým zpracováním biompedancí naměřených výsledků. Pracoval jsem se dvěma soubory osob. U osob v prvním souboru jsem sledoval a statisticky zpracoval vliv pohlaví, BMI, výšky a substance používané mezi

elektrodami a pokožkou na naměřené hodnoty. U osob ve druhém souboru jsem sledoval a zpracoval vliv krátkodobé fyzické zátěže prováděné těsně před začátkem měření.

1 Teoretická část

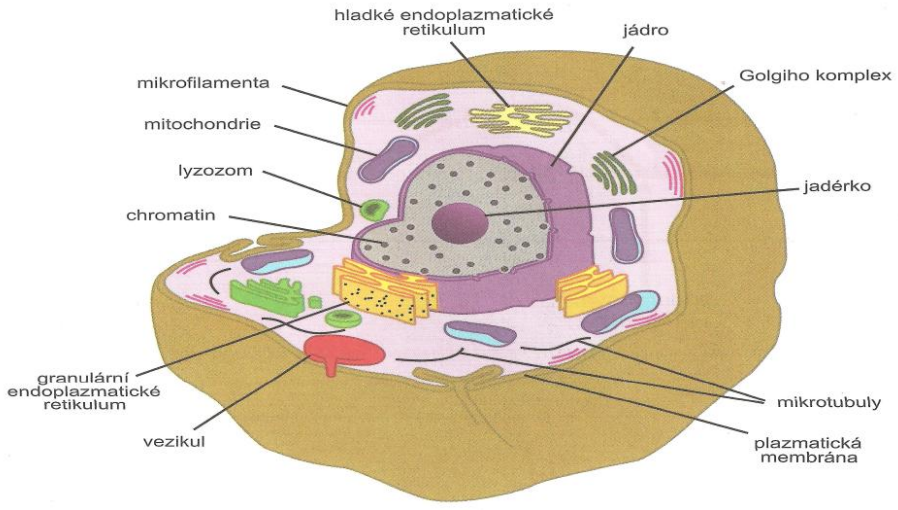
Pro pochopení bioimpedanční analýzy jako měřící techniky pro určování tělesného složení je nutné se seznámit s fyziologií buňky, především buněčné membrány. Následující kapitoly popisují buňku jako základní stavební jednotku každého živého organismu, transport iontů jako přenašečů elektrických nábojů skrze buněčnou membránu, typy tkání vzhledem k celkovému obsahu vody v nich a význam celkové tělesné vody v organismu pro bioimpedanční analýzu.

1.1 Buňka

Buňku jako první popsal v 19. století významný český fyziolog Jan Evangelista Purkyně. Buňka je základní stavební jednotkou živého organismu. Je schopná plnit všechny základní funkce jako je pohyb, růst, výměna látek, rozmnožování a dědičnost. V lidském těle existuje více než 200 druhů buněk. Podle jejich funkce je dělíme do 5 základních typů:

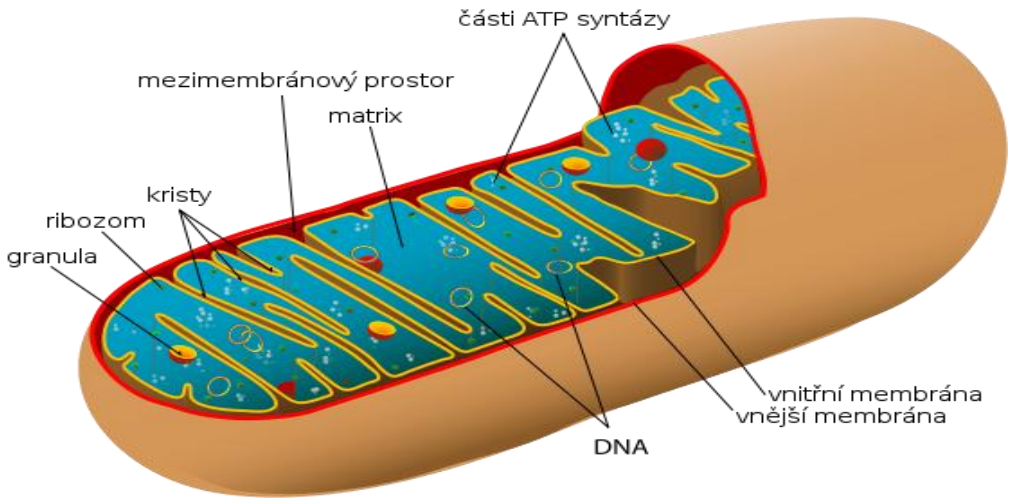
- nervové
- svalové
- epitelové buňky pojivých tkání
- krevní elementy

Každá buňka obsahuje buněčné útvary, tzv. organely. Jsou to subcelulární struktury, které mají různé funkce, stejně jako v lidském těle mají různé orgány různé funkce.



Obrázek 1: *Schéma buňky a jejích nejdůležitějších organel* [1]

Důležitou organelou v buňce jsou mitochondrie. Jsou přítomny ve všech buňkách. Základní struktura je tvořena dvěma lipid-proteinovými membránami. Vnitřní membrána tvoří do nitra buňky záhyby, tzv. kristy, na nichž probíhá tzv. buněčné dýchání. Při něm se oxidačními procesy uvolňuje energie nutná pro životní děje v buňce. Tato energie se váže do makroergických vazeb sloučeniny adenozintrifosfátu (ATP). ATP je transportován vně mitochondrie a difunduje buňkou do potřebných oblastí. Proto tuto svou funkci jsou mitochondrie nazývány „buněčnou elektrárnou“.

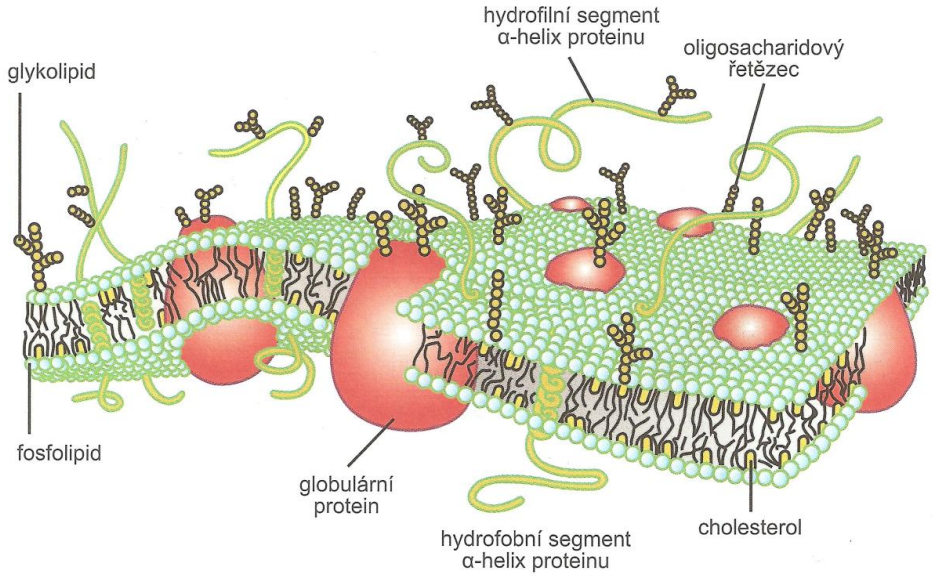


Obrázek 2: *Schéma mitochondrie* [15]

Na povrchu každé buňky lidského těla je plasmatická membrána. Tato membrána odděluje vnitřek buňky, tzv. intracelulární prostředí, od zevního, tzv. extracelulárního prostředí. Intracelulární prostředí je vyplněno intracelulární tekutinou, která se nazývá cytosol. V ní jsou uloženy jednotlivé buněčné organely

1.1.1 Buněčná membrána

Buněčná membrána plní ochranou funkci buňky proti vlivům z vnějšího prostředí, zodpovídá za celistvost buňky, udržuje stálost intracelulárního i extracelulárního prostředí a zajišťuje transport látek mezi vnitřním a zevním prostředím buňky. Buněčná membrána je složena z fosfolipidů, glykolipidů a cholesterolu. Všechny tyto složky vytvářejí jakousi dvojvrstvu, v níž jsou hydrofobní (vodu odpuzující) části molekul orientovány k sobě a hydrofilní (vodu přitahující) části jsou orientovány k okolnímu vodnému prostředím. Buněčná membrána obsahuje také bílkoviny, které jsou do ní zanořeny. Některé prostupují celou membránou a některé jsou uloženy pouze na jejím povrchu.



Obrázek 3: *Schéma buněčné membrány* [1]

Pro měření bioimpedance jsou vlastnosti buněčné membrány velmi důležité. Buněčná membrána totiž mění své chování pro protékající elektrický proud v závislosti na jeho frekvenci. Elektrický proud o vysokých frekvencích membránou proteče, ale elektrický proud o malých frekvencích se skrze buněčnou membránu nedostane. Díky této vlastnosti buněčné membrány lze následně provádět měření intra- a extracelulární tekutiny. Chceme-li v těle změřit obsah pouze extracelulární tekutiny, použijeme k měření elektrický proud o nízkých frekvencích, ale ke změření obsahu celkové tělesné vody, tzn. i tekutiny intracelulární, musíme použít elektrický proud o frekvencích vysokých. Mezi nejčastěji používané vysoké frekvence se řadí frekvence proudu o frekvencích 50 kHz, 200 kHz nebo 500 kHz.

1.2 Transport látek

Jak již bylo uvedeno v předchozí kapitole, buněčná membrána tvoří vlastně hráz, která odděluje vnitřní prostředí buňky od vnějšího. Obě prostředí se svým složením podstatně liší. Pro život každé buňky je stálost jejího vnitřního prostředí velmi zásadní a za spotřeby energie si tuto stálost musí permanentně udržovat. Využívá k tomu právě výše zmíněnou buněčnou membránu s jejími transportními mechanismy jako např. iontové pumpy, transport pomocí přenašečů, póry membrány a procesy cytózy.

Transport látek skrze buněčnou membránu lze rozdělit na pasivní transport, aktivní transport a cytózu.

1.2.1 Pasivní transport

Základním pasivním transportem buněčnou membránou je difúze. Difúze je proces, při kterém se látka pohybuje z prostředí s vysokou koncentrací do prostředí, kde je její koncentrace nižší, tzn. látka se pohybuje po koncentračním gradientu. Na rychlost difúze má také vliv prostředí, ve kterém difúze probíhá. Ve vzduchu je difúzní proces relativně rychlý, ve vodném prostředí je pomalejší a ve tkáních už velmi pomalý. Další faktory, které ovlivňují difúzi, jsou transportní vzdálenost a povaha látky, která difunduje.

Fyzikální zákon, který popisuje difúzi je Fickův difúzní zákon (1). Vysvětluje, že množství látky, které difunduje za určitý čas, je přímo úměrné jejímu difúznímu koeficientu, koncentračnímu rozdílu látky po obou stranách membrány a ploše, na níž difúze probíhá. Nepřímo úměrné je difúzní vzdálenosti.

$$\frac{\boldsymbol{dQ}}{\boldsymbol{dt}} = \frac{\boldsymbol{D} \cdot \boldsymbol{F}}{\boldsymbol{l}} \cdot \Delta \boldsymbol{C} \tag{1}$$

kde $\boldsymbol{Q}$ je množství látky, $\boldsymbol{D}$ je difúzní koeficient, $\boldsymbol{F}$ je výměnná plocha, $\Delta \boldsymbol{C}$ je koncentrační rozdíl a $\boldsymbol{l}$ je difúzní vzdálenost.

Ze vzorce (1) vyplývá, že čím větší bude difúzní koeficient, výměnná plocha a rozdíl koncentrací látky a čím menší bude difúzní vzdálenost, tím větší bude množství látky difundující za určitý čas.

Koeficient difúze $\boldsymbol{D}$ probíhající na buněčné membráně získáme ze vzorce (2).

$$\boldsymbol{D = \frac{R \cdot T \cdot k}{6 \cdot \pi \cdot \mu \cdot r}} \tag{2}$$

kde $\boldsymbol{R}$ je molární plynová konstanta, $\boldsymbol{T}$ je absolutní teplota, $\boldsymbol{k}$ je rozdělovací koeficient mezi olejem a vodou, $\boldsymbol{r}$ je poloměr difundujících molekul a $\boldsymbol{\mu}$ je viskozita membrány.

Protože tloušťka membrány je většinou stejná, tudíž považována za konstantní, můžeme ve vzorci (1) nahradit $\boldsymbol{D/l}$ koeficientem permeability $\boldsymbol{P}$ a dostaneme vztah:

$$\boldsymbol{\frac{dQ}{dt} = P \cdot F \cdot \Delta C} \tag{3}$$

Ve vzorci (3) můžeme plochu difúze $\boldsymbol{F}$ vztáhnout na rychlost transportu látek $\boldsymbol{Q/t}$ skrze membránu a dostaneme upravený vzorec:

$$\boldsymbol{\frac{dQ}{dt \cdot F} = P \cdot \Delta C} \tag{4}$$

Protože ionty nesou elektrický náboj, lze koeficient permeability určitého iontu x(=P_x) převést na elektrickou vodivost pro tento iont x(=q_x):

$$\boldsymbol{g_x = \frac{P_x \cdot z_x^2 \cdot F^2 \cdot c_x}{R \cdot T}} \tag{5}$$

kde $\boldsymbol{R}$ je molární plynová konstanta, $\boldsymbol{T}$ je absolutní teplota, $\boldsymbol{P_x}$ je elektrická vodivost, $\boldsymbol{z_x}$ je počet nábojů iontu, $\boldsymbol{c_x}$ je střední iontová aktivita membrány a $\boldsymbol{F}$ je faradayova konstanta.

Střední iontová aktivita membrány se počítá dle vztahu:

$$c = \frac{c_{extra} - c_{intra}}{\ln(c_{extra}) - \ln(c_{intra})} \quad (6)$$

1.2.2 Aktivní transport

Často není pasivní transport dostačující a látky se musejí přes membránu pohybovat proti svému koncentračnímu nebo elektrickému gradientu. V těchto případech se uplatňuje transport aktivní. Protože je látka transportována proti svému gradientu, vyžaduje tento transportní mechanismus velké množství energie. Ta je získávána z potravy přeměnou na energeticky bohaté sloučeniny, především na ATP.

Aktivní transport lze rozdělit do dvou skupin a to na primární transportní mechanismy a sekundární transportní mechanismy.

Primární transportní mechanismy spotřebovávají energii přímo. Sekundární transportní mechanismy využívají k transportu látky spojení prostřednictvím přenašeče s pasivním transportem nějaké látky. Nejrozšířenějším mechanismem aktivního transportu je sodíko – draslíková pumpa.

