



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

CENTRUM SPORTOVNÍCH AKTIVIT

CENTRE OF SPORTS ACTIVITIES

HODNOCENÍ MÍRY CHYBOVOSTI PŘÍSTROJŮ INBODY 770 A BODYSTAT 4000 PŘI NARUŠENÍ PODMÍNEK MĚŘENÍ UDÁVANÝCH VÝROBCEM.

EVALUATION OF THE ERROR RATE OF THE INBODY 770 AND BODYSTAT 4000 DEVICES IN CASE OF VIOLATION OF THE MEASUREMENT CONDITIONS SPECIFIED BY THE MANUFACTURER.

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Nicole Pevalová

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Mgr. Bc. Kamila Bedáňová

BRNO 2022

Bakalářská práce

bakalářský studijní program **Sportovní technologie**

Centrum sportovních aktivit

Studentka: Nicole Pevalová

ID: 220483

Ročník: 3

Akademický rok: 2021/22

NÁZEV TÉMATU:

Hodnocení míry chybovosti přístrojů InBody 770 a Bodystat 4000 při narušení podmínek měření udávaných výrobcem.

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1) Provedte literární rešerši v oblasti bioelektrické impedance a jejího užití v praxi. Pro vytýčení chyb v procesu měření je důležité nastudovat přístrojové příručky od výrobce u obou přístrojů (InBody 770 i Bodystat 4000). 2) Provedte zkušební měření oběma přístroji. Nejprve se zachovááním všech doporučení výrobcem. Poté vytvořte protokol všech chyb, kterých můžeme dosáhnout v laboratorním prostředí a nebudou poškozovat zdraví probandů. 3) Na základě vytvořené metodiky chybovosti při měření provedte měření na obou přístrojích s jednotlivými chybami při měření (vždy vynecháváme metody, které by mohly poškodit zdraví probandů). 4) Na základě předchozího bodu provedte optimalizaci postupu pro dosažení co nejlepších výsledků. 5) Dosažené výsledky vhodně interpretujte. Popište. Ve kterých případech přístroje chybovaly. 6) Porovnejte dosažené výsledky s údaji v literatuře. Diskutujte výhody/nevýhody postupu a možnosti jeho zlepšení.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

- [1] Kyeong SeonPark, et. al. Comparison between two methods of bioelectrical impedance analyses for accuracy in measuring abdominal visceral fat area. Journal of Diabetes and its Complications
Volume 30, Issue 2, March 2016, Pages 343-349. <https://doi.org/10.1016/j.jdiacomp.2015.10.014>
- [2] Pieter-Henk Boer, Elmarie Terblanche. Tetrapolar bioelectrical impedance analysis is influenced by time-of-measurement. South African Journal for Research in Sport, Physical Education and Recreation, 2017. Vol. 39, No. 2.
- [3] PROVÁZEK, Pavel. Konfrontace analýzy tělesné stavby stanovené pomocí klasických antropometrických metod. 2016. Diplomová práce. Univerzita Karlova, Fakulta tělesné výchovy a sportu, Laboratoř sportovní motoriky. Vedoucí práce Bunc, Václav.

Termín zadání: 28.1.2022

Termín odevzdání: 3.6.2022

Vedoucí práce: Mgr. Bc. Kamila Bedáňová

doc. PaedDr. Pavel Korvas, CSc.
předseda rady studijního programu

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

Abstrakt

Táto bakalárska práca sa zaoberá hodnotením chybovosti bioimpedančných prístrojov InBody 770 a Bodystat QuadScan 4000, ktoré slúžia na analýzu zloženia ľudského tela. Teoretická časť práce obsahuje odborné poznatky o jednotlivých prístrojoch, ako aj popis bioelektrickej impedancie, ktorú spomínané prístroje využívajú k svojej činnosti. Praktická časť pozostáva z merania subjektov pomocou oboch prístrojov. Sledovanými premennými sú impedancia, BFM (telesný tuk) a TBW (celková telesná voda). Meranie pozostáva z referenčného merania na každom prístroji zvlášť a následne sú vykonané štyri chybové merania, pri ktorých nie sú dodržiavané podmienky merania stanovené výrobcami. Namerané hodnoty impedancie, telesného tuku celkovej telesnej vody boli štatisticky porovnané pomocou dvojitýberového t-testu. Chybovosť prístrojov bola kvantifikovaná pomocou priemernej relatívnej odchýlky chybových meraní od referenčného merania.

Kľúčové slová

InBody, Bodystat, bioelektrická impedancia, zloženie tela, elektródy

Abstract

This bachelor thesis deals with the error rate evaluation of the InBody 770 and Bodystat QuadScan 4000 bioimpedance devices used for human body composition analysis. The theoretical part of the thesis contains technical knowledge about the individual instruments as well as a description of the bioelectrical impedance used by the aforementioned instruments for their operation. The practical part consists of measurements of subjects using both devices. The monitored variables are impedance, BFM (body fat) and TBW (total body water). The measurements consist of a reference measurement on each device separately and then four error measurements are made where the measurement conditions set by the manufacturers are not followed. The measured values of impedance, body fat total body water were statistically compared using a two-sample t-test. Instrument error was quantified using the mean relative deviation of the error measurements from the reference measurement.

Keywords

InBody, Bodystat, bioelectrical impedance, body composition, electrodes

Bibliografická citace

PEVALOVÁ, Nicole. *Hodnocení míry chybovosti přístrojů InBody 770 a Bodystat 4000 při narušení podmínek měření udávaných výrobcem*. Brno, 2022, 59s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Centrum sportovních aktivit, Centrum sportovních aktivit. Vedoucí práce: Mgr. Bc. Kamila Bedáňová.

Prohlášení autora o původnosti díla

Jméno a příjmení studenta:	<i>Nicole Pevalová</i>
VUT ID studenta:	<i>220483</i>
Typ práce:	<i>bakalárska práca</i>
Akademický rok:	<i>2021/22</i>
Téma závěrečné práce:	<i>Hodnocení míry chybovosti přístrojů InBody 770 a Bodystat 4000 při narušení podmínek měření udávaných výrobcem.</i>

Prohlašuji, že svou závěrečnou práci jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucí/ho závěrečné práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené závěrečné práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této závěrečné práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne: 3. júna 2022

podpis autora

Obsah

ZOZNAM SYMBOLOV A SKRATIEK.....	14
ZOZNAM OBRÁZKOV.....	15
ZOZNAM TABULIEK.....	16
ZOZNAM GRAFOV.....	17
ÚVOD.....	14
1. ANALÝZA TELESNÉHO ZLOŽENIA.....	15
1.1 AKTÍVNA TELESNÁ HMOTA.....	15
1.2 PASÍVNA TELESNÁ HMOTA.....	15
1.3 ZÁKLADNÉ VELIČINY ANALÝZY LUDSKÉHO TELA.....	16
1.3.1 Celková telesná voda (TBW – Total Body Water).....	16
1.3.2 Tuková hmota (FM - Fat Mass).....	16
1.3.3 Beztuková hmota (FFM – Fat Free Mass).....	17
1.3.4 Kostrová svalová hmota.....	17
2. VYMEDZENIE ZÁKLADNÝCH FYZIKÁLNYCH POJMOV	18
2.1 ELEKTRICKÝ PRÚD.....	18
2.1.1 Striedavý elektrický prúd.....	18
2.2 IZOLANT.....	18
2.3 OHMOV ZÁKON	19
2.4 ELEKTRICKÝ ODPOR	19
2.5 MERNÝ ELEKTRICKÝ ODPOR.....	19
2.6 ELEKTRICKÁ IMPEDANCIA	19
2.7 FREKVENCIA.....	20
3. BIOELEKTRICKÁ IMPEDANČNÁ ANALÝZA (BIA)	21
3.1 JEDNOFREKVENČNÁ BIA.....	23
3.2 MULTIFREKVENČNÁ BIA.....	23
3.2.1 Priama segmentálna multifrekvenčná bioelektrická impedančná analýza DSM-BIA	24
4. POUŽITÉ PRÍSTROJE VYUŽÍVAJÚCE BIA.....	26
4.1 INBODY 770.....	26
4.1.1 Kontraindikácie.....	27
4.1.2 Držanie tela.....	27
4.1.3 Meranie pomocou InBody 770.....	28
4.2 BODYSTAT QUADSCAN 4000.....	29
4.2.1 Kontraindikácie.....	29
4.2.2 Meranie pomocou Bodystat QuadScan 4000.....	30
4.2.3 Merané parametre.....	32
5. OSTATNÉ POUŽITÉ PRÍSTROJE.....	33
5.1 VÝŠKOMER BSM 170.....	33
6. PRAKTICKÁ ČASŤ	34
6.1 CIEĽ PRÁCE.....	34
6.1.1 Hypotézy.....	34
6.2 METODIKA.....	35
6.2.1 Testovací súbor	35
6.2.2 Popis prevedenia testu	35
6.3 HODNOTENIE CHYBOVOSTI PRÍSTROJA BODYSTAT QUADSCAN 4000.....	38
6.3.1 Štatistická analýza.....	38
6.3.2 Kvantifikácia chyby.....	39

6.4	HODNOTENIE CHYBOVOSTI PRÍSTROJA INBODY 770	40
6.4.1	Štatistická analýza.....	40
6.4.2	Kvantifikácia chyby.....	42
7.	VÝSLEDKY	43
7.1	BODYSTAT QUADSCAN 400.....	43
7.2	INBODY 770.....	45
7.3	POROVNANIE PRÍSTROJOV BODYSTAT QUADSCAN 4000 A INBODY 770.....	47
8.	DISKUSIA.....	53
9.	ZÁVER	55
	LITERATÚRA	56
	PRÍLOHA A – OBSAH ODOVZDANÉHO PAMÄŤOVÉHO MÉDIA.....	59

ZOZNAM SYMBOLOV A SKRATIEK

Skratky:

BIA	bioelektrická impedančná analýza
BMI	index telesnej hmotnosti
CT	počítačová tomografia
DEXA	duálna emisná rentgenová absorpciometria
DSM - BIA	priama segmentová multifrekvenčná bioelektrická impedančná analýza
ECW	extracelulárna voda
FFM	beztuková hmota
FM	tuková hmota
ICW	intracelulárna voda
MF-BIA	multifrekvenčná bioelektrická impedančná analýza
MRI	magnetická rezonancia
SF-BIA	jednofrekvenčná bioelektrická impedančná analýza
TBW	celková telesná voda
WHR	pomer obvodu pásu a bokov

Symboly:

f	frekvencia	[Hz]
I	elektrický prúd	[A]
Q	elektrický náboj	[C]
R	elektrický odpor	[Ω]
S	obsah	[m ²]
T	perióda	[s]
t	čas	[s]
U	elektrické napätie	[V]
V	objem	[l]
X	reaktancia	[Ω]
Z	impedancia	[Ω]
ρ	merný elektrický odpor	[Ω *m]