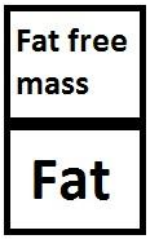
1.3 Typy tkání

Soubory buněk vytvářejí tkáň. Buňky, které vykonávají stejnou funkci, vytvářejí určitý typ tkáně. Existuje svalová tkáň, tuková tkáň, kostní tkáň a další.

Každý typ tkání klade procházejícímu elektrickému proudu jiný specifický odpor. Jeho změřením se dá určit tělesné složení ve smyslu kvantitativního zastoupení tukuprosté hmoty, tukové hmoty a celkové tělesné vody. Toto složení se vyjadřuje pomocí hodnot – fat free mass index (FFM, tukuprostá tkáň), fat mass index (FM, tuková hmota), total body water index (TBW, celková tělesná voda).

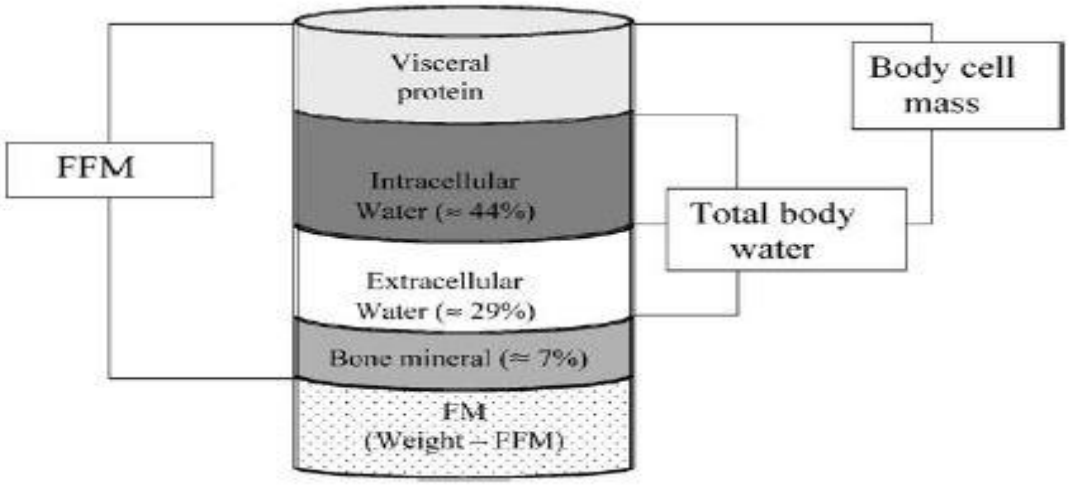
Jednotlivé, pro bioimpedanci důležité typy tkání jsou podrobněji popsány níže v nediletujícím textu.

Základní model, který popisuje složení lidského těla je 2-C model. (obrázek 4). Tento model využívá dvě základní složky. Jimi jsou FFM (tukuprostá hmota) a FM (tuková hmota).



Obrázek 4: *2-C model složení lidského těla* [10]

Model, který tělesné tkáně popisuje z pohledu více parametrů a rozvádí jednoduchý 2-C model využívá již podstatně více hodnot tělesného složení. Základní složky ze základního modelu jsou následně detailněji rozepsány a vzniká tak model 4-C (obrázek 5). Hodnotu FFM spoluvytvářejí tělesné proteiny, intracelulární tekutina, extracelulární tekutina a kostní hmota. Hodnota TBW je tvořena intracelulární a extracelulární tekutinou. Hodnotu FM získáme tím, že od hmotnosti těla odečteme hodnotu FFM.



Obrázek 5: *Model 4-C složení lidského těla* [7]

Množství netukové tkáně neboli fat free mass, se dá spočítat dle následujícího vzorce [24] :

$$\boldsymbol{FFM = 0.827 \cdot \frac{height^2}{R} + 5.21} \tag{7}$$

kde $\boldsymbol{height}$ je výška a $\boldsymbol{R}$ je rezistence.

1.3.1 Svalová tkáň

Lidský organismus obsahuje tři druhy svalové tkáně. Jde o svalovou tkáň hladkou, příčně pruhovanou (kosterní) a srdeční.

Svalovou tkáň vytvářejí svalová vlákna, která obsahují kontraktilní bílkoviny aktin a myosin. Tyto bílkoviny zajišťují kontrakci svalu. Skupina svalových vláken tvoří svalový snopeček, skupina svalových snopečků tvoří svalový snopec a skupina svalových snopců tvoří sval. Svalová tkáň tvoří největší část složky FFM.

Svalová buňka má vláknitý tvar. Vývojově, v závislosti na své funkci, vznikla spojením většího množství buněk, tudíž obsahuje mnoho jader a také velké množství tekutiny, díky níž je sval velmi dobře vodivý. *Konduktivita neboli vodivost svalové tkáně je 0,36185 S/m.* [9]

Množství svalové tkáně neboli muscle mass, se dá spočítat dle následujícího vzorce [25] :

$$\boldsymbol{MM = \left(\frac{height}{R} \cdot 0.401 + gender \cdot 3825 + age \cdot (-0.071)\right) + 5.102}$$

(8)

kde $\boldsymbol{height}$ je výška v centimetrech, $\boldsymbol{R}$ je rezistence, $\boldsymbol{age}$ je věk a $\boldsymbol{gender}$ je 1, jedná-li se o muže nebo 2, jedná-li se o ženy.

1.3.2 Tuková tkáň

Tuková tkáň je zásobárnou energie pro lidský organismus. Má ještě další úkoly, např. chrání vnitřní orgány, slouží jako tepelná izolace těla, tuky jsou součástí buněčných membrán a rozpouštějí se v nich také některé vitamíny (A, E, D). Tuková tkáň je podstatně méně vodivá než tkáň svalová, protože její buňky jsou k sobě velmi nahuštěny, nemají vláknitý charakter a obsahují malé množství vody. *Konduktivita tukové tkáně je 0,024414 S/m.* [9]

V lidském těle rozeznáváme tuk podkožní a tuk útrobní (viscerální). Tuková tkáň podkožní tvoří souvislou vrstvu pod kůží celého těla. Kromě výše uvedených funkcí také absorbuje z těla nebezpečné mastné kyseliny a obsahuje protizánětlivé látky, které zabraňují vzniku krevních sraženin a tím ucpání cév. Množství podkožního tuku je důležité i pro vzhled člověka, čímž může mít vliv na jeho psychiku. Rozložení podkožního tuku v lidském těle není u mužů a žen stejnoměrné. U žen se nejvíce ukládá na bocích a stehnech, u mužů je to naopak v oblasti břicha.

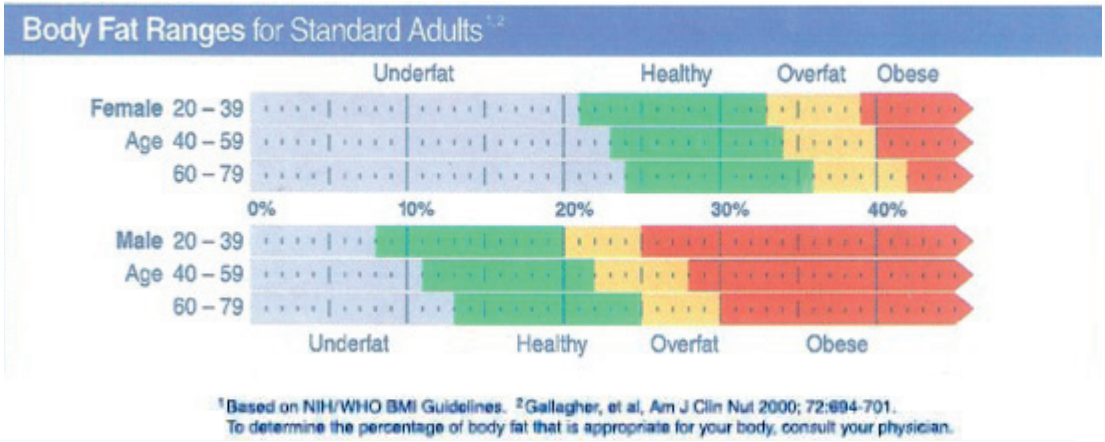
Tuk viscerální obaluje orgány a hodně se hromadí v oblasti břicha. V nadměrném množství tento vnitřní tuk orgány zatěžuje a brání jejich správné funkci. Může tak být příčinou mnoha chorob. Jde především o přetížení srdce a krevního oběhu, vznik vysokého krevního tlaku, vznik cukrovky, vlivem vysoké hladiny cholesterolu dochází k srdečnímu nebo mozkovému infarktu. Celkově pak nadměrná tuková tkáň nezdravě přetěžuje pohybový aparát, tj. především páteř a nosné klouby.

$\boldsymbol{FM}$ je množství tuku v těle a počítá se dle následujícího vzorce [26] :

$$\boldsymbol{FM = 14.94 - 0.079 \cdot \frac{height^2}{R} + 0.818 \cdot weight - 0.231 \cdot height - 0.064 \cdot sex \cdot weight - 0.077 \cdot age} \quad (9)$$

kde $\boldsymbol{height}$ je výška, $\boldsymbol{R}$ je rezistence, $\boldsymbol{weight}$ je váha, $\boldsymbol{age}$ je věk a $\boldsymbol{sex}$ je 1, jedná-li se o muže nebo 0, jedná-li se o ženy.

Podle zjištěného procentuálního zastoupení tuku v těle je pacient podle tabulky (obrázek 6) zařazen do určité skupiny - podváha, normál, nadváha, obezita. Z toho, do které skupiny je pacient zařazen, může následně vycházet potřebná léčba. Procento tuku může velice dobře indikovat zdravotní kondici pacienta a poukazovat na počínající zdravotní problémy.



Obrázek 6: *Procentuální zastoupení tuku pro muže a ženy*

Ženy mají od přírody větší procentuální zastoupení tělesného tuku než muži. Z obrázku 6 vyplývá, že množství tuku, které je pro ženy ještě v normě, u mužů znamená již překročení normy nebo dokonce obezitu. Je to proto, že tělo ženy je přizpůsobeno tak, aby poskytovalo ochranu jednak sobě, tak i případnému plodu. Ženy mají tudíž více enzymů, které tuky ukládají a méně enzymů, které tuky spalují. Z toho vyplívá, že tuk se ženám ve větším množství ukládá hlavně v oblasti boků, stehen, břicha a ňader.

1.3.3 **Kostní tkáň**

Kostní tkáň ve srovnání s ostatními tkáněmi obsahuje nejmenší množství tekutiny, proto elektrický proud v podstatě nevede. Její strukturu tvoří složka kompaktní a houbovitá. *Konduktivita tukové tkáně je 0,020791 S/m.* [9]

1.4 Celková tělesná voda

Přibližně 60% hmotnosti lidského těla je tvořeno vodou.[3] Voda je velmi důležitá pro správné fungování organismu. Slouží jako transportní prostředí pro živiny, krevní plyny, odpadní látky, elektrolyty. Má také funkci rozpouštědla, vytváří vhodné prostředí pro chemické reakce (např. metabolismus), zvlhčuje a chrání sliznice a další funkce.

Total body water neboli celková tělesná voda, je celkové množství vody obsažené v organismu. V každém organismu se dělí na dvě veliké části, tekutinu intracelulární, čili nitrobuněčnou a tekutinu extracelulární, čili tekutinu vně buňky. Extracelulární tekutina je tvořena tkáňovým mokem, což je tekutina mezi buňkami, a plazmou, což je tekutina uvnitř cév.

Celková tělesná voda se během života mění. Její podíl na tělesné hmotnosti se liší individuálně a to hlavně podle objemu tukové tkáně: čím více tukové tkáně tělo obsahuje, tím méně tělesné hmotnosti zaujímá voda. Její množství se tedy v závislosti na objemu tukové tkáně výrazně mění s věkem a u dospělých jedinců se liší i podle pohlaví, jak ukazuje tabulka 1.

Total body water v podstatě vyjadřuje hydrataci organismu. Podle výše uvedeného tedy správná hydratace záleží nejen na dostatečném přísunu tekutin do organismu, ale i na objemu tělesné tukové tkáně. Z toho vyplývá, že obézní lidé mají prakticky trvalý problém s hydratací organismu, kdy příjem průměrného množství vody denně (2-3 litry) jim dostatečnou hydrataci nezajistí.

Nedostatek vody v organismu, tzn. dehydratace, může způsobit méně či více závažné zdravotní potíže (bolesti hlavy, poruchy psychiky, vytváření žlučových a ledvinných kamenů, infekční komplikace, poruchy činnosti srdce a krevního oběhu) až eventuální smrt organismu.

Tabulka 1: *Tělesná voda a její rozložení v intracelulárním a extracelulárním prostoru v závislosti na věku (hodnoty jsou v % tělesné vody)* [1]

Věk		celková tělesná voda	extracelulární tekutina	intracelulární tekutina
Novorozenec		79	44	35
1-3 měsíce		72	32	40
2-3 roky		63,5	26,7	36,8
3-5 let		62,5	21	41
5-10 let		61	22	39,5
10-16let		58	19	39
20-30 let	Muži	58	19	39
	Ženy	51	17	34
40-50 let	Muži	54	18	36
	Ženy	47	15,5	31,5
60-70 let	Muži	49	16	33
	Ženy	47	15,5	31,5
nad 80 let	Muži	48	16	32
	Ženy	48	16	32

Celková tělesná voda se počítá dle následujícího vzorce [27]:

$$\boldsymbol{TBW_{male} = (0.194786 \cdot height) + (0.296785 \cdot weight) - 14.012934} \tag{10}$$

$$\boldsymbol{TBW_{female} = (0.34454 \cdot height) + (0.183809 \cdot weight) - 35.270121} \tag{11}$$

kde $height$ je výška a $weight$ je váha

1.4.1 Intracelulární tekutina

Intracelulární tekutina je obsažena uvnitř buňky. Zaujímá asi 2/3 celkové tělesné vody, což odpovídá asi 40% tělesné hmotnosti. Tvoří ji buněčná voda spolu s dalšími látkami, jako jsou různé anorganické a organické sloučeniny, enzymy a molekuly, které jsou základními stavebními prvky pro buněčné struktury. V intracelulární tekutině probíhají pro život organismu velmi důležité chemické reakce, např. glykolýza.

Nitrobuněčná tekutina může mít v různých částech buňky různou hustotu, viskozitu, koncentraci rozpuštěných látek, také různé typy buněčných organel. Její množství nemůžeme změřit přímo, ale získáme ho tak, že od množství celkové tělesné vody odečteme množství tekutiny extracelulární.

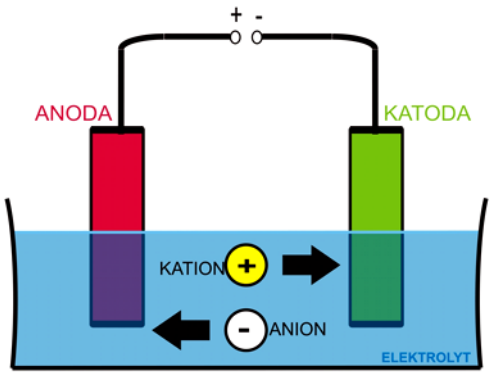
1.4.2 Extracelulární tekutina

Extracelulární tekutina je obsažena vně buňky. Zaujímá asi 1/3 celkové tělesné vody a to odpovídá přibližně 20% tělesné hmotnosti. Jak již bylo uvedeno výše, je tvořena tkáňovým mokem a plazmou. Tkáňový mok (intersticiální tekutina) je tekutina uložená mezi buňkami a činí 75% extracelulární tekutiny, tedy 15% tělesné hmotnosti. Plazma (intravaskulární tekutina) je obsažena uvnitř cév krevního oběhu a činí 25% extracelulární tekutiny, tedy 5% tělesné hmotnosti.

Hlavní funkcí extracelulární tekutiny je funkce transportní, tzn. zásobovat organismus kyslíkem, živinami, ionty, minerály a hormony a odvádět z tkání odpadní produkty metabolismu a oxid uhličitý.

1.4.3 Iontové složení obou tekutin

Intracelulární i extracelulární tekutina obsahuje různé ionty, které mají elektrickou vodivost. Takovéto roztoky se nazývají elektrolyty, a protože jsou schopny vést elektrický proud, umožňují nám uskutečnit měření bioimpedanční analýzou. V elektrolytech proud nepřenášejí elektrony jako u kovů, ale ionty. Úkolem elektrolytů v lidském těle je udržovat vodní rovnováhu na obou stranách buněčné membrány.



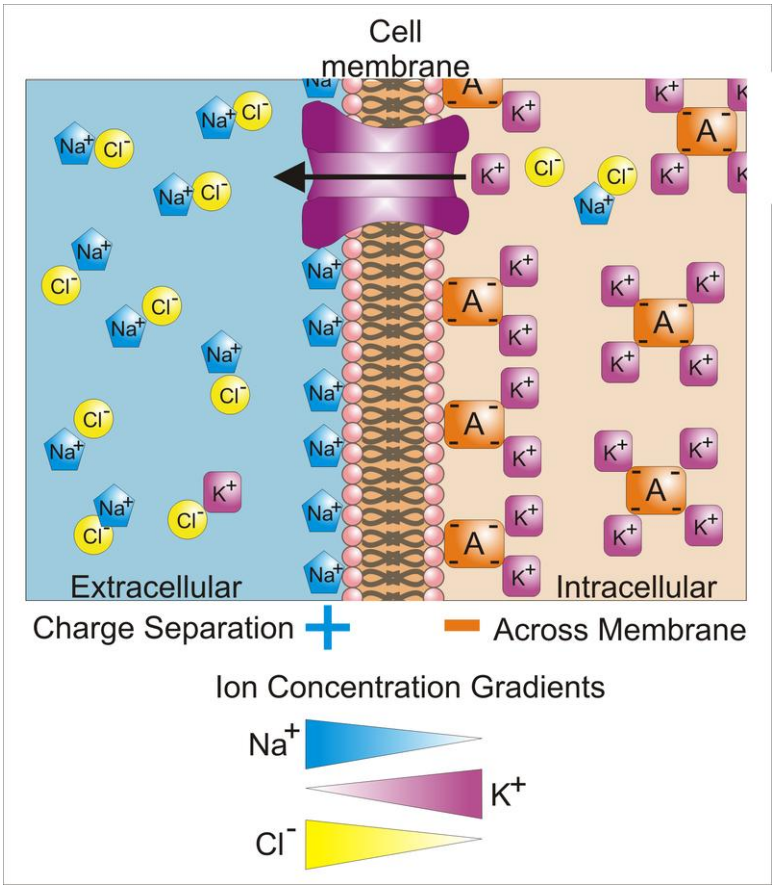
Obrázek 7: *Schéma elektrolytu* [21]

Iontové složení obou tekutin se velmi liší. Je to zapříčiněno rozdílnou propustností buněčné membrány pro určité ionty v určitém stavu. Mezi základní ionty elektrolytů lidského těla patří kationty sodíku (Na^+) a draslíku (K^+), dalšími důležitými

ionty jsou kationty hořčíku (Mg^{+}) a vápníku (Ca^{2+}) a anionty chloridu (Cl^{-}) a fosfátu (PO_4^{3-}).

Intracelulární tekutina je bohatá na kationty draslíku (K^{+}), hořčíku (Mg^{+}) a aniont fosfátu (PO_4^{3-}). Extracelulární tekutina je typická velkým obsahem kationtů sodíku (Na^{+}), vápníku (Ca^{2+}) a aniontem chloridu (Cl^{-}).

Odlišná propustnost buněčné membrány pro jednotlivé ionty, jak bylo uvedeno výše, je příčinou polarizace buněčné membrány, tj. klidového membránového potenciálu. Nitrobuněčná část membrány má náboj negativní, protože uvnitř buňky převažují proteinové anionty, zevní část membrány má náboj pozitivní, protože vně buňky jsou kumulovány sodíkové kationty. Podle typu buněk má klidový membránový potenciál hodnotu od -30 do -90 mV a závisí hlavně na koncentračním gradientu uvedených iontů a na intenzitě jejich aktivního transportu.



Obrázek 8: *Vznik membránového potenciálu na membráně propustné pro K^{+}* [21]

Odpověď na otázku, proč je obsah iontů uvnitř a vně buňky rozdílný, nám dá vzdálená minulost, kdy na Zemi vznikal život. První oceány byly bohaté na draslíkové

(K^+) a hořčíkové (Mg^+) ionty, proto enzymové reakce a biologické pochody fungovaly tehdy a fungují i dnes nejlépe v prostředí s těmito ionty, tzn. uvnitř buněk. Postupem času voda v oceánech začala obsahovat více a více sodíkových (Na^+) a vápníkových (Ca^{2+}) iontů. Aby se buněčné organismy v oceánech s touto změnou vyrovnaly, vytvořily si k udržování stálosti svého vnitřního prostředí dokonalé buněčné membrány s transportními mechanismy.

Tabulka 2: *Srovnání průměrné koncentrace různých látek uvnitř a vně buňky* [2]

Látka	Extracelulární tekutina	Intracelulární tekutina
Na^+	140 mmol/l	10 mmol/l
K^+	4 mmol/l	140 mmol/l
Ca^{2+} (volný)	2,5 mmol/l	0,1 μmol/l
Mg^{2+}	1,5 mmol/l	30 mmol/l
Cl^-	100 mmol/l	4mmol/l
HCO^{3-}	27 mmol/l	10 mmol/l
PO_4^{3-}	2 mmol/l	60 mmol/l
Glukosa	5,5 mmol/l	0-1 mmol/l

1.5 Bioimpedance

Bioimpedance, přesněji řečeno bioimpedanční analýza, je metoda pro hodnocení tělesného složení, měření objemu tukové hmoty a vody v těle.

Již bylo zmíněno, že objemnou a důležitou složkou lidského těla je voda. Této skutečnosti využívá bioimpedanční analýza, která vychází z faktu, že elektrický proud snadněji prochází místy s větším množstvím tekutiny než místy na tekutinu chudými. Tzn., že proud v těle prochází lépe svalovou tkání než tkání tukovou. Na množství vody v těle závisí i elektrický odpor, kladený procházejícímu elektrickému proudu. A právě toho využívá metoda bioimpedanční analýzy.

Při bioimpedanci prochází tělem měřené osoby slabý elektrický proud velikosti cca 800 μA a různých frekvencí v řádech kilo- až megahertzů, který je pro lidské tělo bezpečný a nezpůsobí mu žádné poškození. Změříme odpor těla kladený tomuto proudu a použijeme ho pro výpočet total body water indexu (10,11), tzn. celkové tělesné vody. Total body water potom použijeme pro výpočet množství tukuprosté hmoty (7) a výsledek použijeme v dalším vzorci (9) pro výpočet množství tuku v těle.

Dostaneme takto hodnoty všech jednotlivých veličin tělesného složení, se kterými následně můžeme provést hodnocení zdravotního stavu sledovaného jedince.

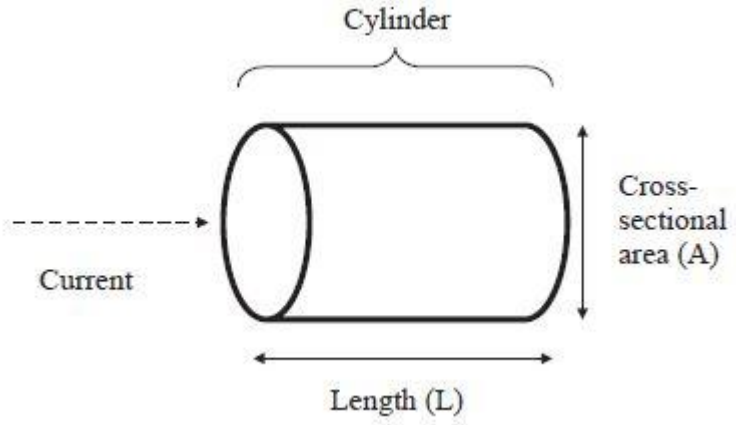
1.5.1 Model lidského těla

Pro použití metody bioimpedanční analýzy je lidské tělo obrazně rozděleno do pěti základních válců, z nichž každý představuje určitou část těla (obrázek 9).

Obrázek 9: *Model rozdělení těla na 5 základních válců* [16]

Pomocí tohoto modelu lze následně vypočítat hodnoty jednotlivých elektrických vlastností zvoleného válce. Zvolený válec lze namodelovat základním elektrickým modelem pro jakoukoliv jinou látku. Takový model je následně ukázán na obrázku 10, který zobrazuje válec o určité ploše a určité délce. Je patrné, že pro výpočet odporu

tohoto velice jednoduchého válce stačí znát pouze jeho délku a plochu a elektrické vlastnosti látky, jak ukazuje vzorec (12):



Obrázek 10: *Válec o ploše A a délce L, kterým protéká elektrický proud* [7]

Bioimpedanční analýza využívá jednak vztahu mezi objemem a odporem měřeného objektu (12) a jednak závislosti impedance na frekvenci (obrázek 11).

$$\boldsymbol{R = \frac{\rho \cdot L}{A}} \tag{12}$$

kde $\boldsymbol{\rho}$ je elektrická rezistivita, $\boldsymbol{L}$ je délka válce a $\boldsymbol{A}$ je plocha válce.

Objem válce se vypočítá dle vzorce:

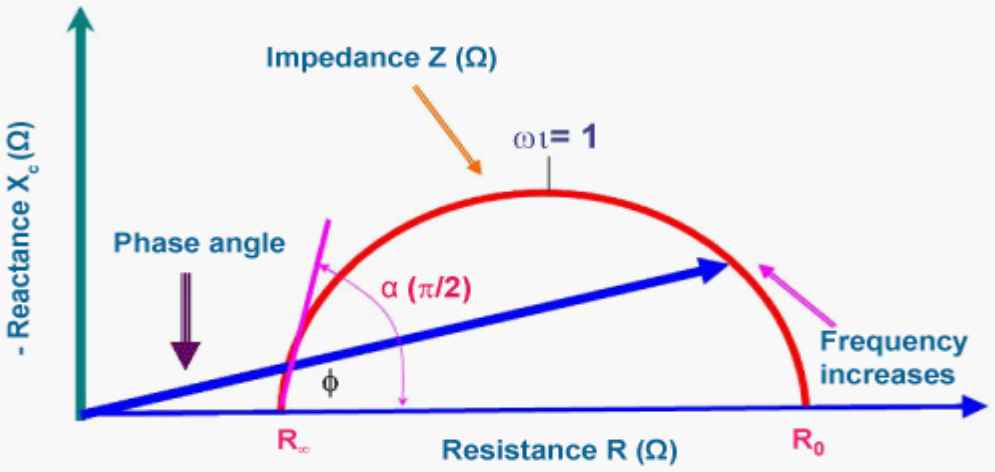
$$\boldsymbol{V = A \cdot L} \tag{13}$$

kde $\boldsymbol{A}$ je plocha válce a $\boldsymbol{L}$ je délka válce.

Po dosazení vzorce (13) do vzorce (12) nacházíme vztah, který je základní podstatou bioimpedanční analýzy:

$$\boldsymbol{V = \frac{\rho \cdot L^2}{R}} \tag{14}$$

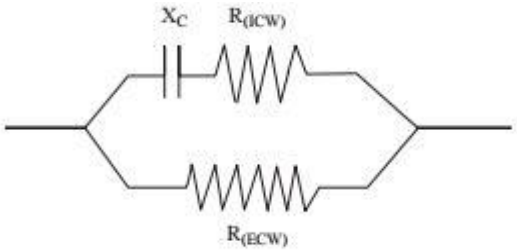
Impedance lidského těla je tvořena dvěma složkami. Jak ukazuje obrázek 11, jednou složkou je rezistence a druhou složkou je reaktance. Impedance se od klasického odporu určitým způsobem liší. U klasického odporu jsou napětí a proud ve stejné fázi, avšak u impedance mohou být obě tyto složky vůči sobě fázově posunuty. U lidského organismu zaujímá rezistence přibližně 95% celkové impedance a reaktanci tvoří zbylých 5%, tudíž složku reaktance můžeme zanedbat.



Obrázek 11: *Graf závislosti impedance na rezistenci, reaktanci a frekvenci* [23]

Na obrázku 11 je tzv. Cole - Cole graf, který ukazuje vztah mezi rezistencí, reaktancí, fázovým úhlem a frekvencí. Z grafu je vidět, že čím menší je frekvence, tím větší je impedance a naopak, čím větší je frekvence, tím je impedance nižší.