ZOZNAM OBRÁZKOV

Obrázok 1 Frekvencia 12 Hz (hore) a frekvencia 4 Hz (dole) [10]	20
Obrázok 2 Prechod prúdu biologickými štruktúrami pri frekvenciách 5 kHz a 200 kHz [3]	24
Obrázok 3 Telo chápané ako jeden valec (vľavo) a ako päť valcov (vpravo) [17].....	25
Obrázok 4 Prístroj InBody 770 [14].....	26
Obrázok 5 Správne držanie madla s elektródami [14]	27
Obrázok 6 Správny postoj na elektródach [13].....	28
Obrázok 7 Bodystat QuadScan 4000 [23].....	29
Obrázok 8 Umiestnenie elektród a pripnutie krokosvoriek na ruke [4]	31
Obrázok 9 Umiestnenie elektród a pripnutie krokosvoriek na nohe [4]	31
Obrázok 10 Výškomer BSM 170 [32]	33
Obrázok 11 Presnosť prístroja Bodystat QuadScan 4000 [3]	39
Obrázok 12 Známenie impedančných segmentov ľudského tela [31]	40
Obrázok 13 Elektrický obvod ľudského tela.....	40
Obrázok 14 Elektrický obvod bez paralelných impedancií	41

ZOZNAM TABULIEK

Tabuľka 1 Zastúpenie tuku v tele vzhľadom na vek a pohlavie [3].....	17
Tabuľka 2 Úrovne fyzickej aktivity využívané prístrojom Bodystat [1]	30
Tabuľka 3 Demografická charakteristika testovacieho súboru	35
Tabuľka 4 Priemerné relatívne odchýlky chybových meraní Bodystat QuadScan 4000.....	44
Tabuľka 5 Priemerné relatívne odchýlky chybových meraní InBody 770	46
Tabuľka 6 Impedancie namerané prístrojom Bodystat QuadScan 4000.....	47
Tabuľka 7 Impedancie namerané prístrojom InBody 770	47
Tabuľka 8 Tuk nameraný prístrojom Bodystat QuadScan 4000 pre jednotlivé merania.....	48
Tabuľka 9 Tuk nameraný prístrojom InBody 770 pre jednotlivé merania	49
Tabuľka 10 Celkové množstvo tuku: Pearsonov korelačný koeficient a p-hodnota dvojitýberového t-testu pre odpovedajúce si merania	50
Tabuľka 11 Voda nameraná prístrojom Bodystat QuadScan 4000 pre jednotlivé merania.....	51
Tabuľka 12 Voda nameraná prístrojom InBody 770 pre jednotlivé merania	51
Tabuľka 13 Celkové množstvo vody: Pearsonov korelačný koeficient a p-hodnota dvojitýberového t-testu pre odpovedajúce si merania	52

ZOZNAM GRAFOV

Graf 1 Rozloženie nameraných impedancií prístrojom Bodystat QuadScan 4000 pre jednotlivé merania pre a) 5 kHz, b) 50 kHz, c) 100 kHz, d) 200 kHz.....	38
Graf 2 Rozloženie nameraných impedancií prístrojom InBody 770 pre jednotlivé merania pre a) 1 kHz, b) 5 kHz, c) 50 kHz, d) 250 kHz, e) 500 kHz, f) 1000 kHz.....	42
Graf 3 Priemerné relatívne odchýlky frekvencií Bodystat QuadScan 4000	43
Graf 4 Priemerné relatívne odchýlky impedancií Bodystat QuadScan 4000.....	43
Graf 5 Priemerné relatívne odchýlky chybových meraní Bodystat QuadScan 4000.....	44
Graf 6 Priemerné relatívne odchýlky frekvencií InBody 770	45
Graf 7 Priemerné relatívne odchýlky impedancií InBody 770	45
Graf 8 Priemerné relatívne odchýlky chybových meraní InBody 770.....	46
Graf 9 Korelácia medzi impedanciami pri spoločnej frekvencii 50 kHz.....	48
Graf 10 Korelácia množstva nameraného telesného tuku (kg) pri meraní a) referenčnom, b) v stoji, c) po jedení, d) po fyzickej aktivite, e) po 6 - 8 hodinách	50
Graf 11 Korelácia množstva nameranej celkovej vody v tele (l) pri meraní a) referenčnom, b) v stoji, c) po jedení, d) po fyzickej aktivite, e) po 6 - 8 hodinách	52

ÚVOD

Analýza telesného zloženia nám poskytuje informácie o zastúpení tukovej hmoty, beztukovej hmoty, čistej svalovej hmoty a vody v tele. Poznatky o zložení ľudského tela nám napomáhajú k udržiavaniu či zlepšovaniu zdravotného stavu. Hmotnosť tela sama o sebe nie je najrelevantnejším údajom určovania zdravotného stavu osoby. Oveľa dôležitejšie je poznať to, z čoho táto hmotnosť pozostáva. Je totiž rozdiel, ak majú osoby rovnaké telesné hmotnosti, no diametrálne iný pomer tuku a svalov. Na analýzu zloženia tela sa používajú bioimpedančné prístroje. Meranie týmito prístrojmi je rýchle a neinvazívne. Bioelektrická impedančná analýza je založená na meraní impedancie tkanív. Jednotlivé tkanivá majú rôznu vodivosť a kladú prúdu, ktorý bol vyslaný do tela, rôzny odpor. Na základe rozličného odporu sa dá určiť, o aký typ tkaniva sa jedná. Bioelektrický impedančný prístroj vie určiť podiel svalovej či tukovej hmoty v tele, no i mnoho iného.

Prvá časť tejto bakalárskej práce obsahuje teoretické nastienenie o analýze ľudského tela. Ďalej sa tu nachádza vysvetlenie základných fyzikálnych pojmov, s ktorými sa v práci neskôr stretneme. Bližšie je tu vysvetlená podstata bioelektrickej impedančnej analýzy a jej rozdelenie na základe použitej frekvencie prúdu. Nakoniec sú v tejto časti popísané prístroje, s ktorými neskôr v praktickej časti pracujeme.

Praktická časť bakalárskej práce pozostáva z meraní na dvoch bioimpedančných prístrojoch, a to na InBody 770 a Bodystat QuadScan 4000. Cieľom tejto práce je určiť chybovosť oboch prístrojov na základe porušovania podmienok merania udaných výrobcami. Ako prvé je uskutočnené referenčné meranie, pri ktorom sú dodržané všetky pokyny od výrobcov. Ostatné merania, nedodržiavajúce pokyny výrobcov, pokladáme za chybové. Následne porovnávame výsledky z referenčného merania s výsledkami chybových meraní a snažíme tak určiť chybovosť prístrojov.

1. ANALÝZA TELESNÉHO ZLOŽENIA

Bioelektrická impedančná analýza je prostá neinvazívna metóda, pomocou ktorej zisťujeme stav ľudského tela. Telesnou analýzou získavame informácie o zastúpení jednotlivých kompartmentoch tela, akými sú svaly, telesná voda, minerály, podkožný tuk či viscerálny tuk.

Analýza zloženia tela by sa mala podstupovať z niekoľkých dôvodov:

1. prehľad o tele – pomer jednotlivých kompartmentov a ich porovnanie s doporučenými hodnotami na základe veku a pohlavia meranej osoby,
2. sledovanie zmien v tele pri nastavení nového režimu, ktorému predchádzala analýza zloženia tela (úbytok podkožného tuku, nárast svalovej hmoty),
3. predchádzanie zdravotným problémom. [26]

Platí, čím častejšie sa meria zloženie tela, tým lepšie. Po prvotnom meraní sa odporúča kontrolné premeriavanie každé 2-4 týždne. Pravidelná analýza telesného zloženia motivuje merané osoby a umožňuje im sledovať ich vývoj v čase. [16]

Jednotlivé telesné kompartmenty spoločne vytvárajú celkovú telesnú hmotnosť. Z hľadiska analýzy tieto zložky rozdeľujeme do dvoch základných celkov, a to aktívnu a pasívnu telesnú hmotu.

1.1 Aktívna telesná hmota

Aktívna telesná hmota alebo tiež beztuková telesná hmota je hmota, ktorá pri svojej činnosti spotrebúva energiu. Do aktívnej svalovej hmoty zaraďujeme svaly, kosti, vnútorné orgány, minerály a ďalšie zložky spotrebúvajúce energiu. Jedinou zložkou aktívnej telesnej hmoty, ktorej zastúpenie v tele môžeme ovplyvniť, sú svaly. Zvyšné zložky majú svoju hmotnosť danú a za bežných okolností nemennú. [6][26]

1.2 Pasívna telesná hmota

Pasívna telesná hmota je hmota, ktorá ku svojej činnosti nepotrebuje žiadnu energiu. Pri nadbytočnom príjme potravy vzniká nadbytočné množstvo energie, ktoré sa ukladá vo forme tukových zásob. Pasívnou telesnou hmotou je tuková hmota. [26]

1.3 Základné veličiny analýzy ľudského tela

1.3.1 Celková telesná voda (TBW – Total Body Water)

Hodnota TBW vyjadruje množstvo celkovej vody v tele. Voda tvorí významnú časť organizmu (55–88 %), pričom s vekom hodnota vody v tele klesá. U ženy tvorí približne o 5–8 % nižšiu hodnotu v porovnaní s rovnako starým mužom v dôsledku vyššieho podielu telesného tuku. Rozdelenie jednotlivých telesných priestorov podľa obsahu vody je ale pomerne stabilné:

- intracelulárny priestor: 55–60 %,
- extracelulárny priestor: 44–45 %,
- intravazálna voda: 7,5 %. [33]

Najviac vody je obsiahnutej v krvi, potom vo svaloch a napokon v koži. Kosti obsahujú o čosi menej vody (22 %). Najmenej vody je sa nachádza v tukovej hmote (10 %). Preto ľudia s nadváhou či obezitou majú nízky obsah vody v tele (45 %). [9]

TBW pozostáva z 2 typov tekutín, a to z intracelulárnej vody (ICW) a extracelulárnej vody (ECW). ICW je voda vo vnútri buniek, ktorá tvorí približne 2/3 TBW. ECW je voda mimo buniek a tvorí 1/3 z celkového objemu TBW. Medzi TBW a ECW existuje silná korelácia a pomer ECW/TBW je pomerne stály u zdravých jedincov. Pomer ECW/TBW má u väčšiny ľudí priemernú hodnotu okolo 0,38 s prijateľným rozsahom medzi 0,36 - 0,39. Vyššia hodnota ako 0,39 označuje nadbytok ECW. [6][8][25]

1.3.2 Tuková hmota (FM - Fat Mass)

Tuky v ľudskom tele sa ukladajú pri nadbytočnom príjme potravy. Zdrojom energie v potrave sú živiny: sacharidy (glycidy, cukry, uhľovodany), lipidy (tuky, najmä triacylglyceroly) a proteíny (bielkoviny). Ak je príjem energie väčší ako energetický výdaj (fyzická aktivita), tak sa táto prebytočná energia uloží do tela ako tuk. Telesný tuk funguje ako izolátor striedavého prúdu. Celková tuková hmota je tvorená dvoma typmi tuku: podkožným tukom a viscerálnym tukom. Viscerálny tuk nazývaný tiež útrobný je tuk nachádzajúci sa v brušnej dutine, ktorý obklopuje a chráni vnútorné orgány. [8][26][33]

Všeobecne majú ženy väčšie množstvo tuku ako muži. Takisto množstvo tuku s rastúcim vekom stúpa. [25]

V tabuľke 1 sa nachádzajú percentuálne hodnoty tuku, ktoré odpovedajú podváhe, ideálnej váhe, nadváhe a obezite. Toto zastúpenie telesného tuku je popísané vzhľadom na pohlavie a vek.

Tabuľka 1 Zastúpenie tuku v tele vzhľadom na vek a pohlavie [2]

Pohlavie	Vek	Podváha	Ideálna váha	Nadváha	Obezita
Muži	20-40	<8 %	8-19 %	19-25 %	>25 %
	41-60	<11 %	11-22 %	22-27 %	>27 %
	61-79	<13 %	13-25 %	25-30 %	>30 %
Ženy	20-40	<21 %	21-33 %	33-39 %	>39 %
	41-60	<23 %	23-35 %	35-40 %	>40 %
	61-79	<24 %	24-36 %	36-42 %	>42 %

1.3.3 Beztuková hmota (FFM – Fat Free Mass)

Beztuková hmota zahŕňa všetko, čo nie je telesný tuk. Do beztukovej hmoty zaraďujeme svaly (proteíny), orgány, kosti a vodu. [8]

1.3.4 Kostrová svalová hmota

Kostrová svalová hmota je hmota, ktorú možno rozvíjať prostredníctvom anaeróbného (rezistenčného) cvičenia. [8]

2. VYMEDZENIE ZÁKLADNÝCH FYZIKÁLNYCH POJMOV

2.1 Elektrický prúd

Elektrický prúd I je usporiadaný pohyb voľných častíc s elektrickým nábojom Q . Vodiče sú látky, ktoré obsahujú voľné elektróny a vedú elektrický prúd. Podmienkou vzniku elektrického prúdu v látke je:

1. prítomnosť voľných častíc s elektrickým nábojom
2. vznik elektrického poľa v tejto látke

Elektrický prúd môžu sprostredkovať nielen elektróny, ale aj kladne nabité ióny (katióny) a záporne nabité ióny (anióny). V elektrolytoch, čo sú roztoky vedúce elektrický prúd, spôsobujú vodivosť práve anióny a katióny. [30]

Udržiavané elektrické pole vo vodiči nastane, ak je vodič pripojený na elektrický zdroj. Podľa dohody sa za smer šírenia elektrického prúdu pokladá smer pohybu voľných častíc s kladným nábojom. Jednotkou elektrického prúdu je ampér [A]. Elektrický prúd je definovaný podielom celkového náboja Q , ktorý prejde prierezom vodiča S za čas t a času t :

$$I = \frac{Q}{t} = \frac{[C]}{[s]} = [A]$$

Ak prejde prierezom vodiča náboj s veľkosťou 1 C za 1 sekundu, tak ním preteká prúd o veľkosti 1 A. [30]

2.1.1 Striedavý elektrický prúd

O striedavom elektrickom prúde hovoríme, ak sa jeho okamžité hodnoty menia v čase. Striedavý prúd mení pravidelne svoj smer. Okamžité hodnoty prúdu označujeme i . [30]

2.2 Izolant

Izolanty (dielektriká) obsahujú rovnako ako vodiče veľký počet častíc s nábojom, z ktorých sú zložené ich atómy alebo molekuly. Tieto nabité častice sú ale v izolantoch viazané, nemôžu sa v látke voľne pohybovať. Izolanty nevedú elektrický prúd, pretože neobsahujú voľné elektróny ani iné voľné častice, ktoré by mohli sprostredkovať vedenie prúdu.

2.3 Ohmov zákon

Elektrický prúd I vo vodiči je priamo úmerný elektrickému napätiu U medzi koncami vodiča:

$$I = \frac{U}{R}$$

Z Ohmovho zákona vyplýva, že podiel U/I je pre daný vodič konštantný a nezávisí od napätia alebo prúdu vo vodiči. To umožňuje zaviesť pre každý vodič charakteristickú veličinu – elektrický odpor.

2.4 Elektrický odpor

Elektrickým odporom alebo tiež rezistanciou R sú vyjadrené elektrické vlastnosti vodiča. Príčinou elektrického odporu sú zrážky voľných elektricky nabitých častíc s iónmi mriežky, ktoré brzdia ich usporiadaný pohyb. Čím viac zrážok, tým väčší odpor. Veľkosť elektrického odporu pri danej teplote závisí od jeho dĺžky l , kolmého prierezu S obsahom S a od materiálu, z ktorého je vodič vyrobený. Jednotkou rezistancie je ohm $[\Omega]$. [30]

2.5 Merný elektrický odpor

Merný elektrický odpor alebo tiež rezistivita ρ charakterizuje materiál vodiča. Rešpektuje skutočnosť, že rôzne materiály kladú elektrickému prúdu rôzny odpor. Jednotkou rezistivity je ohm meter $[\Omega \cdot m]$. Závislosť elektrického odporu vodiča od jeho dĺžky l , kolmého prierezu S a rezistivity materiálu vodiča vyjadruje vzťah: [30]

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

Z toho vyplýva, že odpor rastie priamo úmerne s dĺžkou vodiča a so zväčšujúcim sa prierezom vodiča odpor naopak klesá.

2.6 Elektrická impedancia

Elektrická impedancia Z je rozšírením pojmu elektrický odpor na prípad, kedy látkou prechádza striedavý elektrický prúd. Jednotkou impedancie je ohm $[\Omega]$. Hodnota impedancie je daná Ohmovým zákonom: [30]

$$Z = \frac{U}{I}$$

Impedancia je teda odpor, ktorý látka kladie striedavému prúdu. Skladá sa z reálnej zložky (rezistencia R) a imaginárnej zložky (reaktancia X). Celkovú hodnotu impedancie vypočítame ako súčet jej obidvoch zložiek: [30]

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2}$$

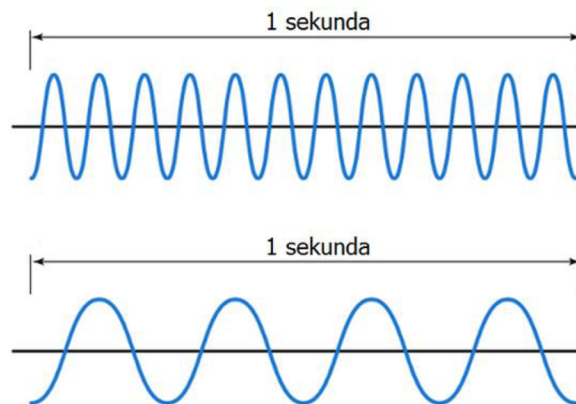
Elektrická bioimpedancia je definovaná ako meranie elektrickej impedancie biologického vzorku. [26]

2.7 Frekvencia

Frekvencia udáva počet periód za sekundu. Označuje, koľkokrát za 1 sekundu sa zmení polarita striedavého prúdu. Jednotkou frekvencie je hertz [Hz]. Prevrátená hodnota periódy T sa rovná frekvencii:

$$f = \frac{1}{T}$$

Na obrázku 1 môžeme vidieť 2 signály s rôznou frekvenciou. Prvý signál má vyššiu frekvenciu s hodnotou 12 Hz, kdežto druhý signál má viditeľne nižšiu frekvenciu $f = 4$ Hz.



Obrázok 1 Frekvencia 12 Hz (hore) a frekvencia 4 Hz (dole) [10]

3. BIOELEKTRICKÁ IMPEDANČNÁ ANALÝZA (BIA)

Bioelektrická impedančná analýza (BIA) je meracia metóda na stanovenie množstva vody a tuku v tele. Pri tejto rýchlej a neinvazívnej metóde prechádza telom slabý striedavý elektrický prúd s vysokou frekvenciou. Metóda odhaduje zloženie tela na základe rozdielnej elektrickej vodivosti biologických štruktúr v ľudskom tele. Prúd prechádza telom a to nám umožňuje merať elektrický odpor tela. Pri meraní BIA sa využívajú elektródy pre prenos bioelektrických signálov. [7]

Do tela vysielame elektrický prúd, ktorého parametre sú nám vopred známe. Avšak vyslaný prúd a prúd vracajúci sa do analyzátoru po priechode telom nie sú zhodné. Rozdielom týchto prúdov stanovujeme odpor, ktorý nazývame impedancia (Z). Podstatou metódy BIA je teda presné zmeranie impedancie. Príčinou premenlivosti týchto dvoch prúdov je fakt, že v tele sa nachádzajú štruktúry s rôznou vodivosťou. Čím je obsah vody v danom tkanive vyšší, tým je vyššia vodivosť a nižšia impedancia a naopak. [12]

Svalové tkanivo obsahuje 73% vody, a práve preto u neho nameriame nízku impedanciu. Pomocou hodnoty nameranej impedancie môžeme vypočítať objemu svalovej hmoty. Pri výpočte celkového objemu svalovej hmoty sa používa aj telesná výška. Tukové tkanivo obsahuje v porovnaní so svalovým tkanivom oveľa nižšie percento vody (10%), takže je takmer nevodivé. Tukovú hmotu pokladáme za izolant, ktorý znižuje schopnosť prúdu prechádzať ľudským telom. Cez tento typ tkaniva preteká veľmi malý prúd (= vysoká impedancia). [7]

Elektrická bioimpedancia alebo odpor tkaniva je nepriamo úmerná objemu tkaniva, ktorým prechádza elektrický prúd, čo vychádza z princípu Ohmovho zákona: prúd prechádzajúci telom je nepriamo úmerný impedancii. [29]

Pri analýze vyslaného prúdu do tela je potrebné rátať aj s reaktanciou (X). Reaktancia je v tomto prípade odpor generovaný bunkovými membránami. Približne 95 % informačnej hodnoty impedancie tvorí rezistencia. Zvyšných 5 % predstavuje spomínanú reaktanciu, ktorú môžeme zanedbať. [5][11]

BIA vníma telo ako valcový vodič alebo súbor valcových vodičov. Na základe tohto predpokladu je impedancia priamo úmerná dĺžke valca (l) a nepriamo úmerná ploche prierezu tohto valca (S). ρ je v tomto prípade konštanta reprezentujúca tkanivový odpor: [12]

$$Z = \rho * \left(\frac{l}{S}\right)$$

Vzťah pre výpočet obsahu valca je definovaný ako súčin obsahu podstavy (S) a výšky valca (l), teda:

$$V = S * l$$

Úpravou rovníc dostaneme:

$$V = \frac{\rho * l^2}{Z}$$

Z toho vyplýva, že celkový objem valca (tela) je priamo úmerný dĺžke valca (výške tela) umocneného na druhú a nepriamo úmerný impedancii. Výsledná impedancia je vyjadrená súčtom nameraných odporov R a X: [12]

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2}$$

Z nameranej hodnoty impedancie možno určiť:

1. **TBW (Total Body Water)** – celkové množstvo vody v tele zahrňujúce extracelulárnu vodu (ECW) aj intracelulárnu vodu (ICW). Toto množstvo je závislé na veku, pohlaví a telesnej hmotnosti.
2. **FFM (Fat Free Mass)** - hmotnosť beztukovej hmoty,
3. **FM (Fat Mass)** - hmotnosť tukovej hmoty,
4. **% FAT (Percent Body Fat)** - percentuálne množstvo tuku v tele. [7]

TBW sa určí pomocou vzťahu, ktorý odvodili Lukaski a Bolonchuk pre zdravých dospelých jedincov: [24]

$$TBW = 0,372 * \left(\frac{h^2}{R}\right) + 3,05 * (P) + 0,124 * (M) - 0,069 * (V)$$

Kde:

TBW = celková telesná voda [l],

h = výška osoby [cm],

R = odpor [Ω],

P = pohlavie (pre mužov 1, pre ženy 0),

M = hmotnosť [kg],

V = vek [roky].