Jak bude podrobněji řečeno níže, elektrický proud teče cestou nejmenšího odporu. Odpory a kapacitátory jsou použité jako elektrické analogie jednotlivých prostředí a buněčné membrány. Abychom mohli namodelovat jak intracelulární, tak extracelulární tekutinu, používáme sério - paralelní zapojení kapacitorů a rezistorů (obrázek 12)



Obrázek 12: *Obvod nahrazující impedanční vlastnosti tkáně. $R_{(ECW)}$ – resistence extracelulární tekutiny, $R_{(ICW)}$ – resistence intracelulární tekutiny, Cm – membránová kapacitance* [7]

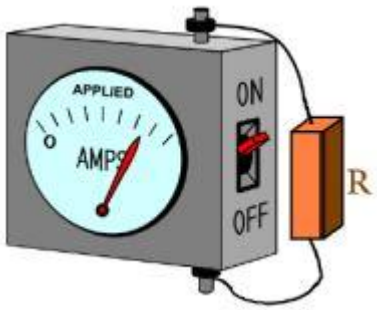
1.5.2 **Měření bioimpedance**

Měření bioimpedanční analýzou je v dnešní době dobře dostupnou metodou. Přístroje na měření bioimpedance vyvíjí a prodává více firem, tudíž trh poskytuje více typů těchto přístrojů.

Pro měření bioimpedance celého lidského těla existují dva základní postupy. Prvním postupem je měření za pomoci čtyř elektrod, které jsou po dvou připevněny na zápěstí a na chodidlo pravých či levých končetin pacienta, který zaujímá polohu vleže na zádech. Druhý postup používá také čtyři elektrody, které jsou po dvou umístěny tentokrát na obou chodidlech pacienta, jenž zaujímá polohu vstoje.

Metoda bioimpedance se dá použít i pro měření jen určitě části těla, v tom případě se nejčastěji používá osm elektrod.

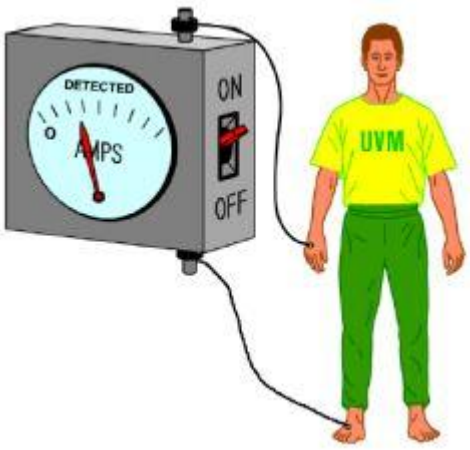
Bioimpedance je metoda, která využívá jednoduchého principu průchodu elektrického proudu lidským tělem. Je však náročná na kvalitní součástky, které umožňují velmi přesné měření s minimálními odchylkami.



Obrázek 13: *Nastavení požadovaného proudu* [16]

Před začátkem měření je nutné pomocí reostatu nebo odporové dekády nastavit velikost proudu, který bude protékat měřenou osobou (obrázek 13).

Poté do obvodu místo reostatu nebo odporové dekády zapojíme měřenou osobu. Elektrody, pomocí nichž se měření provádí, připevníme na zápěstí a na chodidlo měřené osoby (obrázek 14).

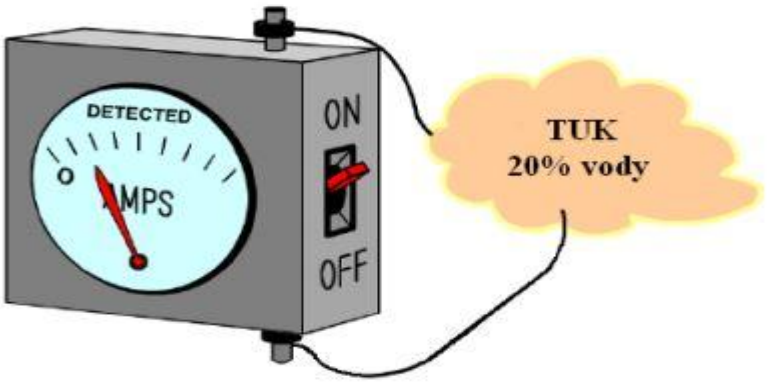


Obrázek 14: *Obvod s měřenou osobou* [16]

Po připojení vyšetřované osoby do obvodu měřicí přístroj ukáže menší proud, než byl ten, který jsme původně nastavili pomocí reostatu nebo odporové dekády v začátku měření. Důvodem je fakt, že lidské tělo představuje pro protékající elektrický proud větší odpor.

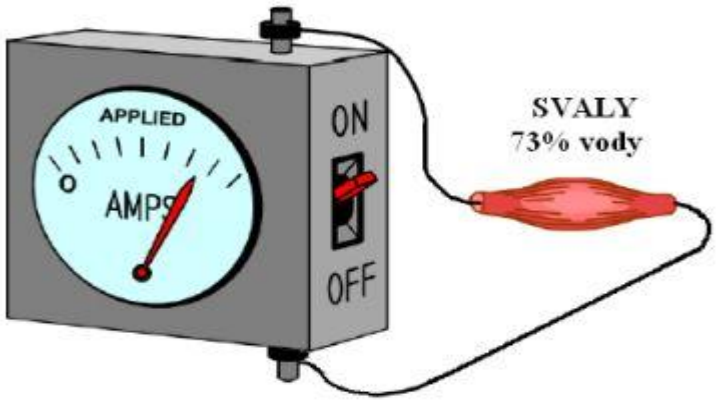
Na měřicím přístroji vidíme výrazné změny protékajícího elektrického proudu u měřené osoby obézní, svalnaté nebo štíhlé.

Z rapidního poklesu velikosti elektrického proudu, který protéká tukovou tkání, opět prokazujeme již mnohokrát řečený fakt, že tuková tkáň má vysokou impedanci a nízkou elektrickou vodivost (obrázek 15).



Obrázek 15: *Proud procházející tukovou tkání* [16]

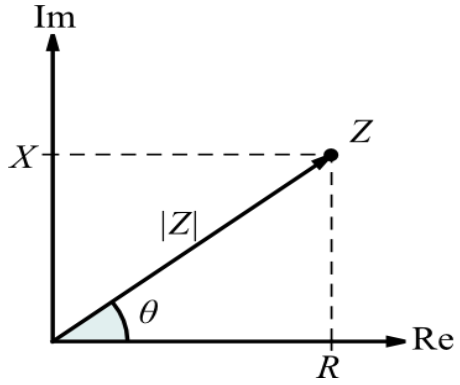
Obrázek 16 nám ukazuje jen nepatrný pokles velikosti elektrického proudu, který protéká svalovou tkání, neboť tato tkáň má nízkou impedanci a dobrou elektrickou vodivost.



Obrázek 16: *Proud protékající svalovou tkání* [16]

1.5.3 Impedance a její základní veličiny

Impedance je komplexní veličina, která popisuje odpor prvku a fázový posun napětí vůči proudu při průchodu harmonického střídavého proudu o určité frekvenci. Impedance se skládá ze dvou složek a to ze složky reálné, tzv. resistence a ze složky imaginární, tzv. reaktance (obrázek 17)



Obrázek 17: *Impedance jako komplexní veličina* [19]

Impedanci lze získat za pomoci goniometrických funkcí dle vzorce:

$$\boldsymbol{Z = \frac{U}{I} = R + j \cdot X = |Z| \cdot \cos \varphi + j \cdot |Z| \cdot \sin \varphi} \tag{15}$$

kde $\boldsymbol{\varphi}$ je fázový posun, $\boldsymbol{|Z|}$ je absolutní hodnota impedance a lze jí vypočítat dle následujícího vzorce:

$$\left|\boldsymbol{Z = \sqrt{R^2 + X^2}}\right| \tag{16}$$

kde $\boldsymbol{R}$ resistence a $\boldsymbol{X}$ je reaktance.

Impedance odporu

$$\boldsymbol{Z = R} \tag{17}$$

Impedance kondenzátoru se vypočte dle vzorce:

$$\boldsymbol{Z = \frac{1}{j \cdot \omega \cdot C}} \tag{18}$$

kde $\boldsymbol{\omega}$ je úhlová frekvence a $\boldsymbol{C}$ je kapacita kondenzátoru.

Úhlová frekvence se spočítat dle vztahu:

$$\boldsymbol{\omega = 2 \cdot \pi \cdot f} \tag{19}$$

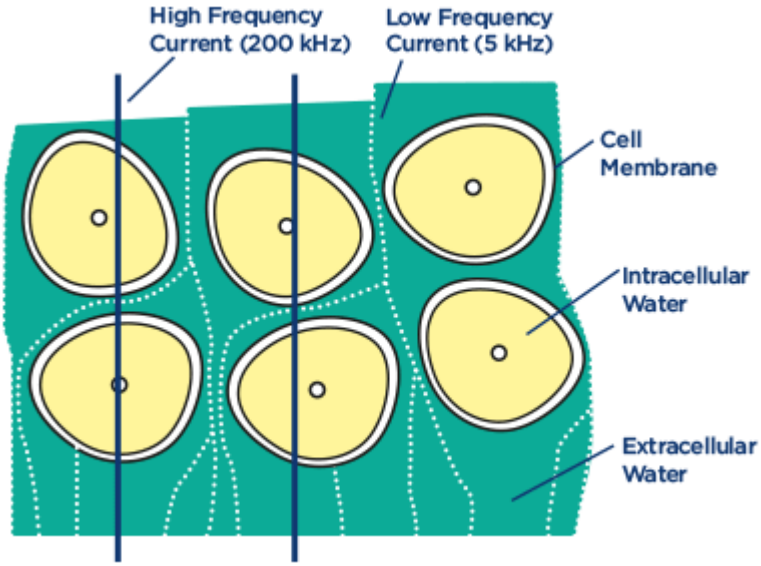
kde $\boldsymbol{f}$ je frekvence.

Rezistence R je reálná část impedance a definuje schopnost prvku zmenšit nebo zastavit proud. Tuková tkáň má velmi vysokou resistenci a to tak vysokou, že většina proudu je zastavena na buněčných membránách tukových buněk. Prvky jako je extracelulární tekutina a svalová tkáň, které obsahují velké množství vody, mají naopak resistenci velmi malou.

Reaktance X je imaginární část impedance a definuje schopnost prvku zpomalit proud. Při zpomalení proudu dochází vlastně k jeho fázovému posunu.

Buněčné membrány se mohou chovat jako rezistor, nebo protože jsou schopny na krátkou dobu elektrický náboj zadržet, jako kondenzátor. To, zda se buněčná membrána zachová jako kondenzátor nebo rezistor, závisí na frekvenci procházejícího

proudu. Bude-li procházet proud o vysoké frekvenci, zachová se membrána jako kondenzátor a s určitým fázovým zpožděním za napětím proud membránou projde. Použijeme-li proud o nízké frekvenci, zachová se membrána jako rezistor a proud přes membránu neprojde (obrázek 18).



Obrázek 18: *Průchod proudu při různých frekvencích* [24]

1.5.4 Faktory ovlivňující měření

Aby výsledky bioimpedanční analýzy byly co nejpřesnější, musí vyšetřovaná osoba dodržet určité podmínky. Několik hodin před tímto vyšetřením nesmí konzumovat větší množství tekutin, protože v těle tak bude obsaženo větší množství vody než obvykle a bude naměřena menší impedance, tzn. výsledek bude zkreslený. Současně nesmí ani více sportovat, neboť při větší fyzické námaze dochází k dehydrataci, tím k menšímu obsahu vody v těle a tak naměřená impedance bude vysoká, tzn. opět zkreslený výsledek. Dále musí vyšetřovaná osoba přijít na lačno.

Vnějšími faktory, které ovlivňují měření, jsou okolní teplota a vlhkost. Vyšetření se provádí v místnosti o teplotě 25 °C - 30 °C a vlhkost vzduchu by měla být v rozmezí 40% - 60%.

Nutné je zajistit čistotu pokožky a používaných elektrod, obojí se před měřením očistí lihem. Je to podmínka velmi důležitá. Pokud totiž bude mezi pokožkou a elektrodou prostředí s nějakou nečistotou, tzn. nedobře vodivé, odpor se zvýší a výsledek měření bude zkreslený.

1.6 Statistické testy

1.6.1 Neparametrický pořadový test Mann – Whitney

V tomto testu jde o neparametrickou variantu t-testu pro nezávislé výběry. Porovnávají se dva různé výběrové soubory, které nemají normální (Gaussovo) rozdělení pravděpodobnosti.

V prvním kroku se vytvoří hypotézy:

H0: Pravděpodobnostní rozdělení obou výběrů je shodné.
HA: Pravděpodobnostní rozdělení obou výběrů se liší.

Ve druhém kroku je potřeba seřadit všechny hodnoty do neklesající posloupnosti a určit jejich pořadí.

Ve třetím kroku se vypočítají testovací statistiky:

$$\boldsymbol{U_1 = \frac{S_1 - n_1 \cdot (n_1 + 1)}{2}, U_2 = \frac{S_2 - n_2 \cdot (n_2 + 1)}{2}} \tag{20}$$

kde $\boldsymbol{n_1, n_2}$ jsou rozsahy výběrů a $\boldsymbol{S_1, S_2}$ jsou součty pořadí jednotlivých výběrů.

Ve čtvrtém kroku se porovná menší z hodnot U_1 a U_2 s tabelovanou kritickou hodnotou $U(n_1, n_2, \alpha)$. Nulovou hypotézu zamítáme tehdy, je-li menší z hodnot U_1 a U_2 menší než tabelovaná kritická hodnota $U(n_1, n_2, \alpha)$.

1.6.2 Spearmanův test nezávislosti

Spearmanův test nezávislosti je neparametrický pořadový test, který ukazuje, zda veličiny (X, Y) nemající normální rozdělení jsou na sobě závislé.

V prvním kroku se vytvoří hypotézy:

H0: Veličiny, které sledujeme, jsou na sobě nezávislé.
HA: Veličiny, které sledujeme, jsou na sobě závislé.

V druhém kroku se vypočte Spearmanův korelační koeficient:

$$\boldsymbol{r_s = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^{n} d_i^2}{n \cdot (n^2 - 1)}}$$

(21)

kde $\boldsymbol{d_i}$ jsou rozdíly mezi pořadím hodnot X_i a Y_i a $\boldsymbol{n}$ je počet korelačních dvojic.

V posledním kroku se porovná r_s s tabelovanou kritickou hodnotou $r_s(n,\alpha)$. Nulovou hypotézu zamítáme tehdy, je-li r_s větší než tabelovaná kritická hodnota $r_s(n,\alpha)$.

1.6.3 Wilcoxonův test

Wilcoxonův test je neparametrický test, který porovnává dvě měření u jednoho výběrového souboru.

$$\boldsymbol{W_+ + W_- = \frac{n \cdot (n + 1)}{2}}$$

(22)

kde $\boldsymbol{W_+}$ **a** $\boldsymbol{W_-}$ jsou součty pořádí, $\boldsymbol{n}$ je počet měření.

V prvním kroku se určí rozdíly mezi párovými hodnotami. Některé rozdíly vyjdou záporné a některé kladné. Může nastat stav, kdy rozdíl bude nulový. Tento rozdíl se vyřadí.