Na základe vypočítaného množstva celkovej telesnej vody TBW môžeme ďalej určiť množstvo beztukovej hmoty (FFM) a tukovej hmoty (FM). Beztukovú hmotu získame vzťahom:

$$FFM = \frac{TBW}{0,732}$$

Hodnota 0,732 (73,2 %) je konštanta a vyjadruje vyššie spomínanú priemernú hydratáciu beztukovej hmoty u dospelého človeka. U detí je táto hodnota spravidla vyššia. Množstvo extracelulárnej vody súvisí s vitalitou organizmu. S vyšším vekom sa objem ECW znižuje, zatiaľ čo ICW svoj objem zväčšuje. [29]

Rozdielom telesnej hmotnosti M a beztukovej hmoty (FFM) získame tukovú hmotu (FM).

$$FM = M - FFM$$

Percentuálne množstvo tuku v tele získame podielom tukovej hmoty k telesnej hmotnosti:

$$\% FAT = \left(\frac{FM}{M}\right) * 100 \quad [26]$$

3.1 Jednofrekvenčná BIA

Jednou z metód merania zloženia tela pomocou BIA je jednofrekvenčná BIA (SF-BIA), ktorá pracuje s konštantnou veľkosťou frekvencie 50 kHz. SF-BIA je jednou z prvých metód analýzy zloženia tela. [21][29]

Frekvencia 50 kHz má najvyššiu reaktanciu a pomocou nej sa dajú najľahšie zistiť telesné charakteristiky. Súčasne je z technického hľadiska najľahšie použiteľná. Frekvencia 50 kHz sa šíri iba extracelulárnou tekutinou, nakoľko nie je schopná prestúpiť bunkovú membránu, a preto nie je možné presne zmerať intracelulárnu tekutinu. SF-BIA umožňuje odhadnúť beztukovú hmotu (FFM) a celkovú telesnú vodu (TBW). [19][29]

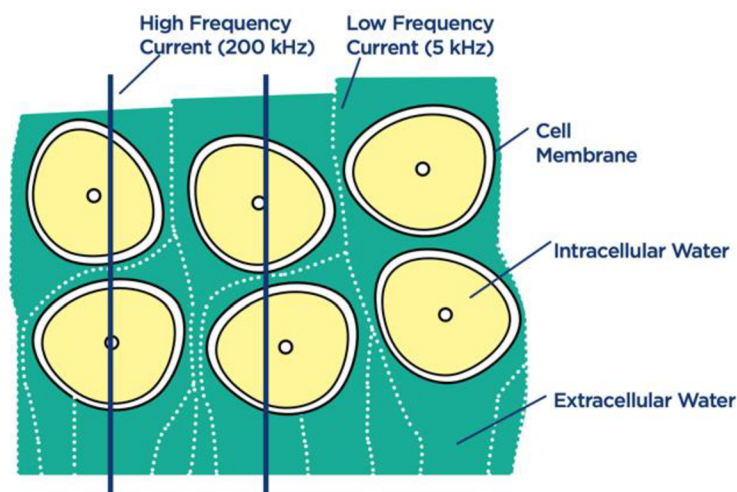
3.2 Multifrekvenčná BIA

Ďalšou metódou je multifrekvenčná BIA (MF-BIA). Koncom 80. rokov minulého storočia sa začalo používať viacero frekvencií a bolo zistené, že bunkovú membránu dokážu prestúpiť frekvencie nad 100 kHz. Vďaka tomu možno presne zmerať objem intracelulárnej tekutiny. [5][26]

MF-BIA zahrňuje impedancie na viacnásobných frekvenciách a umožňuje tak hodnotiť FFM, TBW, ale aj ECW a ICW. [29]

Nízke frekvencie o veľkosti 5 kHz a menej ťažko prenikajú cez bunkovú membránu, a preto je prúd primárne vedený cez extracelulárne priestory. Tým pádom získame informáciu o množstve extracelulárnej tekutiny (ECW). [4]

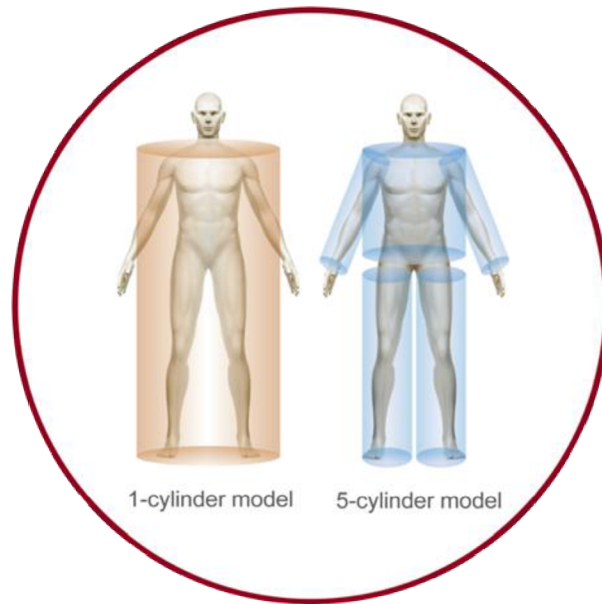
Pri zvyšovaní frekvencie začína elektrický prúd prenikať cez bunkové membrány. Prúd pri vyšších frekvenciách preteká v oboch priestoroch – v intracelulárnom aj extracelulárnom a získame tak informácie aj o objeme intracelulárnej tekutiny (ICW). MF-BIA je presnejšou metódou. [4][21] Prechod prúdu pri rôznych frekvenciách je znázornený na obrázku 2.



Obrázok 2 Prechod prúdu biologickými štruktúrami pri frekvencií 5 kHz a 200 kHz [3]

3.2.1 Priama segmentálna multifrekvenčná bioelektrická impedančná analýza DSM-BIA

Technológia DSM-BIA vychádza z metódy BIA. Podstatou je to, že na rozdiel od klasickej BIA metóda DSM-BIA neuvažuje, že je telo jeden valec. DSM-BIA rozdeľuje telo až na päť meraných segmentov či valcov (pravá a ľavá paža, trup, pravá a ľavá noha), čo umožňuje omnoho presnejšie výsledky meraní a širšie využitie prístrojov využívajúcich túto metódu u rôznych typov ľudí. Metódu DSM-BIA využíva výhradne spoločnosť InBody, ktorá ju má patentovanú. [15]



Obrázok 3 Telo chápané ako jeden valec (vľavo) a ako päť valcov (vpravo) [17]

4. POUŽITÉ PRÍSTROJE VYUŽÍVAJÚCE BIA

Najznámejšími zaradeniami, ktoré k analýze zloženia ľudského tela využívajú metódu BIA sú prístroje od spoločnosti InBody, Bodystat, Tanita či Omron. Každá firma poskytuje viacero modelov týchto prístrojov odlišujúcich sa najmä v presnosti, konštrukcií a výslednej cene. Takisto sú modely prístrojov rôzne v závislosti na ich použití či už v lekárskom, športovom alebo domácom prostredí. Podrobnejšie sa budeme venovať prístrojom InBody 770 a Bodystat QuadScan 4000, s ktorými sme v praktickej časti pracovali.

4.1 InBody 770

Prístroj InBody 770 je jedným z najpresnejších prístrojov určených na analýzu zloženia tela. Využíva technológiu DSM-BIA. Prístroj je určený pre osoby vo veku 3 – 99 rokov s telesnou výškou 95 – 220 cm. Váha zabudovaná v prístroji má rozsah 10 – 270 kg. Výhodou je štvorpólová 8 bodová dotyková elektróda, ktorá poskytuje presnejšie vyhodnotenie u ľudí s rôznym typom postavy. Pre každú končatinu sú určené 2 elektródy. Pre spoľahlivé výsledky je veľmi dôležité správne držanie tela a uchopenie madiel. Prístroj môžeme rozdeliť na dve časti – spodnú a hornú. Spodná časť, ktorá je v kontakte s chodidlami, obsahuje stúpadlo s nožnými elektródami. Horná časť obsahuje madlá s ručnými elektródami, zabudovaný farebný LCD displej s rozlíšením 480 x 800 px a klávesnicu. Pre priechod elektrických impulzov telom využíva prístroj až 6 frekvencií – 1 kHz, 5 kHz, 50 kHz, 250 kHz, 500 kHz a 1000 kHz. Elektrické impulzy prechádzajú jednotlivými segmentami tela. [16][18]



Obrázok 4 Prístroj InBody 770 [14]

4.1.1 Kontraindikácie

Prístroj InBody 770 používa bezpečné prúdy nízkych intenzít, ktoré pre telo nie sú škodlivé. Napriek tomu sa meranie neodporúča tehotným ženám v prvom trimestri tehotenstva. Osoby s kardiostimulátorom nesmú byť merané na bioimpedančnom zariadení. Nízky elektrický prúd, ktorý prúdi do celého tela, môže poškodiť kardiostimulátor alebo zhoršiť zdravotný stav osoby. Meranie nie je možné uskutočniť ani na osobách s amputovanými končatinami. Deti a osoby s obmedzenou schopnosťou pohybu a orientácie by mali byť pod odborným dozorom, ktorý im je schopný pomôcť pri meraní. [16]

4.1.2 Držanie tela

Meraná osoba musí počas merania správne držať telo. Meranie bude prebiehať len pri dobrom elektrickom kontakte. Ruky sú držané rovno a nemôžu sa dotýkať trupu. Stehná sa navzájom nesmú dotýkať. Ak sa stehná prirodzene dotýkajú, je potrebné vložiť medzi ne papier, ktorý má funkciu izolanta. Madlá musia byť držané tak, aby štyri prsty objali povrch spodnej elektródy a palec musí byť položený na oválnej vrchnej elektróde. Päty musia byť položené presne na kruhových elektródach. Je potrebné, aby bola meraná osoba len v spodnom prádle, bez ponožiek a bez akýchkoľvek iných doplnkov, ktoré by sa zarátali do celkovej telesnej hmotnosti. [16]



Obrázok 5 Správne držanie madla s elektródami [14]



Obrázok 6 Správny postoj na elektródach [13]

4.1.3 Meranie pomocou InBody 770

Aby sme dosiahli presné výsledky merania, výrobca uvádza nasledovné pokyny:

1. Pred meraním stojte vzpriamene asi 5 minút. Testovanie bezprostredne po ležaní alebo po dlhšej dobe sedenia môže viesť k miernej zmene výsledku merania. K zmene výsledku môže dôjsť preto, lebo voda v tele má tendenciu presúvať sa vplyvom gravitácie k dolnej časti tela akonáhle osoba stojí alebo vstane.
2. Nejedzte pred meraním. Ak meraná osoba jedla, meranie by malo byť odložené po dobu najmenej dvoch hodín po jedle. To z toho dôvodu, že hmotnosť potravín je zahrnutá do hmotnosti meranej osoby a môže tak viesť k chybám pri meraní.
3. Pred meraním použite toaletu. Objem moču a exkrementov je zahrnutý v meranej hmotnosti, ktorá ovplyvňuje presnosť výsledkov merania.
4. Merajte sa pred cvičením. Silné cvičenie alebo ostré pohyby môžu spôsobiť dočasné zmeny v zložení tela. Dokonca aj ľahké cvičenie môže dočasne zmeniť zloženie tela.
5. Ak je to možné, preveďte meranie ráno. Telesná voda má tendenciu presúvať sa k dolnej časti tela behom dňa, čo môže ovplyvniť presnosť výsledku.
6. Pred testovaním dôkladne utrite dlane a chodidlá navlhčenými obrúskami. Meranie môže byť sťažené, ak sú dlane a chodidlá meranej osoby príliš suché alebo ak má meraná osoba príliš veľa mozol'ov.
7. Vyhnite sa fyzickému kontaktu s meranou osobou počas merania. Fyzický kontakt môže viesť k ovplyvneniu výsledkov merania. [16]

4.2 Bodystat QuadScan 4000

Bodystat QuadScan 4000 je multifrekvenčný analyzátor zloženia tela, ktorý pracuje na základe bioelektrickej impedancie. Poskytuje rýchlu, nenáročnú, prenosnú a neinvazívnu alternatívu k iným metódam slúžiacim na analýzu zloženia ľudského tela a určenia obsahu telesných tekutín. Napájanie prístroja je zabezpečené pomocou šiestich batérií, čím je zaistená jeho prenosnosť. Prístroj pozostáva z multifrekvenčnej jednotky bioimpedančnej analýzy, ku ktorej sa pripájajú dva hlavné káblové vodiče. Každý kábel má na svojom konci dve krokosvorky - červenú a čiernu. Tieto svorky sa pripájajú k exponovaným úchytkám na elektródach. Pri meraní prechádza bezpečný signál (prúd) vygenerovaný batériami telom a meria bioelektrickú impedanciu na štyroch fixných frekvenciách 5, 50, 100 a 200 kHz. [4]

Princípom merania je prietok prúdu cez telo závislý na použitej frekvencii. Nízke frekvencie ťažšie prenikajú cez bunkovú stenu, a teda prúd je vedený prevažne cez extracelulárne priestory. Naopak, pri vyšších frekvenciách prúd preniká aj cez bunkovú membránu. Prúd pri vyšších frekvenciách preteká v oboch priestoroch – v intracelulárnom aj extracelulárnom. [22]



Obrázok 7 Bodystat QuadScan 4000 [23]

4.2.1 Kontraindikácie

Meranie prístrojom Bodystat QuadScan 4000 nesmie byť uskutočnené na osobách s kardiostimulátorom a tehotných ženách. [4]

4.2.2 Meranie pomocou Bodystat QuadScan 4000

Počas vyšetrenia je meraná osoba v horizontálnej polohe na chrbte, končatiny by mali byť mierne od tela. Táto poloha je výhodná napríklad pre handicapovaných pacientov, ktorí nezvládnu stáť na platforme či neudržia madlá s elektródami. Nevýhodou merania na prístroji Bodystat môže byť práve vyšetrovacia poloha. Ak má meraná osoba problém dostať sa do horizontálnej polohy, toto meranie môže byť pre ňu diskomfortné.

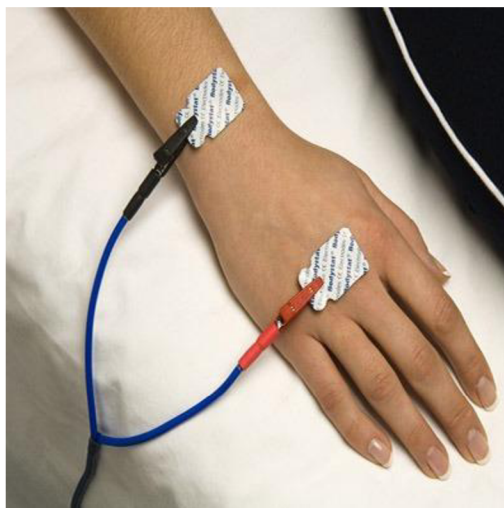
Pred meraním na prístroji Bodystat QuadScan 4000 potrebujeme poznať telesnú výšku a váhu meranej osoby. Tieto hodnoty zistíme ešte pred začatím merania. Do prístroja následne manuálne zadáme vek meranej osoby, zmeranú výšku, váhu a úroveň fyzickej aktivity.

Tabuľka 2 Úrovně fyzickej aktivity využívané prístrojom Bodystat [1]

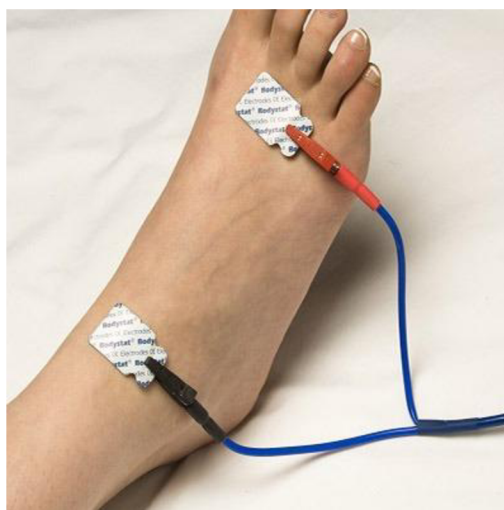
Úroveň fyzickej aktivity	Všeobecne	Aktivity
Veľmi nízka	Prevažuje nečinnosť	Ležanie, sedenie, písanie, státie, šoférovanie
Nízka/Stredná	Krátkodobé odpočinkové aktivity nízkej aktivity	Bicyklovanie (9 km.h ⁻¹), bowling, golf, turistika, tenis, chôdza (4 km.h ⁻¹)
Stredná	Občasné odpočinkové aktivity krátkeho trvania a strednej intenzity.	Aerobic (nízka intenzita), badminton, bicyklovanie (14 km.h ⁻¹), zjazdové lyžovanie, plávanie, spoločenský tanec
Stredná/Vysoká	Stredne ťažká práca a stredne ťažké cvičenie 3x do týždňa	Basketbal, bicyklovanie(18-22 km.h ⁻¹), kanoistika, rýchly tanec, skákanie cez švihadlo(60-80x za min), beh (8-10 km.h ⁻¹), chôdza (8-10 km.h ⁻¹)
Veľmi vysoká	Náročná práca a ťažké cvičenie 4x do týždňa	pozemný hokej, squash, ľadový hokej, hádzaná, skákanie cez švihadlo (120- 140x za min), futbal, beh (11-14 km.h ⁻¹), bežkovanie (11-14 km.h ⁻¹), plávanie (46-64 m.min ⁻¹).

Meranie sa prevádza na pravej strane tela v horizontálnej polohe, keď meraná osoba leží na chrbte. Meraná osoba by pred spustením merania mala ležať aspoň 5 minút kvôli ustáleniu pohybu tekutín v tele spôsobeného vplyvom gravitácie pri zmene polohy tela zo stoja do ľahu. Prístroj Bodystat obsahuje obrazový návod správneho umiestnenia

elektrod a ich zapojenia. Na pravú ruku sa nalepia dve gélové elektródy v oblasti zápästia a záprstných kostičiek. Na pravú nohu sa takisto nalepia dve gélové elektródy, a to v oblasti priehlavku a metatarzálnych kostičiek. Najlepšie je lepiť elektródy na očistenú kožu, ideálne zbavenú ochlpenia. Elektródy sa lepia tak, aby úchytky, na ktoré sa pripínajú krokosvorky, smerovali od tela. Následne je veľmi dôležité dodržať farebnú postupnosť krokosvoriek. Ako možno vidieť na obrázku 8 a 9, na elektródy umiestnené na metakarpálnych a metatarzálnych kostičkách sa pripínajú červené krokosvorky. Na zápästie a priehlavok sa pripínajú čierne krokosvorky. Po správnom nalepení elektrod a pripojení krokosvoriek možno začať s meraním.



Obrázok 8 Umiestnenie elektrod a pripnutie krokosvoriek na ruke [4]



Obrázok 9 Umiestnenie elektrod a pripnutie krokosvoriek na nohe [4]

Po skončení merania, ktoré trvá len pár sekúnd, prístroj okamžite zobrazí na displeji výsledky či už namerané, alebo vypočítané. Bodystat QuadScan 4000 je vybavený rozhraním Bluetooth, pomocou ktorého sú výsledky komplexnej analýzy zloženia tela odosielané externej prenosnej tlačiarni. Po meraní si môžeme z prístroja vytlačiť fyzický štítok s výsledkami.

4.2.3 Merané parametre

Prístroj Bodystat QuadScan 4000 meria/vypočítava* nasledujúce údaje:

- Percento a objem extracelulárnej tekutiny*
- Percento a objem intracelulárnej tekutiny*
- Percento celkovej telesnej vody a hmotnosť celkovej telesnej vody*
- Voda tretieho priestoru*
- Hmota telesných buniek (BCM)*
- Extracelulárna tekutina/Celková telesná voda = Nutričný index*
- Percento a hmotnosť telesného tuku*
- Aktívna telesná hmota*
- Hmotnosť bezvodej telesnej hmoty*
- Hodnota bazálneho metabolizmu (BMR)
- Priemerná denná kalorická spotreba*
- Pomer pásu k bokom (WHR)
- Body Mass Index (BMI) – plus prístroj uvádza aj normálny rozsah vzhľadom na zadanú výšku
- Body Fat Mass Index (BFMI)*
- Fat-Free Mass Index (FFMI)*
- Prediction Marker™ (špecifický pomer impedancií)
- Hodnoty impedancie pri 5, 50, 100 a 200 kHz
- Rezistencia pri 50 kHz
- Reaktancia pri 50 kHz
- Fázový uhol pri 50 kHz. [4]

5. OSTATNÉ POUŽITÉ PRÍSTROJE

5.1 Výškomer BSM 170

Výškomer BSM 170 je voľne stojaci digitálny prístroj na meranie výšky ľudského tela. Merací rozsah prístroja je 35 – 210 cm s presnosťou na 1 mm. Výrobca udáva chybu prístroja ± 1 mm. Na napájanie nie sú potrebné káble. Výškomer BSM 170 pracuje len na batériách, aby bolo možné pohybovať sa po miestnosti bez akéhokoľvek obmedzenia. Systém je stabilný vďaka jeho hliníkovej konštrukcii. Celý prístroj pozostáva z 3 hlavných komponentov – z podstavy, ku ktorej je pripevnená stupnica a z posuvnej hlavy na stupnici. Na posuvnej hlavici sú 2 tlačidlá a jasnomodro podsvietený LCD displej, na ktorom sa po meraní zobrazí výška. [15]

Obsluha prístroja je veľmi jednoduchá. Výškomer sa zapne stlačením tlačidla so symbolom zapnúť/vypnúť. Meraná osoba sa na boso bez ponožiek postaví na podstavu výškomeru chrbtom ku stupnici. Chodidlá musia byť na tesno pri sebe, päty na doraz k obrube výškomera. Meraná osoba si vystrie chrbát a nadýchne sa. V nádychu zmeriame výšku posunutím meracej hlavy po stupnici smerom dole. Pri kontakte meracej hlavice s temenom hlavy stlačíme tlačidlo „zámok“, aby sa zmeraná výška dočasne uložila. Následne môžeme posuvnú hlavicu vysunúť hore, aby meraná osoba mohla bez ťažkostí zísť z výškomera. Nameranú výšku odčítame na podsvietenom LCD displeji posuvnej hlavice. Prístroj sa po 150 sekundách nečinnosti automaticky vypne, čím sa šetrí energia. Konštrukciu použitého stadiometra môžeme vidieť na obrázku 10.