V druhém kroku seřadíme absolutní hodnoty rozdílů do vzestupné posloupnosti a ke každému rozdílu přiřadíme pořadí.

Ve třetím kroku se sečtou pořadí pro kladné rozdíly (W_+) a pro záporné rozdíly (W_-).

V posledním kroku se menší z hodnot W_+ a W_- porovná s tabelovanou kritickou hodnotou $W(n,\alpha)$. Nulovou hypotézu zamítáme tehdy, je-li menší z hodnot W_+, W_- menší než tabelovaná kritická hodnota $W(n,\alpha)$.

2 Praktická část

Měření pro bioimpedanční analýzu u sledovaných souborů osob bylo prováděno v laboratoři BIODAT na Katedře kybernetiky ČVUT Praha. Byla měřena celotělová impedance o frekvenci proudu 50 kHz. Před měřením u prvního souboru osob byla místa styku elektroda - pokožka očištěna lihem, osoby přišly nalačno, před měřením nepožívaly větší množství tekutin a nesportovaly. Měření probíhalo v místnosti, kde teplota byla 23 - 27 °C a vlhkost byla rozmezí 40 - 60 %. U každé osoby byla nejprve změřena její výška, poté se osoba postavila na bioimpedanční váhu. Od naměřené hmotnosti bylo odečteno 1,5 kg, které představuje hmotnost oblečení. Následně začalo vlastní bioimpedanční měření. To probíhalo u každé osoby dvakrát po sobě a z obou naměřených hodnot byl stanoven jejich průměr. K měření byl použit přístroj TANITA MC 180 MA. U osob ve druhém souboru se nejprve provedlo měření za stejných výše uvedených podmínek, ale dvakrát po sobě na dvou různých přístrojích, poté tyto osoby absolvovaly krátkodobé fyzické zatížení ve formě šedesáti dřepů během šedesáti vteřin a následné měření probíhalo také dvakrát za sebou a to na každém z obou přístrojů. K měření byly použity přístroje TANITA MC 180 MA a InBody 720. Hodnoty byly získány přímo z přístrojů v datovém formátu txt. v nezměněném stavu.

2.1 Charakteristika dvanáctičlenného souboru

Tabulka 3: *Charakteristika dvanáctičlenného souboru*

pohlaví	Muži	7	58%
	Ženy	5	42%
BMI	Podváha	3	25%
	Normální	7	59%
	Nadváha	1	8%
	Obezita	1	8%
výška	160 - 165	1	8%
	166 - 170	1	8%
	171 - 175	4	34%
	176 - 180	2	17%
	181 - 185	3	25%
	186 - 190	1	8%

Soubor tvoří dvanáct osob, z toho je sedm mužů (58%) a pět žen (42%). Rozložení osob v souboru podle výšky - jedna osoba byla v rozmezí 160 - 165 cm (8%), jedna osoba byla v rozmezí 166 - 170 cm (8%), čtyři osoby byly v rozmezí 171 - 175 cm (34%), 2 osoby byly v rozmezí 176 - 180 cm (17%), tři osoby byly v rozmezí 181 - 185 cm (25%) a jedna osoba byla v rozmezí 186 - 190 cm (8%). Rozložení osob v souboru podle BMI - podle BMI tři osoby (25%) měly podváhu, sedm osob (59%) bylo v normě, jedna osoba (8%) měla nadváhu a jedna osoba (8%) byla dle BMI diagnostikována jako obézní.

2.2 Charakteristika patnáctičlenného souboru

Tabulka 4: *Charakteristika patnáctičlenného souboru*

pohlaví	Muži	12	80%
	Ženy	3	20%
BMI	Podváha	0	0%
	Normální	6	40%
	Nadváha	8	53%
	Obezita	1	7%
výška	160 - 165	2	13%
	166 - 170	1	7%
	171 - 175	5	33%
	176 - 180	1	7%
	181 - 185	3	20%
	186 - 190	2	13%
	191 - 195	0	0%
	196 - 200	1	7%

Soubor tvoří patnáct osob, z toho je dvanáct mužů (80%) a tři ženy (20%). Rozložení osob v souboru podle výšky - dvě osoby byly v rozmezí 160 - 165 cm (13%), jedna osoba byla v rozmezí 166 - 170 cm (7%), pět osob bylo v rozmezí 171 - 175 cm (33%), jedna osoba byla v rozmezí 176 - 180 cm (7%), tři osoby byly v rozmezí 181 - 185 cm (20%), dvě osoby byly v rozmezí 186 - 190 cm (13%) a jedna osoba byla v rozmezí 196 - 200 cm (7%).

2.3 Statistické zpracování dat

2.3.1 Popisná charakteristika dvanáctičlenného souboru

- Impedance naměřené při průchodu el. proudu o frekvenci 50 kHz

Tabulka 5: *Charakteristika hodnot impedance při frekvenci proudu 50 kHz*

Střední hodnota	625,52
Medián	617,95
Modus	790,10
Směrodatná odchylka	117,69
Rozptyl výběru	13850,33
Minimum	393,65
Maximum	805,75
Počet	108,00

- FFM hodnoty naměřené při průchodu el. proudu o frekvenci 50 kHz

Tabulka 6: *Charakteristika hodnot FFM při frekvenci proudu 50 kHz*

Střední hodnota	57,08
Medián	60,95
Modus	52,20
Směrodatná odchylka	10,74
Rozptyl výběru	115,38
Minimum	41,05
Maximum	79,85
Počet	108,00

- FM hodnoty naměřené při průchodu el. proudu o frekvenci 50 kHz

Tabulka 7: *Charakteristika hodnot FM při frekvenci proudu 50 kHz*

Střední hodnota	14,16
Medián	12,16
Modus	1,60
Směrodatná odchylka	8,73
Rozptyl výběru	76,25
Minimum	1,60
Maximum	36,30
Počet	108,00

- MM hodnoty naměřené při průchodu el. proudu o frekvenci 50 kHz

Tabulka 8: *Charakteristika hodnot MM při frekvenci proudu 50 kHz*

Stř. hodnota	51,96
Medián	56,39
Modus	49,55
Směrodatná odchylka	13,88
Rozptyl výběru	192,69
Minimum	19,05
Maximum	75,95
Počet	108,00

- ECW hodnoty naměřené při průchodu el. proudu o frekvenci 50 kHz

Tabulka 9: *Charakteristika hodnot ECW při frekvenci proudu 50 kHz*

Střední hodnota	30,35
Medián	18,59
Modus	14,10
Směrodatná odchylka	19,18
Rozptyl výběru	367,79
Minimum	13,10
Maximum	61,80
Počet	108,00

- ICW hodnoty naměřené při průchodu el. proudu o frekvenci 50 kHz

Tabulka 10: *Charakteristika hodnot ICW při frekvenci proudu 50 kHz*

Střední hodnota	23,74
Medián	24,28
Modus	17,60
Směrodatná odchylka	6,24
Rozptyl výběru	38,88
Minimum	14,50
Maximum	37,75
Počet	108,00

Ve všech tabulkách, které jsou v kapitole popisná charakteristika uvedeny, jsou hodnoty, specifické pro jednotlivé složky, které nás při měření bioimpedanční analýzy zajímají. V každé tabulce je střední hodnota, medián (hodnota, kterou určíme tak, že naměřené hodnoty seřadíme podle velikosti a prostřední hodnota značí medián), modus hodnota, která se v souboru dat nachází nejčastěji), směrodatná odchylka (ukazuje

kvadratický průměr odchylek od střední hodnoty), rozptyl výběru (ukazuje variabilitu hodnot kolem střední hodnoty), minimum (nejmenší hodnota), maximum (nejvyšší hodnota) a počet (kolik dat obsahuje zkoumaný soubor).

2.3.2 Popisná charakteristika patnáctičlenného souboru

- Impedance naměřené při průchodu el. proudu o frekvenci 50 kHz

Střední hodnota	328,70
Medián	315,80
Modus	-
Směrodatná odchylka	49,89
Rozptyl výběru	2489,26
Minimum	269,35
Maximum	421,80
Počet	15

- FFM hodnoty naměřené při průchodu el. proudu o frekvenci 50 kHz

Tabulka 11: *Charakteristika hodnot FFM při frekvenci proudu 50 kHz*

Střední hodnota	65,76
Medián	68,25
Modus	-
Směrodatná odchylka	11,22
Rozptyl výběru	125,96
Minimum	46,40
Maximum	90,65
Počet	15

- FM naměřené při průchodu el. proudu o frekvenci 50 kHz

Tabulka 12: *Charakteristika hodnot FM při frekvenci proudu 50 kHz*

Střední hodnota	15,71
Medián	15,25
Modus	-
Směrodatná odchylka	5,24
Rozptyl výběru	27,48
Minimum	7,1
Maximum	28,95
Počet	15

- ECW naměřené při průchodu el. proudu o frekvenci 50 kHz

Tabulka 13: *Charakteristika hodnot ECW při frekvenci proudu 50 kHz*

Střední hodnota	18,58
Medián	18,55
Modus	-
Směrodatná odchylka	2,57
Rozptyl výběru	6,59
Minimum	13,55
Maximum	24,95
Počet	15

- ICW naměřené při průchodu el. proudu o frekvenci 50 kHz

Tabulka 14: *Charakteristika hodnot ICW při frekvenci proudu 50 kHz*

Střední hodnota	28,80
Medián	30,20
Modus	-
Směrodatná odchylka	5,62
Rozptyl výběru	31,63
Minimum	19,55
Maximum	41,25
Počet	15

Ve všech tabulkách, které jsou v kapitole popisná charakteristika uvedeny, jsou hodnoty, specifické pro jednotlivé složky, které nás při měření bioimpedanční analýzy zajímají. V každé tabulce je střední hodnota, medián (hodnota, kterou určíme tak, že naměřené hodnoty seřadíme podle velikosti a prostřední hodnota značí medián), modus hodnota, která se v souboru dat nachází nejčastěji), směrodatná odchylka (ukazuje kvadratický průměr odchylek od střední hodnoty), rozptyl výběru (ukazuje variabilitu hodnot kolem střední hodnoty), minimum (nejmenší hodnota), maximum (nejvyšší hodnota) a počet (kolik dat obsahuje zkoumaný soubor).

2.3.3 **Test hypotéz pro dvanáctičlenný soubor**

Testování všech hypotéz je testováno na hladině významnost 5%.

- Vliv pohlaví na naměřené hodnoty

H0: Není rozdíl impedancí naměřenou u mužů a žen

HA: Je rozdíl mezi impedancí naměřenou u mužů a žen

Tabulka 15: *Mann - Whytneyho test - vliv pohlaví na hodnoty impedance*

U1	8
U2	27
kritická hodnota U	5
H0	nezamítáme

H0: Není rozdíl mezi FFM hodnotou naměřenou u mužů a žen

HA: Je rozdíl mezi FFM hodnotou naměřenou u mužů a žen

Tabulka 16: *Mann - Whytneyho test - vliv pohlaví na hodnoty FFM*

U1	28
U2	7
kritická hodnota U	5
H0	nezamítáme

H0: Není rozdíl mezi FM hodnotou naměřenou u mužů a žen

HA: Je rozdíl mezi FM hodnotou naměřenou u mužů a žen

Tabulka 17: *Mann - Whytneyho test - vliv pohlaví na hodnoty FM*

U1	12
U2	23
kritická hodnota U	5
H0	nezamítáme

H0: Není rozdíl mezi MM hodnotou naměřenou u mužů a žen

HA: Je rozdíl mezi MM hodnotou naměřenou u mužů a žen

Tabulka 18: *Mann - Whytneyho test - vliv pohlaví na hodnoty MM*

U1	28
U2	7
kritická hodnota U	5
H0	nezamítáme

H0: Není rozdíl mezi ECW hodnotou naměřenou u mužů a žen

HA: Je rozdíl mezi ECW hodnotou naměřenou u mužů a žen

Tabulka 19: *Mann - Whytneyho test - vliv pohlaví na hodnoty ECW*

U1	19
U2	16
kritická hodnota U	5
H0	nezamítáme

H0: Není rozdíl mezi ICW hodnotou naměřenou u mužů a žen

HA: Je rozdíl mezi ICW hodnotou naměřenou u mužů a žen

Tabulka 20: *Mann - Whytneyho test - vliv pohlaví na hodnoty ICW*

U1	26
U2	9
kritická hodnota U	5
H0	nezamítáme

Ve všech případech byl použit Mann - Whytneyho test. Ve všech případech byla menší hodnota z obou U větší než kritická hodnota U (n1, n2, α), proto můžeme říci, že H0 nezamítáme. Z toho jasně vyplývá, že pohlaví nemá vliv na naměřené hodnoty.

- Vliv BMI na naměřené hodnoty

H0: BMI nemá vliv na hodnoty impedance

HA: BMI má vliv na hodnoty impedance

Tabulka 21: *Spearmannův testu - vliv BMI na hodnoty impedance*

| r_s |	0,46154
kritická hodnota rs	0,587
H_0	nezamítáme

H0: BMI nemá vliv na hodnoty FMM

HA: BMI má vliv na hodnoty FMM

Tabulka 22: *Spearmannův testu - vliv BMI na hodnoty FFM*

| r_s |	0,447552
kritická hodnota rs	0,587
H_0	nezamítáme

H0: BMI nemá vliv na hodnoty FM

HA: BMI má vliv na hodnoty FM

Tabulka 23: *Spearmannův testu - vliv BMI na hodnoty FM*

| r_s |	0,587413
kritická hodnota rs	0,587
H_0	zamítáme

H0: BMI nemá vliv na hodnoty MM

HA: BMI má vliv na hodnoty MM

Tabulka 24: *Spearmannův testu - vliv BMI na hodnoty MM*

| r_s |	0,076923
kritická hodnota rs	0,587
H_0	nezamítáme

H0: BMI nemá vliv na hodnoty ECW

HA: BMI má vliv na hodnoty ECW

Tabulka 25: *Spearmannův testu - vliv BMI na hodnoty ECW*

$\lvert r_s \rvert$	0,132867
kritická hodnota rs	0,587
H0	nezamítáme

H0: BMI nemá vliv na hodnoty ICW

HA: BMI má vliv na hodnoty ICW

Tabulka 26: *Spearmannův testu - vliv BMI na hodnoty ICW*

$\lvert r_s \rvert$	0,307692
kritická hodnota rs	0,587
H0	nezamítáme

Ve všech případech byl použit Spearmannův test nezávislosti. Ve všech případech kromě jednoho byla hodnota $\lvert r_s \rvert$ menší než kritická hodnota r_s, proto můžeme říci, že H0 nezamítáme. Z toho vyplývá, že BMI nemá vliv na většinu naměřených hodnot. V jednom případě byla hodnota $\lvert r_s \rvert$ větší než kritická hodnota r_s (n,α), proto můžeme H0 zamítnout. Z toho vyplývá, že BMI by mohla ovlivňovat hodnoty fat mass.