Obrázok 10 Výškomer BSM 170 [32]

6. PRAKTICKÁ ČASŤ

6.1 Cieľ práce

Hlavným cieľom tejto bakalárskej práce je určiť mieru chybovosti dvoch bioimpedančných prístrojov - InBody 770 a Bodystat QuadScan 4000. Chybovosť zisťujeme na základe narušenia podmienok merania udávaných výrobcami. Dielčím cieľom je preto vytýčenie si situácií, pri ktorých jednotliví výrobcovia uvádzajú, že by mohlo dôjsť k získaniu nepresných výsledkov a následne meranie zrealizovať.

6.1.1 Hypotézy

H1₀: Impedancie namerané pri referenčnom meraní sa nelíšia od impedancií nameraných pri chybových meraniach.

H1_A: Impedancie namerané pri referenčnom meraní a impedancie namerané pri chybových meraniach sa štatisticky významne líšia.

H2₀: Množstvo telesného tuku nameraného prístrojom InBody 770 v porovnaní s prístrojom Bodystat QuadScan 4000 sa významne nelíši.

H2_A: Množstvo telesného tuku nameraného pomocou prístroja InBody 770 a Bodystat QuadScan 4000 je štatisticky významne odlišné.

H3₀: Množstvo celkovej vody v tele nameranej prístrojom InBody 770 v porovnaní s prístrojom Bodystat QuadScan 4000 sa významne nelíši.

H3_A: Množstvo celkovej vody v tele nameranej prístrojom InBody 770 a prístrojom Bodystat QuadScan 4000 je štatisticky významne odlišné.

6.2 Metodika

6.2.1 Testovací súbor

Testovací súbor tvorilo dvadsať subjektov, z toho šesťnásť mužov a štyri ženy. Kritérium pre zaradenie subjektu do testovania bolo dovŕšenie 18 rokov z toho dôvodu, že osoby mladšie ako 18 rokov sú posudzované na základe rastových grafov. Priemerný vek subjektov bol $23,9 \pm 4$.

Tabuľka 3 Demografická charakteristika testovacieho súboru

n = 20	Priemer \pm smerodajná odchýlka	Rozsah
Vek (roky)	$23,9 \pm 4$	19 – 35
Váha (kg)	$74,4 \pm 11$	53,8 – 92,9
BMI (kg/m ²)	$22,5 \pm 3$	17,9 – 28,4

6.2.2 Popis prevedenia testu

Subjekty boli vopred oboznámené s postupom merania a s princípom analýzy zloženia tela. Merania sa nezúčastnili tehotné osoby, osoby s kardiostimulátorom či iným kovovým implantátom. Každý subjekt absolvoval 10 meraní počas rôznych situácií, z toho 5 na prístroji InBody 770 a 5 na prístroji Bodystat QuadScan 4000.

Za situácie, pri ktorých by sme mali získať výsledky líšiace sa od referenčného merania sme zvolili: meranie v stojí/po ležaní, meranie po jedení, po fyzickej aktivite a po uplynutí 6 – 8 hodín od prvého merania.

Meranie prebiehalo v dvoch fázach v rovnaký deň. V prvej fáze absolvovali subjekty 8 meraní. Druhá fáza prebiehala v poobedných hodinách a boli počas nej vykonané zvyšné 2 merania. Sled meraní na jednotlivých prístrojov bol nasledovný:

InBody 770:

1. Referenčné meranie
2. Meranie po tom, ako testovaný subjekt 5 minút ležal
3. Meranie po jedle
4. Meranie po 10 minútovej fyzickej aktivite
5. Meranie po 6 – 8 hodinách

Bodystat QuadScan 4000

1. Referenčné meranie
2. Meranie po tom, ako testovaný subjekt 5 minút stál
3. Meranie po jedle
4. Meranie po 10 minútovej fyzickej aktivite
5. Meranie po 6 – 8 hodinách

Referenčné meranie sa vždy vykonávalo za rovnakých podmienok, a to v ranných hodinách na lačno s vyprázdneným močovým mechúrom. Merania pre jednotlivé prístroje sú zhodné až na merania č. 2. Tu nastala mierna zmena v závislosti na odlišnom spôsobe merania prístrojov. Tieto merania považujeme za ekvivalentné.

Nakoľko oba prístroje vyžadujú pre svoje výpočty údaje o telesnej výške a hmotnosti, subjektom bola najprv zmeraná výška na boso digitálnym výškomerom BSM 170 s presnosťou na desatinu centimetra.

Po zmeraní výšky sa pokračovalo referenčným meraním na prístroji InBody 770. Najprv sa v softwari pre InBody vytvoril profil nového pacienta, kde sa zadalo meno, dátum narodenia, pohlavie a výška. Meraná osoba po vytvorení profilu pristúpila k bioimpedančnému prístroju InBody 770 v spodnom prádle bez akýchkoľvek šperkov či iných doplnkov na tele. Potom sa meraná osoba postavila na platformu prístroja tak, aby sa celými chodidlami dotýkala všetkých štyroch elektród. Prístroj InBody 770 v pokoji stojacej osobe zmeral hmotnosť. Následne meraná osoba uchopila do rúk madlá s elektródami. Každé madlo malo na svojom povrchu dve elektródy. Palec ruky bol umiestnený tak, aby sa dotýkal elektródy na vrchu madla. Zvyšné prsty spolu s dlaňou kužeľovito obopínali druhú elektródu. Paže boli vystreté, mierne upažené, aby sa nedotýkali trupu. Skontrolovali sme, či sa stehná navzájom nedotýkajú. Ak sa stehná dotýkali, vložili sme medzi stehná papier, ktorý slúžil ako izolant. Spustila sa samotná bioimpedančná analýza, ktorá trvala okolo 30 sekúnd. Začiatok merania ako aj jeho koniec boli signalizované hlasovým doprovodom prístroja InBody 770. Po každom meraní sme prístroj dezinfikovali navlhčenou handričkou, aby sme sa vyhli šíreniu možných infekčných ochorení.

Po skončení referenčného merania na prístroji InBody 770 bolo meranej osobe zmerané zloženie tela na prístroji Bodystat QuadScan 4000. Meraná osoba si ľahla chrbtom na masérsky stôl tak, aby aj končatiny boli voľne položené na tomto stole. Následne sa na ležiacu meranú osobu nalepili gélové elektródy a k nim sa pripojili krokosvorky tak, ako je to popísané v teoretickej časti prístroja Bodystat. Do prístroja Bodystat sme takisto zadali údaje o práve meranej osobe, a to vek, pohlavie, výšku, hmotnosť získanú z merania na InBody a úroveň fyzickej aktivity. Po 5 minútach ležania meranej osoby sme spustili meranie. Po meraní sme si vytlačili štítok s výsledkami a strhli elektródy, ktoré sme si odložili pre ďalšie merania na Bodystate. Toto meranie na považujeme za referenčné.

Po referenčnom meraní na Bodystate sa pokračovalo ihneď na prvé chybové meranie pomocou prístroja InBody 770. Keďže výrobca InBody uvádza, že pred meraním by sa malo aspoň 5 minút stáť, porušili sme tým jedno odporúčenie, nakoľko meraná osoba predtým 5 minút ležala. Tým pádom by malo dôjsť k získaniu chybových výsledkov. Technicky sme meranie prevádzali rovnako ako pri referenčnom meraní.

Prvé chybové meranie na Bodystate sme prevádzali v stoji. Keďže meranie na tomto prístroji má prebiehať výhradne v polohe ležmo, mali by sme získať chybové výsledky. Pred ďalším meraním sa meraná osoba najedla a napila sa vody. Telesné zloženie sa zmeralo na InBody 770 a potom na Bodystat QuadScan 4000. Následne meraná osoba vykonávala fyzickú aktivitu – drepy – po dobu 10 minút a opäť sa zmeralo zloženie tela. Týmto sme ukončili prvú fázu testovania.

Po 6 – 8 hodinách sa meraná osoba zúčastnila dvoch posledných meraní. Výrobcovia uvádzajú, že meranie v poobedňajších hodinách nemusí byť presné, kvôli presunom tekutín v tele vplyvom gravitácie počas celého dňa. Meraná osoba prišla na meranie s dodržaním ostatných pokynov – s vyprázdneným močovým mechúrom, aspoň 2 hodiny pred týmto meraním nekonzumovala jedlo a nepila nadmerné množstvo tekutín a pred meraním nevykonávala žiadnu zvýšenú fyzickú aktivitu. Štandardne sme zmerali zloženie tela pomocou oboch zariadení.

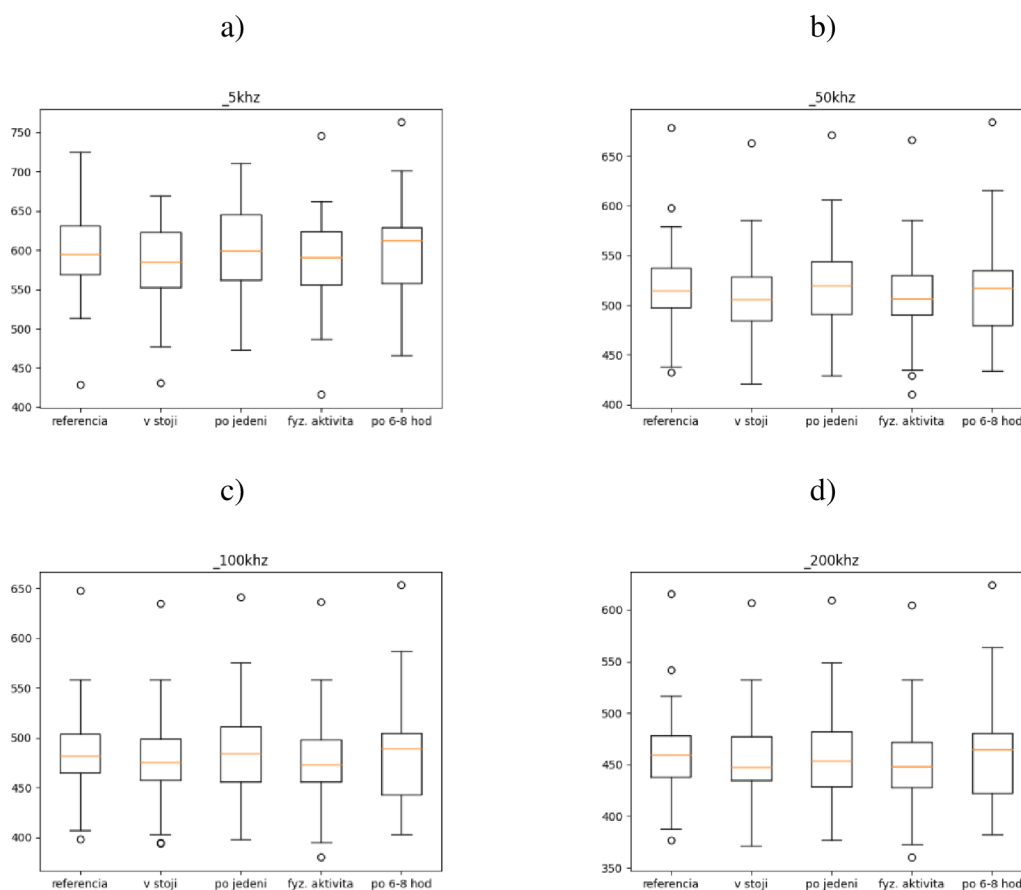
6.3 Hodnotenie chybovosti prístroja Bodystat QuadScan 4000

6.3.1 Štatistická analýza

Pre spracovanie nameraných hodnôt bol použitý programovací jazyk Python 3.8. Pre zistenie štatisticky významných rozdielov bol použitý dvojitý t-test pre závislé merania. Hladina významnosti α bola nastavená na hodnotu 0,05. Nájdený rozdiel považujeme za štatisticky významný, ak je p-hodnota $< 0,05$.

Jednotlivé testy sa prevádzali na základe frekvencie, tj. 5 kHz, 50 kHz, 100 kHz a 200 kHz. Vždy sa porovnávalo referenčné meranie s chybovým meraním.

Na grafe 1a) – d) môžeme vidieť rozloženie nameraných impedancií. Na prvý pohľad rozdiely medzi referenčným meraním a ostatnými meraniami nie sú výrazné a jednoznačné.



Graf 1 Rozloženie nameraných impedancií prístrojom Bodystat QuadScan 4000 pre jednotlivé merania pre a) 5 kHz, b) 50 kHz, c) 100 kHz, d) 200 kHz

Dvojvýberový t-test určil, že namerané hodnoty impedancie sa štatisticky významne líšia od referenčných hodnôt po meraní v stoji a po fyzickej aktivite. Pre tieto dve merania zamietame H_{10} a prijímame H_{1A} na hladine významnosti α . Pre zvyšné merania H_{10} nezamietame.

6.3.2 Kvantifikácia chyby

Chyba prístroja Bodystat QuadScan 4000 bola kvantifikovaná na základe relatívnych odchýlok od referenčného merania. Výrobca udáva presnosť prístroja aj pre jednotlivé impedancie, ktorú môžeme vidieť na obrázku 11. Preto ak sa nameraná impedancia chybového merania nachádzala v rozsahu referenčná hodnota $\pm 2 \Omega$ (3Ω), pokladáme odchýlku od referenčnej hodnoty za nulovú.

Impedance (5 kHz): $\pm 2 \Omega$
Impedance (50 kHz): $\pm 2 \Omega$
Resistance (50 kHz): $\pm 2 \Omega$
Reactance (50 kHz): $\pm 1 \Omega$
Phase Angle (50 kHz): $\pm 0.2^\circ$
Impedance (100 kHz): $\pm 3 \Omega$
Impedance (200 kHz): $\pm 3 \Omega$

Obrázok 11 Presnosť prístroja Bodystat QuadScan 4000 [3]

Relatívna odchýlka bola počítaná na základe vzťahu:

$$\text{relatívna odchýlka} = \frac{\text{abs. odchýlka}}{\text{referenčná hodnota}}$$

Pričom absolútnu chybu sme získali ako:

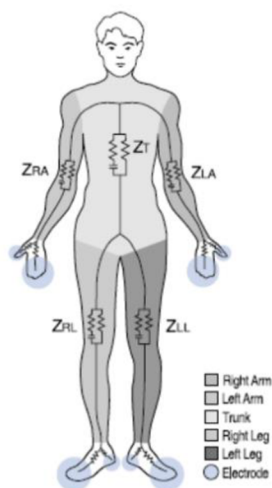
$$\text{abs. odchýlka} = \text{referenčná hodnota} - \text{nameraná hodnota}$$

6.4 Hodnotenie chybovosti prístroja InBody 770

6.4.1 Štatistická analýza

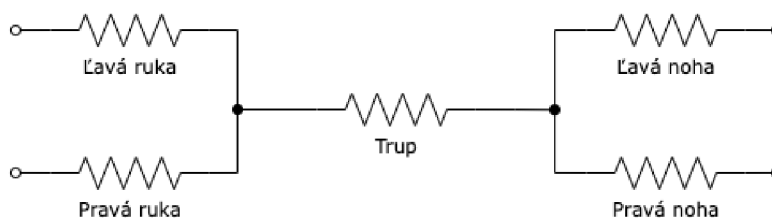
Pre zistenie štatisticky významných rozdielov medzi referenčnými hodnotami impedancie a ostatnými hodnotami impedancie bol aj v tomto prípade použitý dvojvýberový t-test pre závislé merania. Hladina významnosti α bola nastavená na hodnotu 0,05. Jednotlivé testy sa prevádzali na základe frekvencie, t. j. 1 kHz, 5 kHz, 50 kHz, 250 kHz, 500 kHz a 1000 kHz.

Nakoľko InBody využíva technológiu DSM-BIA, z merania sme získali hodnoty impedancie pre jednotlivých 5 segmentov tela. Kvôli zjednodušeniu výpočtov sme vypočítali impedanciu pre celé telo, a teda získali sme tak jedinú hodnotu impedancie pre konkrétnu frekvenciu. Na obrázku 12 sú znázornené impedancie jednotlivých segmentov tela.



Obrázok 12 Znázornenie impedančných segmentov ľudského tela [31]

Po prekreslení elektrického obvodu je evidentné, že ruky a nohy sú na seba paralelné.



Obrázok 13 Elektrický obvod ľudského tela

Paralelné impedancie prevedieme na sériové zapojenie pomocou vzorca:

$$Z = \frac{Z_1 + Z_2}{Z_1 * Z_2}$$

Výslednú impedanciu získame súčtom čiastkových impedancií rúk, trupu a nôh:

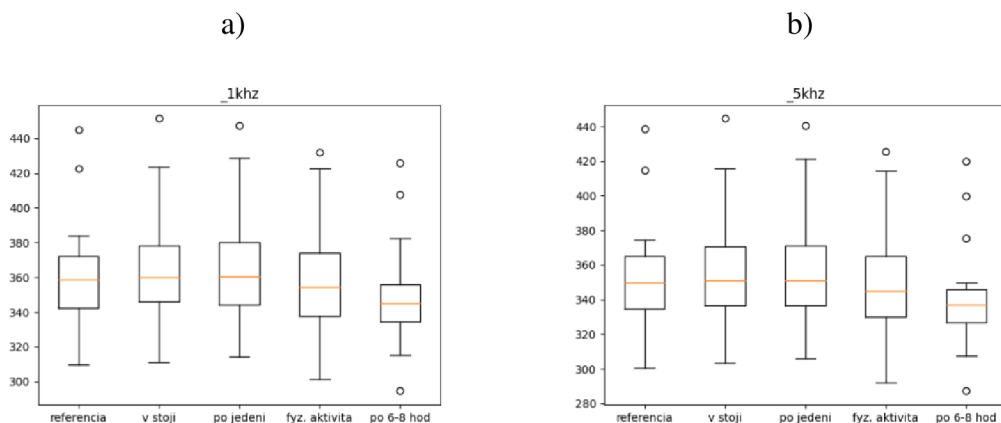
$$Z = Z_{ruky} + Z_{trup} + Z_{nohy}$$

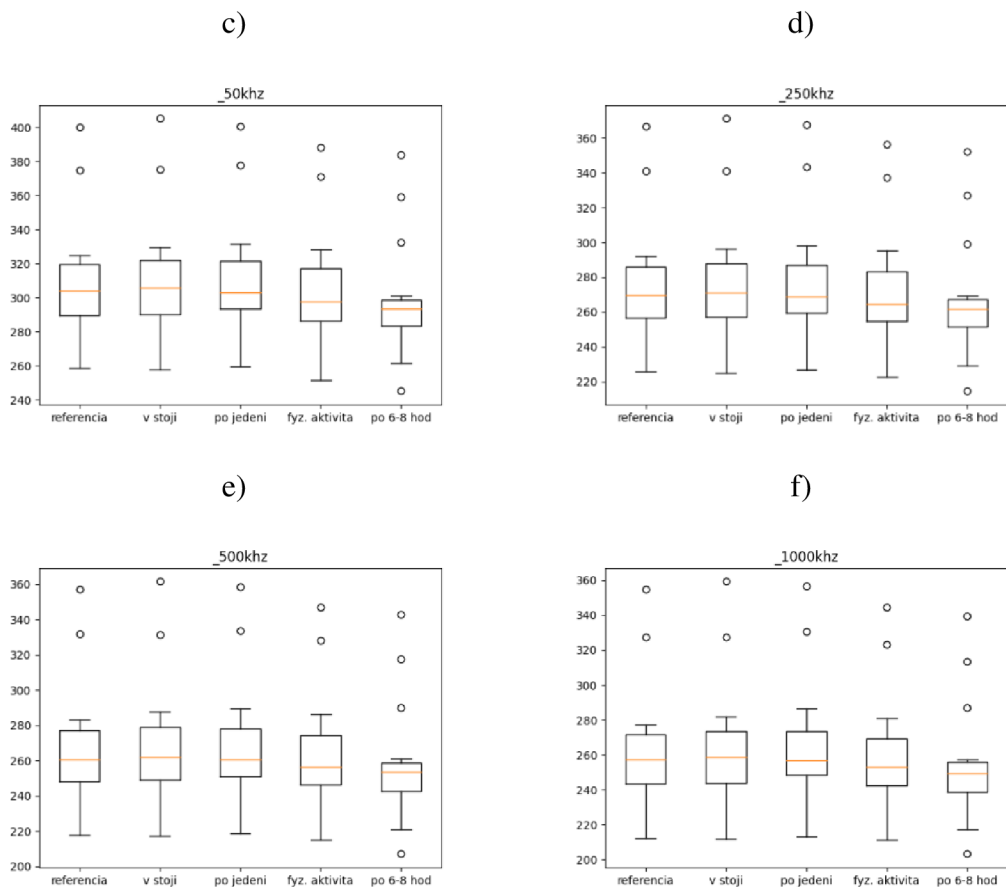


Obrázok 14 Elektrický obvod bez paralelných impedancií

Grafy 2a) – f) znázorňujú rozloženie nameraných impedancií. Viditeľný rozdiel v rozložení dát môžeme už teraz pozorovať v druhej fáze merania, t. j. po 6 – 8 hodinách od referenčného merania.