- Vliv výšky na naměřené hodnoty

H0: Výška osoby nemá vliv na hodnoty impedance

HA: Výška osoby má vliv na hodnoty impedance

Tabulka 27: *Spearmannův testu - vliv BMI na hodnoty impedance*

$\lvert r_s \rvert$	0,39161
kritická hodnota rs	0,587
H0	nezamítáme

H0: Výška osoby nemá vliv na hodnoty fat free mass

HA: Výška osoby má vliv na hodnoty fat free mass

Tabulka 28: *Spearmannův testu - vliv BMI na hodnoty FFM*

| r_s |	0,573427
kritická hodnota rs	0,587
H_0	nezamítáme

H0: Výška osoby nemá vliv na hodnoty fat mass

HA: Výška osoby má vliv na hodnoty fat mass

Tabulka 29: *Spearmannův testu - vliv BMI na hodnoty FM*

| r_s |	0,02098
kritická hodnota rs	0,587
H_0	nezamítáme

H0: Výška osoby nemá vliv na hodnoty muscle mass

HA: Výška osoby má vliv na hodnoty muscle mass

Tabulka 30: *Spearmannův testu - vliv BMI na hodnoty MM*

| r_s |	0,223776
kritická hodnota rs	0,587
H_0	nezamítáme

H0: Výška osoby nemá vliv na hodnoty ECW

HA: Výška osoby má vliv na hodnoty ECW

Tabulka 31: *Spearmannův testu - vliv BMI na hodnoty ECW*

| r_s |	0,304196
kritická hodnota rs	0,587
H_0	nezamítáme

H0: Výška osoby nemá vliv na hodnoty ICW

HA: Výška osoby má vliv na hodnoty ICW

Tabulka 32: *Spearmannův testu - vliv BMI na hodnoty ICW*

$\lvert r_s \rvert$	0,653846
kritická hodnota rs	0,587
H_0	zamítáme

Ve všech případech byl použit Spearmannův test nezávislosti. Ve všech případech kromě jednoho byla hodnota │ rs │ menší než kritická hodnota rs, proto můžeme říci, že H0 nezamítáme. Z toho vyplývá, že výška nemá vliv na většinu naměřených hodnot. V jednom případě byla hodnota │ rs │ větší než kritická hodnota rs, proto můžeme H0 zamítnout. Z toho vyplývá, že výška by mohla ovlivňovat hodnoty ICW.

- Vliv substance, použité mezi elektrodou a pokožkou, na naměřené hodnoty

1. Běžné podmínky (aplikace bez změny na ekologii (životního prostředí), stav pacienta v době příjezdu),
2. Použití vody (normální voda z laboratoře),
3. Solný roztok (Baxter Czech, NaCl 0,9 %, pH = 5,5),
4. EEG gel (Eci electro-gel, elektro-Cap International, Inc., USA),
5. Ruční krém s olejem (Indulona Universal, Zentiva, k. s., Hlohovec, Slovenská republika) ruční aplikace,
6. Ruční krém bez oleje (Nivea Creme, Biersdorf, Německo) ruční aplikace,
7. Ruční krém s olejem pro aplikace na ruce a nohy,
8. Ruční krém bez oleje pro aplikace na ruce a nohy,
9. Ruční krém bez oleje a krém na nohy na vodní bázi (aktivní chladicí gel na nohy, Avon Co. Polsko).

H0: Mezi hodnotami impedance naměřených mezi 1 a 2 není rozdíl

HA: Mezi hodnotami impedance naměřených mezi 1 a 2 je rozdíl

Tabulka 33: *Wilcoxonův test - rozdílné impedance u substancí 1 a 2*

W +	55
W -	23
kritická hodnota W	13,8
H0	nezamítáme

H0: Mezi hodnotami impedance naměřených mezi 1 a 3 není rozdíl

HA: Mezi hodnotami impedance naměřených mezi 1 a 3 je rozdíl

Tabulka 34: *Wilcoxonův test - rozdílné impedance u substancí 1 a 3*

W +	50
W -	28
kritická hodnota W	13,8
H0	nezamítáme

H0: Mezi hodnotami impedance naměřených mezi 1 a 4 není rozdíl

HA: Mezi hodnotami impedance naměřených mezi 1 a 4 je rozdíl

Tabulka 35: *Wilcoxonův test - rozdílné impedance u substancí 1 a 4*

W +	60
W -	18
kritická hodnota W	13,8
H0	nezamítáme

H0: Mezi hodnotami impedance naměřených mezi 1 a 5 není rozdíl

HA: Mezi hodnotami impedance naměřených mezi 1 a 5 je rozdíl

Tabulka 36: *Wilcoxonův test - rozdílné impedance u substancí 1 a 5*

W +	48
W -	30
kritická hodnota W	13,8
H0	nezamítáme

H0: Mezi hodnotami impedance naměřených mezi 1 a 6 není rozdíl

HA: Mezi hodnotami impedance naměřených mezi 1 a 6 je rozdíl

Tabulka 37: *Wilcoxonův test - rozdílné impedance u substancí 1 a 6*

W +	51
W -	27
kritická hodnota W	13,8
H0	nezamítáme

H0: Mezi hodnotami impedance naměřených mezi 1 a 7 není rozdíl

HA: Mezi hodnotami impedance naměřených mezi 1 a 7 je rozdíl

Tabulka 38: *Wilcoxonův test - rozdílné impedance u substancí 1 a 7*

W +	36
W -	41
kritická hodnota W	13,8
H0	nezamítáme

H0: Mezi hodnotami impedance naměřených mezi 1 a 8 není rozdíl

HA: Mezi hodnotami impedance naměřených mezi 1 a 8 je rozdíl

Tabulka 39: *Wilcoxonův test - rozdílné impedance u substancí 1 a 8*

W +	53
W -	25
kritická hodnota W	13,8
H0	nezamítáme

H0: Mezi hodnotami impedance naměřených mezi 1 a 9 není rozdíl

HA: Mezi hodnotami impedance naměřených mezi 1 a 9 je rozdíl

Tabulka 40: *Wilcoxonův test - rozdílné impedance u substancí 1 a 9*

W +	54
W -	24
kritická hodnota W	13,8
H0	nezamítáme

H0: Mezi hodnotami impedance naměřených mezi 2 a 3 není rozdíl

HA: Mezi hodnotami impedance naměřených mezi 2 a 3 je rozdíl

Tabulka 41: *Wilcoxonův test - rozdílné impedance u substancí 2 a 3*

W +	34
W -	44
kritická hodnota W	5
H0	nezamítáme

H0: Mezi hodnotami impedance naměřených mezi 2 a 4 není rozdíl

HA: Mezi hodnotami impedance naměřených mezi 2 a 4 je rozdíl

Tabulka 42: *Wilcoxonův test - rozdílné impedance u substancí 2 a 4*

W +	59
W -	19
kritická hodnota W	5
H0	nezamítáme

H0: Mezi hodnotami impedance naměřených mezi 2 a 5 není rozdíl

HA: Mezi hodnotami impedance naměřených mezi 2 a 5 je rozdíl

Tabulka 43: *Wilcoxonův test - rozdílné impedance u substancí 2 a 5*

W +	17
W -	61
kritická hodnota W	5
H0	nezamítáme

H0: Mezi hodnotami impedance naměřených mezi 2 a 6 není rozdíl

HA: Mezi hodnotami impedance naměřených mezi 2 a 6 je rozdíl

Tabulka 44: *Wilcoxonův test - rozdílné impedance u substancí 2 a 6*

W +	31
W -	47
kritická hodnota W	13,8
H0	nezamítáme

H0: Mezi hodnotami impedance naměřených mezi 2 a 7 není rozdíl

HA: Mezi hodnotami impedance naměřených mezi 2 a 7 je rozdíl

Tabulka 45: *Wilcoxonův test - rozdílné impedance u substancí 2 a 7*

W +	13
W -	65
kritická hodnota W	13,8
H0	zamítáme

H0: Mezi hodnotami impedance naměřených mezi 2 a 8 není rozdíl

HA: Mezi hodnotami impedance naměřených mezi 2 a 8 je rozdíl

Tabulka 46: *Wilcoxonův test - rozdílné impedance u substancí 2 a 8*

W +	28
W -	50
kritická hodnota W	13,8
H0	nezamítáme

H0: Mezi hodnotami impedance naměřených mezi 2 a 9 není rozdíl

HA: Mezi hodnotami impedance naměřených mezi 2 a 9 je rozdíl

Tabulka 47: *Wilcoxonův test - rozdílné impedance u substancí 2 a 9*

W +	41,5
W -	36,5
kritická hodnota W	13,8
H0	nezamítáme

H0: Mezi hodnotami impedance naměřených mezi 3 a 4 není rozdíl

HA: Mezi hodnotami impedance naměřených mezi 3 a 4 je rozdíl

Tabulka 48: *Wilcoxonův test - rozdílné impedance u substancí 3 a 4*

W +	76
W -	2
kritická hodnota W	13,8
H0	zamítáme

H0: Mezi hodnotami impedance naměřených mezi 3 a 5 není rozdíl

HA: Mezi hodnotami impedance naměřených mezi 3 a 5 je rozdíl

Tabulka 49: *Wilcoxonův test - rozdílné impedance u substancí 3 a 5*

W +	16
W -	62
kritická hodnota W	13,8
H0	nezamítáme

H0: Mezi hodnotami impedance naměřených mezi 3 a 6 není rozdíl

HA: Mezi hodnotami impedance naměřených mezi 3 a 6 je rozdíl

Tabulka 50: *Wilcoxonův test - rozdílné impedance u substancí 3 a 6*

W +	37
W -	41
kritická hodnota W	13,8
H0	nezamítáme

H0: Mezi hodnotami impedance naměřených mezi 3 a 7 není rozdíl

HA: Mezi hodnotami impedance naměřených mezi 3 a 7 je rozdíl

Tabulka 51: *Wilcoxonův test - rozdílné impedance u substancí 3 a 7*

W +	30
W -	48
kritická hodnota W	13,8
H0	nezamítáme

H0: Mezi hodnotami impedance naměřených mezi 3 a 8 není rozdíl

HA: Mezi hodnotami impedance naměřených mezi 3 a 8 je rozdíl

Tabulka 52: *Wilcoxonův test - rozdílné impedance u substancí 3 a 8*

W +	49
W -	29
kritická hodnota W	13,8
H0	nezamítáme

H0: Mezi hodnotami impedance naměřených mezi 3 a 9 není rozdíl

HA: Mezi hodnotami impedance naměřených mezi 3 a 9 je rozdíl

Tabulka 53: *Wilcoxonův test - rozdílné impedance u substancí 3 a 9*

W +	62
W -	16
kritická hodnota W	13,8
H0	nezamítáme

H0: Mezi hodnotami impedance naměřených mezi 4 a 5 není rozdíl

HA: Mezi hodnotami impedance naměřených mezi 4 a 5 je rozdíl

Tabulka 54: *Wilcoxonův test - rozdílné impedance u substancí 4 a 5*

W +	3
W -	75
kritická hodnota W	13,8
H0	zamítáme

H0: Mezi hodnotami impedance naměřených mezi 4 a 6 není rozdíl

HA: Mezi hodnotami impedance naměřených mezi 4 a 6 je rozdíl

Tabulka 55: *Wilcoxonův test - rozdílné impedance u substancí 4 a 6*

W +	11
W -	67
kritická hodnota W	13,8
H0	zamítáme

H0: Mezi hodnotami impedance naměřených mezi 4 a 7 není rozdíl

HA: Mezi hodnotami impedance naměřených mezi 4 a 7 je rozdíl

Tabulka 56: *Wilcoxonův test - rozdílné impedance u substancí 4 a 7*

W +	4
W -	74
kritická hodnota W	13,8
H0	zamítáme

H0: Mezi hodnotami impedance naměřených mezi 4 a 8 není rozdíl

HA: Mezi hodnotami impedance naměřených mezi 4 a 8 je rozdíl

Tabulka 57: *Wilcoxonův test - rozdílné impedance u substancí 4 a 8*

W +	16
W -	62
kritická hodnota W	13,8
H0	nezamítáme

H0: Mezi hodnotami impedance naměřených mezi 4 a 9 není rozdíl

HA: Mezi hodnotami impedance naměřených mezi 4 a 9 je rozdíl

Tabulka 58: *Wilcoxonův test - rozdílné impedance u substancí 4 a 9*

W +	26
W -	52
kritická hodnota W	13,8
H0	nezamítáme

H0: Mezi hodnotami impedance naměřených mezi 5 a 6 není rozdíl

HA: Mezi hodnotami impedance naměřených mezi 5 a 6 je rozdíl

Tabulka 59: *Wilcoxonův test - rozdílné impedance u substancí 5 a 6*

W +	52
W -	26
kritická hodnota W	13,8
H0	nezamítáme

H0: Mezi hodnotami impedance naměřených mezi 5 a 7 není rozdíl

HA: Mezi hodnotami impedance naměřených mezi 5 a 7 je rozdíl

Tabulka 60: *Wilcoxonův test - rozdílné impedance u substancí 5 a 7*

W +	33
W -	45
kritická hodnota W	13,8
H0	nezamítáme

H0: Mezi hodnotami impedance naměřených mezi 5 a 8 není rozdíl

HA: Mezi hodnotami impedance naměřených mezi 5 a 8 je rozdíl

Tabulka 61: *Wilcoxonův test - rozdílné impedance u substancí 5 a 8*

W +	57
W -	21
kritická hodnota W	13,8
H0	nezamítáme

H0: Mezi hodnotami impedance naměřených mezi 5 a 9 není rozdíl

HA: Mezi hodnotami impedance naměřených mezi 5 a 9 je rozdíl

Tabulka 62: *Wilcoxonův test - rozdílné impedance u substancí 5 a 9*

W +	64
W -	14
kritická hodnota W	13,8
H0	nezamítáme

H0: Mezi hodnotami impedance naměřených mezi 6 a 7 není rozdíl

HA: Mezi hodnotami impedance naměřených mezi 6 a 7 je rozdíl

Tabulka 63: *Wilcoxonův test - rozdílné impedance u substancí 6 a 7*

W +	37
W -	41
kritická hodnota W	13,8
H0	nezamítáme

H0: Mezi hodnotami impedance naměřených mezi 6 a 8 není rozdíl

HA: Mezi hodnotami impedance naměřených mezi 6 a 8 je rozdíl

Tabulka 64: *Wilcoxonův test - rozdílné impedance u substancí 6 a 8*

W +	48
W -	30
kritická hodnota W	13,8
H0	nezamítáme

H0: Mezi hodnotami impedance naměřených mezi 6 a 9 není rozdíl

HA: Mezi hodnotami impedance naměřených mezi 6 a 9 je rozdíl

Tabulka 65: *Wilcoxonův test - rozdílné impedance u substancí 6 a 9*

W +	55
W -	23
kritická hodnota W	13,8
H0	nezamítáme

H0: Mezi hodnotami impedance naměřených mezi 7 a 8 není rozdíl

HA: Mezi hodnotami impedance naměřených mezi 7 a 8 je rozdíl

Tabulka 66: *Wilcoxonův test - rozdílné impedance u substancí 7 a 8*

W +	63
W -	15
kritická hodnota W	13,8
H0	nezamítáme

H0: Mezi hodnotami impedance naměřených mezi 7 a 9 není rozdíl

HA: Mezi hodnotami impedance naměřených mezi 7 a 9 je rozdíl

Tabulka 67: *Wilcoxonův test - rozdílné impedance u substancí 7 a 9*

W +	62,5
W -	15,5
kritická hodnota W	13,8
H0	nezamítáme

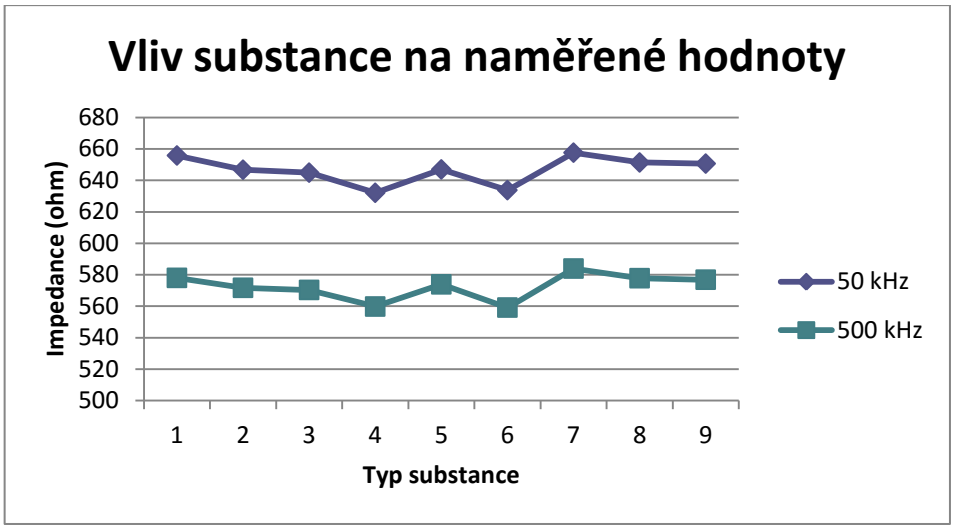
H0: Mezi hodnotami impedance naměřených mezi 8 a 9 není rozdíl

HA: Mezi hodnotami impedance naměřených mezi 8 a 9 je rozdíl

Tabulka 68: *Wilcoxonův test - rozdílné impedance u substancí 8 a 9*

W +	57
W -	21
kritická hodnota W	13,8
H0	nezamítáme

Ve všech případech byl použit Wilcoxonův test. Ve většině případů byla hodnota menší z hodnot W větší než kritická hodnota W(n,α), proto můžeme říci, že H0 nezamítáme. U pár případů byla hodnota W menší než kritická hodnota W(n,α), proto můžeme H0 zamítnout. Většinou se jednalo o rozdíl mezi hodnotami, kde jako substance byl použit EEG gel. Z toho vyplývá, že EEG gel nejvíce ovlivňuje naměřené hodnoty.



Obrázek 19: *Vliv substance na naměřené hodnoty*

2.3.4 Test hypotéz pro patnáctičlenný soubor

- Vliv krátkodobé sportovní zátěže na naměřené hodnoty na přístroji TANITA

H0: Sportovní zátěž nemá vliv na hodnoty FFM

HA: Sportovní zátěž má vliv na hodnoty FFM

Tabulka 69: *Wilcoxonův test - vliv sportovní zátěže na FMM na přístroji TANITA*

W +	64,5
W -	40,5
kritická hodnota W	25,3
H0	nezamítáme

H0: Sportovní zátěž nemá vliv na hodnoty FM

HA: Sportovní zátěž má vliv na hodnoty FM

Tabulka 70: *Wilcoxonův test - vliv sportovní zátěže na FM na přístroji TANITA*

W +	31
W -	60
kritická hodnota W	25,3
H0	nezamítáme

H0: Sportovní zátěž nemá vliv na hodnoty TBW

HA: Sportovní zátěž má vliv na hodnoty TBW

Tabulka 71: *Wilcoxonův test - vliv sportovní zátěže na TBW na přístroji TANITA*

W +	62
W -	35
kritická hodnota W	25,3
H0	nezamítáme

H0: Sportovní zátěž nemá vliv na hodnoty ECW

HA: Sportovní zátěž má vliv na hodnoty ECW

Tabulka 72: *Wilcoxonův test - vliv sportovní zátěže na ECW na přístroji TANITA*

W +	24,5
W -	20,5
kritická hodnota W	25,3
H0	zamítáme

H0: Sportovní zátěž nemá vliv na hodnoty ICW

HA: Sportovní zátěž má vliv na hodnoty ICW

Tabulka 73: *Wilcoxonův test - vliv sportovní zátěže na ICW na přístroji TANITA*

W +	52,5
W -	26,5
kritická hodnota W	25,3
H0	nezamítáme

Ve všech případech byl použit Wilcoxonův test. Ve většině případů byla hodnota menší z hodnot W větší než kritická hodnota W(n,α), proto můžeme říci, že H0 nezamítáme. Z toho vyplývá, že sportovní zátěž nemá vliv na většinu naměřených hodnot. U jednoho případu byla hodnota W větší než kritická hodnota W(n,α), proto můžeme H0 zamítnout. Z toho vyplývá, že sportovní zátěž by mohla ovlivňovat hodnoty ECW.

- Vliv krátkodobé sportovní zátěže na naměřené hodnoty na přístroji InBody

H0: Sportovní zátěž nemá vliv na hodnoty FFM

HA: Sportovní zátěž má vliv na hodnoty FFM

Tabulka 74: *Wilcoxonův test - vliv sportovní zátěže na FFM na přístroji InBody*

W +	79,5
W -	25,5
kritická hodnota W	25,3
H0	nezamítáme

H0: Sportovní zátěž nemá vliv na hodnoty FM

HA: Sportovní zátěž má vliv na hodnoty FM

Tabulka 75: *Wilcoxonův test - vliv sportovní zátěže na FM na přístroji InBody*

W +	25
W -	95
kritická hodnota W	25,3
H0	zamítáme

H0: Sportovní zátěž nemá vliv na hodnoty TBW

HA: Sportovní zátěž má vliv na hodnoty TBW

Tabulka 76: *Wilcoxonův test - vliv sportovní zátěže na TBW na přístroji InBody*

W +	48
W -	18
kritická hodnota W	25,3
H0	zamítáme

H0: Sportovní zátěž nemá vliv na hodnoty ECW

HA: Sportovní zátěž má vliv na hodnoty ECW

Tabulka 77: *Wilcoxonův test - vliv sportovní zátěže na ECW na přístroji InBody*

W +	17
W -	13
kritická hodnota W	25,3
H0	zamítáme

H0: Sportovní zátěž nemá vliv na hodnoty ICW

HA: Sportovní zátěž má vliv na hodnoty ICW

Tabulka 78: *Wilcoxonův test - vliv sportovní zátěže na ICW na přístroji InBody*

W +	62,5
W -	15,5
kritická hodnota W	25,3
H0	zamítáme

Ve všech případech byl použit Wilcoxonův test. Ve většině případů byla hodnota menší z hodnot W menší než kritická hodnota W(n,α), proto můžeme říci, že H0 zamítáme. Z toho vyplývá, že sportovní zátěž má vliv na hodnoty FM, TBW, ECW a ICW. V jednom případě byla hodnota W větší než kritická hodnota W(n,α), proto H0 nezamítáme. Z toho vyplývá, že sportovní zátěž nemá vliv na hodnoty FFM

- Rozdíl naměřených výsledků na přístroji TANITA a InBody
  - ❖ před fyzickou zátěží

H0: Není rozdíl mezi naměřenými hodnotami FFM u obou přístrojů

HA: Je rozdíl mezi naměřenými hodnotami FFM u obou přístrojů

Tabulka 79: *Spearmannův testu - rozdílné hodnoty FMM u obou přístrojů před zátěží*

$\lvert r_s \rvert$	0,966071
kritická hodnota rs	0,521
H_0	zamítáme

H0: Není rozdíl mezi naměřenými hodnotami FM u obou přístrojů

HA: Je rozdíl mezi naměřenými hodnotami FM u obou přístrojů

Tabulka 80: *Spearmannův testu - rozdílné hodnoty FM u obou přístrojů před zátěží*

| r_s |	0,871429
kritická hodnota rs	0,521
H_0	zamítáme

H0: Není rozdíl mezi naměřenými hodnotami TBW u obou přístrojů

HA: Je rozdíl mezi naměřenými hodnotami TBW u obou přístrojů

Tabulka 81: *Spearmannův testu - rozdílné hodnoty TBW u obou přístrojů před zátěží*

| r_s |	0,972321
kritická hodnota rs	0,521
H_0	zamítáme

H0: Není rozdíl mezi naměřenými hodnotami ECW u obou přístrojů

HA: Je rozdíl mezi naměřenými hodnotami ECW u obou přístrojů

Tabulka 82: *Spearmannův testu - rozdílné hodnoty ECW u obou přístrojů před zátěží*

| r_s |	0,946429
kritická hodnota rs	0,521
H_0	zamítáme

H0: Není rozdíl mezi naměřenými hodnotami ICW u obou přístrojů

HA: Je rozdíl mezi naměřenými hodnotami ICW u obou přístrojů

Tabulka 83: *Spearmannův testu - rozdílné hodnoty ICW u obou přístrojů před zátěží*

| r_s |	0,967857
kritická hodnota rs	0,587
H_0	zamítáme

- po fyzické zátěži

H0: Není rozdíl mezi naměřenými hodnotami FFM u obou přístrojů

HA: Je rozdíl mezi naměřenými hodnotami FFM u obou přístrojů

Tabulka 84: *Spearmannův testu - rozdílné hodnoty FMM u obou přístrojů před zátěží*

| r_s |	0,958929
kritická hodnota rs	0,521
H_0	zamítáme

H0: Není rozdíl mezi naměřenými hodnotami FM u obou přístrojů

HA: Je rozdíl mezi naměřenými hodnotami FM u obou přístrojů

Tabulka 85: *Spearmannův testu - rozdílné hodnoty FM u obou přístrojů před zátěží*

| r_s |	0,855357
kritická hodnota rs	0,521
H_0	zamítáme

H0: Není rozdíl mezi naměřenými hodnotami TBW u obou přístrojů

HA: Je rozdíl mezi naměřenými hodnotami TBW u obou přístrojů

Tabulka 86: *Spearmannův testu - rozdílné hodnoty TBW u obou přístrojů před zátěží*

| r_s |	0,970536
kritická hodnota rs	0,521
H_0	zamítáme

H0: Není rozdíl mezi naměřenými hodnotami ECW u obou přístrojů

HA: Je rozdíl mezi naměřenými hodnotami ECW u obou přístrojů

Tabulka 87: *Spearmannův testu - rozdílné hodnoty ECW u obou přístrojů před zátěží*

| r_s |	0,955357
kritická hodnota rs	0,521
H_0	zamítáme

H0: Není rozdíl mezi naměřenými hodnotami ICW u obou přístrojů

HA: Je rozdíl mezi naměřenými hodnotami ICW u obou přístrojů

Tabulka 88: *Spearmannův testu - rozdílné hodnoty ICW u obou přístrojů před zátěží*

$\lvert r_s \rvert$	0,9375
kritická hodnota rs	0,587
H_0	zamítáme

Ve všech případech byl použit Spearmannův test nezávislosti. Ve všech případech byla hodnota $\lvert rs \rvert$ větší než kritická hodnota rs, proto můžeme říci, že H0 zamítáme. Z toho jasně vyplývá, že v našem měřeném vzorku pacientů, existuje rozdíl mezi hodnotami naměřenými přístrojem TANITA a InBody.

3 Závěr

Tuková tkáň má v lidském těle řadu důležitých funkcí, kromě jiného obsahuje nejvíce energetických zásob, dokonce dvakrát více než cukry a bílkoviny. Nadměrným hromaděním tukové tkáně však vzniká nadváha, v horším případě až obezita. V České republice trpí nadváhou asi 3/4 mužů a více než 1/2 žen, z toho obezitou přibližně 1/4 mužů a 1/4 žen. Obezita bohužel není pouze kosmetickým problémem, ale je spolupříčinou mnoha často velmi nebezpečných onemocnění. Častými onemocněními jsou kardiovaskulární choroby, tj. postižení srdce a celé oběhové soustavy, např. vysoký krevní tlak, ischemická choroba srdeční s rizikem vzniku angíny pectoris nebo až infarktu srdečního a povšechná ateroskleróza cév s rizikem vzniku např. cévní mozkové příhody. U obézních lidí mnohem častěji než u zdravých vznikají metabolická onemocnění, hlavně cukrovka, dna (vysoká hladina kyseliny močové) a vysoká hladina cholesterolu. Lidé trpící obezitou jsou více náchylní k nádorovým onemocněním, častěji se u nich objevují nádory střev, ledvin, plic, prostaty a prsu. Mají přetížený pohybový aparát, z čehož pramení nadměrné opotřebení kloubů s celkovým snížením pohyblivosti těla. Objevují se u nich i problémy psychické, mají nízké sebevědomí a trpí depresemi. Dále se u nich mohou objevovat dýchací potíže, kožní potíže a další. Všechny tyto komplikace jsou závažné a mohou vést až k předčasným úmrtím.

K přesnému stanovení podílu tukové tkáně v organismu slouží bioimpedanční analýza. Pro lepší pochopení této metody je potřeba se seznámit se základními fyziologickými procesy v těle na úrovni buňky, proto práce podrobněji popisuje fyziologii buněčné membrány a rozdíly mezi netukovou a tukovou hmotou. Následně je v práci vysvětlena teorie bioimpedanční analýzy, která vychází z faktu, že vedení střídavého elektrického proudu závisí na prostředí, kterým proud prochází, v případě lidského těla tedy na typu tkání.

Praktická část práce se zabývá statistickým vyhodnocením naměřených výsledků při bioimpedanci u dvou různých souborů jedinců.

V prvním souboru dvanácti osob byla sledována závislost na pohlaví, výšce a BMI jedince. Stanovil jsem si několik hypotéz, které vždy měly základní kořeny, a sice impedanci naměřenou při průchodu střídavého elektrického proudu o frekvenci 50 kHz, fat free mass, fat mass, muscle mass, extracelular water a intracelular water. Frekvence 50 kHz byla zvolena z toho důvodu, že tato frekvence je u přístrojů měřících

tělesné složení pomocí bioimpedance nejčastěji používaná. Ke zjištění vlivu pohlaví jsem použil test Mann - Whytney, jehož výsledek hypotézu, že pohlaví nemá vliv na naměřené hodnoty, nevyvrátil. Tzn., že pouhý fakt, že jedinec je muž, neznamená, že jeho tělo vždy obsahuje více např. svalové hmoty než tělo ženy. Ke zjištění vlivu tělesné výšky jsem použil Spearmanův test nezávislosti, jehož výsledek hypotézu, že výška nemá vliv na naměřené hodnoty, ve většině případů nevyvrátil. Tzn., že vysoký jedinec vůči jedinci nižšího vzrůstu nemusí mít automaticky větší podíl hmoty např. svalové. Hypotéza byla vyvrácena pouze u vlivu na hodnoty ICW, to lze vysvětlit tím, že vyšší jedinec má v těle více buněk. Ke zjištění vlivu BMI jsem použil opět Spearmanův test nezávislosti, jehož výsledek hypotézu, že BMI nemá vliv na naměřené hodnoty, ve většině případů nevyvrátil. Tzn., že jedinec s vysokým BMI nemusí automaticky mít v těle větší zastoupení hmoty tukové než svalové. Hypotéza byla vyvrácena pouze u vlivu na hodnoty FM, tudíž lze říci, že čím větší hodnota BMI, tím více tukové hmoty tělo obsahuje. Avšak tato skutečnost je diskutabilní, protože velké množství jedinců má vysoké BMI z důvodu velkého zastoupení svalové hmoty (např. lidé těžce fyzicky pracující, sportovci a další).

Standard nutných podmínek bioimpedančního měření předepisuje krom jiného i povinnost očistit před každým měřením pokožku a elektrody lihem. Rozhodl jsem se otestovat, zda skutečně přítomnost např. drobných nečistot na elektrodách, potu na pokožce nebo přítomnost různě vodivých substancí mezi elektrodou a pokožkou mají významný vliv na naměřené hodnoty. Stanovil jsem si hypotézy, že uvedené substance neovlivňují měření. Ke zjištění vlivu substancí jsem použil Wilcoxonův test. Téměř ve všech případech se nepodařilo hypotézy vyvrátit, pouze v případě použití EEG gelu byla hypotéza, že EEG gel nemá vliv na naměřené hodnoty, vyvrácena. Z tohoto testu plyne, že část standardu týkající se nutnosti očištění elektrod a pokožky před měřením lihem, není významně důležitá.

V druhém souboru patnácti jedinců byla sledována závislost krátkodobé fyzické zátěže prováděné těsně před vlastním měřením a na dvou různých přístrojích. Opět jsem si stanovil několik hypotéz, které vždy měly základní kořeny, a sice fat free mass, fat mass, total body water, extracelular water a intracelular water. Ke zjištění vlivu krátkodobé fyzické zátěže jsem použil Wilcoxonův test, jehož výsledek hypotézu, že tato zátěž nemá vliv na naměřené hodnoty, ve většině případů nevyvrátil. Hypotéza byla vyvrácena pouze u vlivu na hodnoty ECW, to lze vysvětlit tím, že při krátkodobé

a současně namáhavé fyzické zátěži se určitým způsobem sníží množství ECW (výdej tekutin pocením a dýcháním). Tato skutečnost byla zjištěna při měření pomocí přístroje TANITA. Při použití přístroje InBody jsem použil k testování hypotéz taktéž Wilcoxonův test, ovšem tentokrát výsledek hypotézu, že tato zátěž nemá vliv na naměřené hodnoty, ve většině případů vyvrátil. Hypotéza nebyla vyvrácena pouze u vlivu na hodnoty FFM, to lze vysvětlit tím, že za příliš krátkou dobu fyzické zátěže se množství tuku prosté hmoty v těle významně nezmění.

Z důvodu získaných rozdílných výsledků stanovených hypotéz u obou přístrojů jsem si závěrem stanovil znovu několik hypotéz za účelem zjištění rozdílného měření dle použitého přístroje. K testování jsem použil Spearmanův test nezávislosti, jehož výsledek hypotézu, že není rozdíl mezi naměřenými hodnotami obou přístrojů, ve všech případech vyvrátil.

Závěrem bych rád uvedl, že jsem se snažil co nejpečlivěji zpracovat cíle, které byli vytyčeny v zadání diplomové práce. Jsem si vědom, že vzhledem k nízkému počtu sledovaných osob v obou souborech nejsou získané výsledky příliš statisticky významné. Nicméně pracovat na problematice spojené se zdraví škodlivým nadměrným hromaděním tuku v lidském těle bylo velmi zajímavé a poučné. Proto bych se tomuto problému chtěl věnovat nadále v doktorandském studiu, tudíž podstatně navýšit počet sledovaných osob tak, aby nově získané výsledky nabyly na statistické významnosti.

4 Bibliografie

[1] KITTNAR Otomar. *Lékařská fyziologie*. Praha: Grada, 2011. ISBN 978-80-247-3068-4.

[2] MURRAY Robert K. *Harperova ilustrovaná biochemie*. 5. české vyd., 1. v nakl. Galén. Překlad Bohuslav Matouš. Praha: Galén, c2012. ISBN 978-80-7262-907-7.

[3] SILBERNAGL Stefan, DESPOPOULOS Agamemnon. *Atlas fyziologie člověka*. 2. čes. vyd. podle 3. něm., přeprac. a rozš. Praha: Grada, 1993. ISBN 80-85623-79-X.

[4] TROJAN Stanislav. *Lékařská fyziologie*. Praha: Grada, 1994. ISBN 80-7169-036-8.

[5] BENEŠOVÁ Marika. *Odmaturuj! z biologie*. Brno: Didaktis, 2003. Odmaturuj!. ISBN 80-86285-67-7.

[6] JELÍNEK Jan, ZICHÁČEK Vladimír. *Biologie pro gymnázia: (teoretická a praktická část)*. 4. rozš. vyd. Olomouc: Nakladatelství Olomouc, 2000. ISBN 80-7182-107-1.

[7] KYLE Ursula G. *Bioelectrical impedance analysis-part I: review of principles and methods.* Clinical Nutrition 2004, 23:1226-1243.

[8] KYLE Ursula G. *Bioelectrical impedance analysis-part II: utilization in clinical practice.* Clinical Nutrition 2004, 23:1430-1453.

[9] ROTHLINGSHOFER Lisa, ULBRICH Mark, HAHNE Sebastian, LEONHARDT Steffen. *Monitoring Cange of Body Fluid during Physical Exercise using Bioimpedance Spectroscopy and Finite Element Simulations*, J Electr Bioimp 2011, vol. 2, pp. 79–85,

[10] CHANCHAIRUJIRA Thawee, MEHTA Ravindra l. *Bioimpedance and Its Application*, Saudi J Kidney Dis Transpl 2005;16:6-16

[11] GRIMNES Sverre, MARTINSEN Orjan G. *Bioimpedance and bioelektricity basics*. Oxford: Elsivier 2004. ISBN 9780123740045.

[12] ZVÁROVÁ Jana. *Základy statistiky pro biomedicínské obory*. Praha: Karolinum, 1998. Biomedicínská statistika, 1. ISBN 80-7184-786-0.

[13] LOWRY Richard. VassarStats: *Website for Statistical Computation.* Vassarstats. [online]. 30.3.2012 [cit. 2016-05-01]. Dostupné z: http://vassarstats.net/

[14] JABOR Antonín. *Vodní a iontová rovnováha.* ciselniky.dasta.mzcr. [online]. 3.3.2009 [cit. 2016-05-01]. Dostupné z:http://ciselniky.dasta.mzcr.cz/CD_DS4/hypertext/AJEEI.htm

[15] *Mitochondrie*. Wikipedia. [online]. 17. 1. 2016 [cit. 2016-05-01]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Mitochondrie

[16] PAGÁČOVÁ Lenka. *Bioimpedanční měření.* Vutbr. [online]. 29.5.2015 [cit. 2016-05-01]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=103422

[17] *Cytoplazma.* Wikipedia. [online]. 2.2.2015 [cit. 2016-05-01]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Cytoplazma

[18] *Sval.* Wikipedia. [online]. 19.4.2016 [cit. 2016-05-01]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Sval

[19]*Impedance.* Wikipedia. [online]. 19.3.2016 [cit. 2016-05-01]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Impedance

[20] LNĚNIČKOVÁ Ludmila, PUČOVÁ Jana, ŠVANDOVÁ Veronika. *Elektrolýza.* Webchemie. [online]. 18.2.2014 [cit. 2016-05-01]. Dostupné z: http://www.webchemie.cz/elektrolyza.html

[21] *Membránový potenciál*. Wikipedia. [online]. 10. 2. 2016 [cit. 2016-05-01]. Dostupné z: https:// //cs.wikipedia.org/wiki/Membránový_potenciál

[22] TURKEY Muobarak J. *Bioelectrical Impedance as a Diagnostic Factor in the Clinical Practice and Prognostic Factor for Survival in Cancer Patients: Prediction, Accuracy and Reliability*. omicsonline. [online]. 25.6. 2016 [cit. 2016-05-01]. Dostupné z: http://www.omicsonline.org/2155-6210/2155-6210-3-121.php?aid=7384

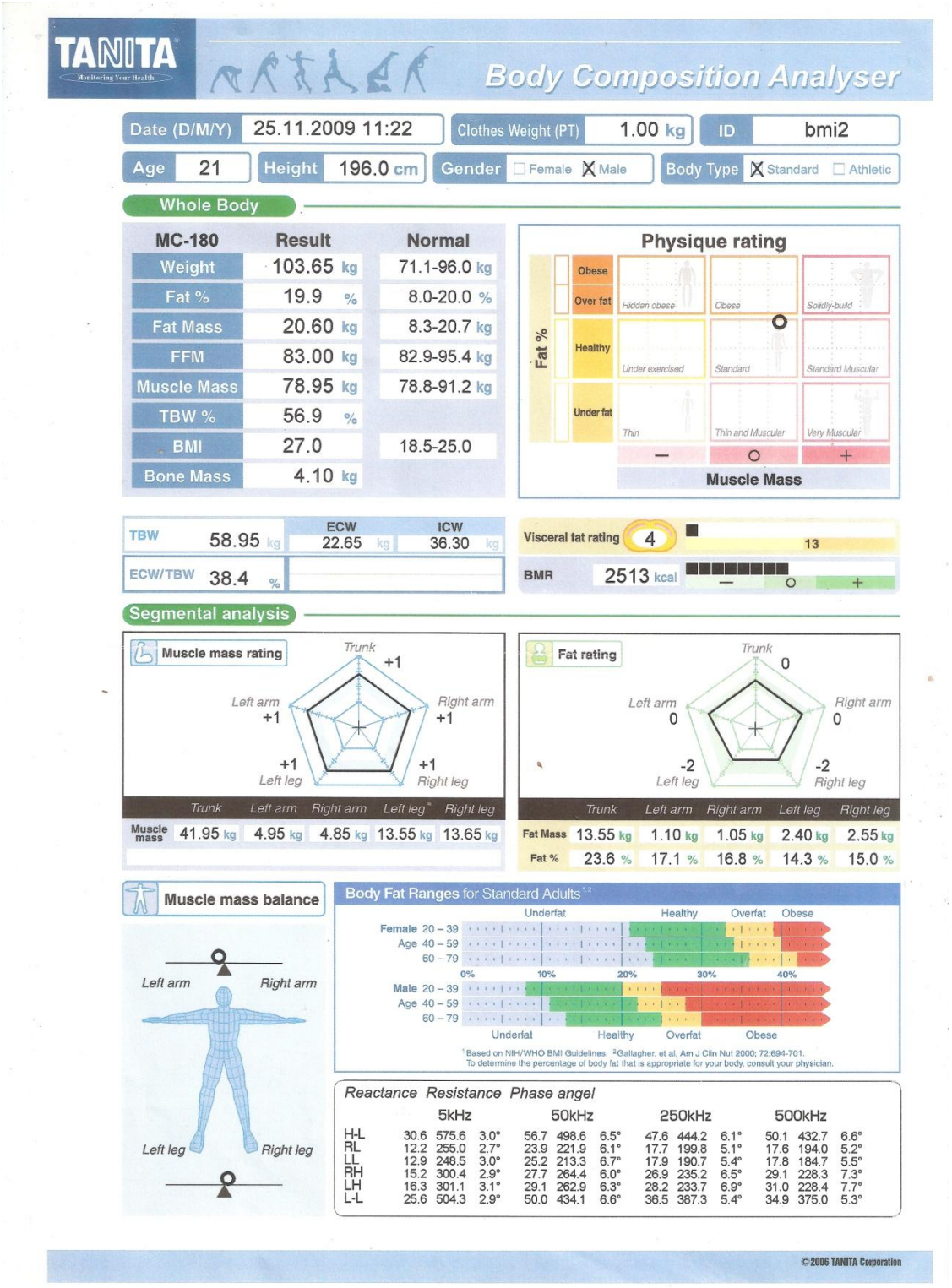
[23] *Bia impedance ratio prediction marker.* Bodystat. [online]. 1. 1. 2014 [cit. 2016-05-01]. Dostupné z:http://www.bodystat.com/information/prediction-marker

[24] LUKASKI Henry C., Bolonchuk William W., HALL Clint B., SIDERS William A. *Validation of tetrapolar bioelectrical impedance method to assess human body composition,* J. Appl. Physiol 1986;60:1327-32.

[25] JANSSEN Ian, HEYMSFIELD Steven B., BAUMGARTNER Richard N., ROSS Robert. *Estimation oioelectricalf skeletal muscle mass by bioelectrical impedance analysis*, J Appl Physiol (1985). 2000 Aug;89(2):465-71.

[26] HEITMANN Berit L. *Evaluation of body fat estimated from body mass index, skinfolds and impedance. A comparative study,* Eur J Clin Nutr 1990;44:831–7.

[27] HUME Rory, WEYERS Elspeth. *Relationship between total body water and surface area in normal obese subjects,* J Clin Pathol 1971;24;234-238

Přílohy

Výstup analyzátoru Tanita MC 180MA