Podľa dvojvýberového t-testu pre závislé merania sú všetky chybové merania štatisticky významne odlišné od referenčného merania ($p < 0,05$). Naše dáta nepodporujú H_{10} . Preto zamietame H_{10} pre všetky chybové merania a prijímame H_{1A} na hladine významnosti α .





Graf 2 Rozloženie nameraných impedancií prístrojom InBody 770 pre jednotlivé merania pre a) 1 kHz, b) 5 kHz, c) 50 kHz, d) 250 kHz, e) 500 kHz, f) 1000 kHz

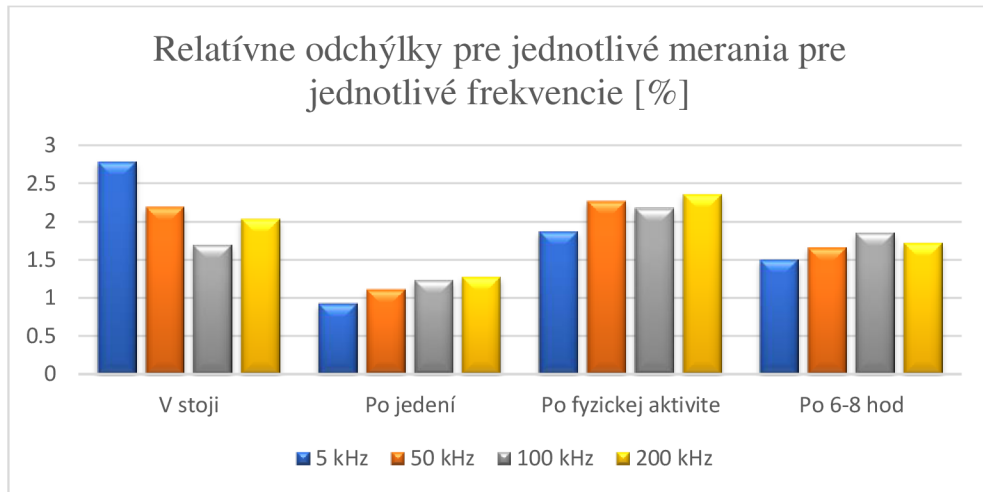
6.4.2 Kvantifikácia chyby

Chybovosť prístroja InBody 770 bola kvantifikovaná, rovnako ako chybovosť prístroja Bodystat QuadScan 4000, pomocou relatívnych odchýlok chybových meraní od referenčného merania.

7. VÝSLEDKY

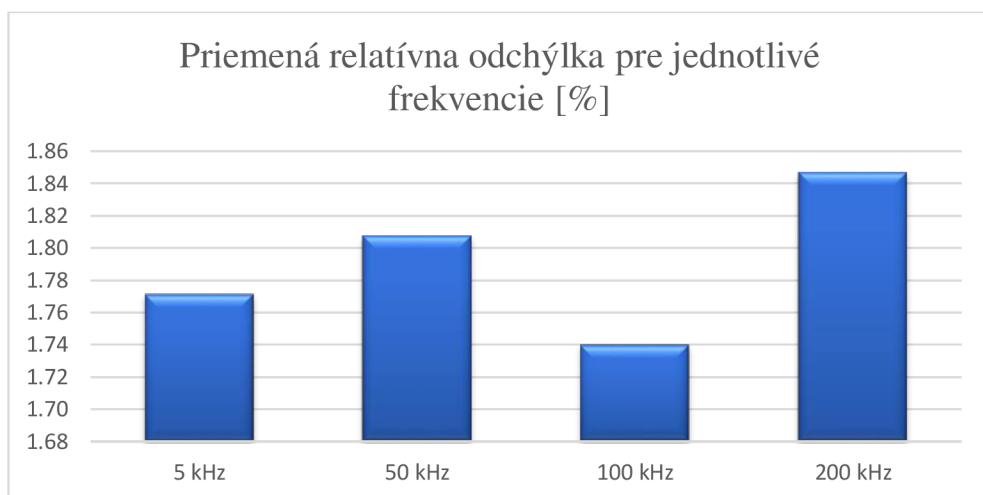
7.1 Bodystat QuadScan 400

Na grafe 3 sú vizuálne zobrazené priemerné relatívne odchýlky pre jednotlivé frekvencie pre všetky chybové merania zvlášť.



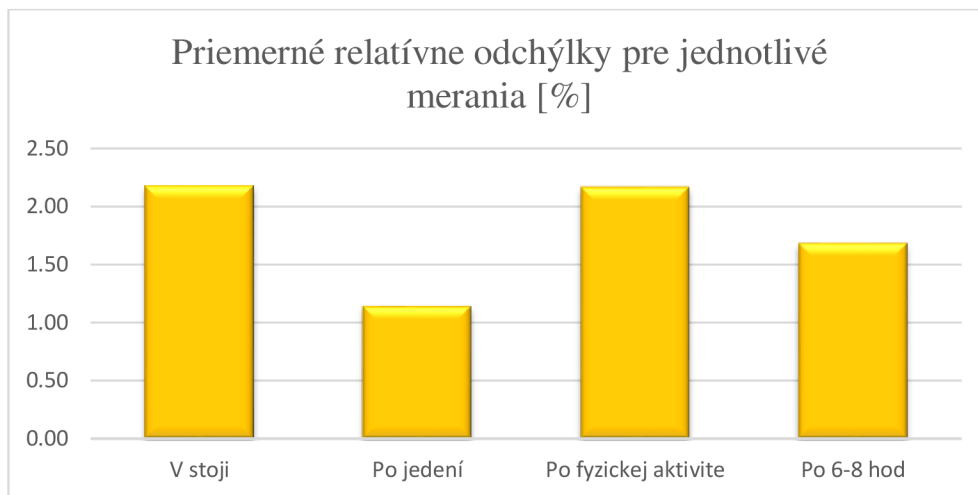
Graf 3 Priemerné relatívne odchýlky frekvencií Bodystat QuadScan 4000

Na grafe 4 sú znázornené priemerné relatívne odchýlky jednotlivých frekvencií zo všetkých chybových meraní. Najväčšiu chybovosť sme zaznamenali pri frekvencií 200 kHz, a to 1,85 %. Naopak najnižšia chybovosť bola pozorovaná pri frekvencií 100 kHz s hodnotou 1,74 %. Avšak jednotlivé priemerné relatívne odchýlky sú porovnateľné.



Graf 4 Priemerné relatívne odchýlky impedancií Bodystat QuadScan 4000

Na grafe 5 sú znázornené výsledné priemerné relatívne odchýlky pre jednotlivé chybové merania.



Graf 5 Priemerné relatívne odchýlky chybových meraní Bodystat QuadScan 4000

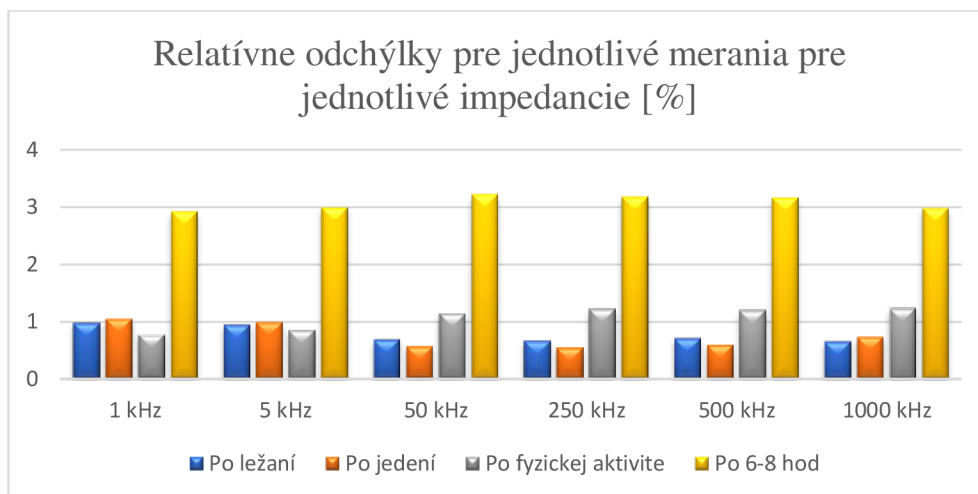
V tabuľke 4 sú tieto priemerné relatívne odchýlky meraní vyčíslené. Najmenšiu chybu sme zaznamenali pri meraní po jedle. Za najchybovejšie meranie pokladáme meranie v stojí s priemernou relatívnou odchýlkou 2,18 % a následne po fyzickej aktivite s hodnotou 2,17 %. Toto tvrdenie sa zhoduje s výsledkami dvojjvýberového t-testu pre závislé merania. Merania po fyzickej aktivite a meranie po 6 – 8 hodinách dosiahlo priemernú relatívnu odchýlku menšiu ako 2 %. Chyba prístroja Bodystat QuadScan 4000 pri nedodržaní podmienok merania udávaných výrobcom bola vyčíslená na hodnotu 1,79 %.

Tabuľka 4 Priemerné relatívne odchýlky chybových meraní Bodystat QuadScan 4000

Meranie	Priemerná relatívna odchýlka [%]
V stojí	2,18
Po jedení	1,14
Po fyzickej aktivite	2,17
Po 6 – 8 hodinách	1,68

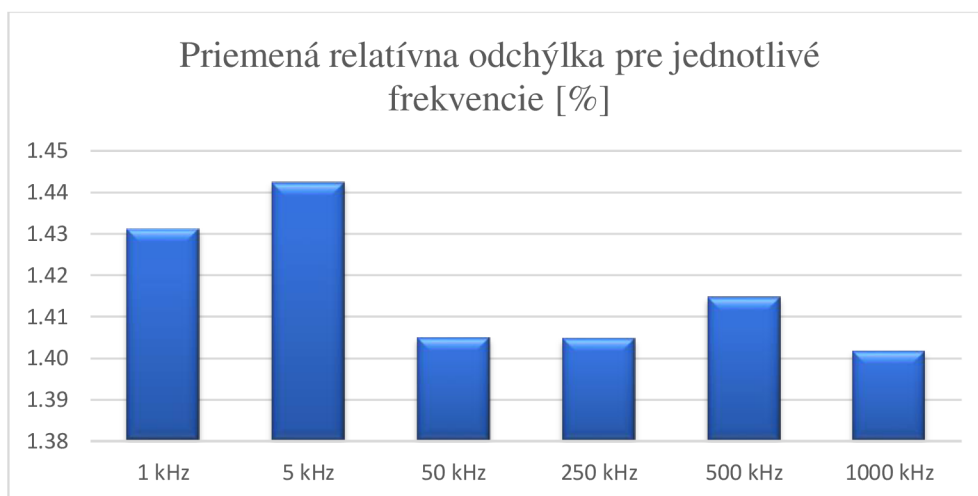
7.2 InBody 770

Na grafe 6 sú vizuálne zobrazené relatívne odchýlky pre jednotlivé frekvencie, ktoré sú pre prístroj InBody 770 v rozmedzí od 1 kHz – 1000 kHz. Je evidentné, že najväčšiu odchýlku od referenčného merania dosahuje meranie po 6 – 8 hodinách nezávisle od použitej frekvencie.



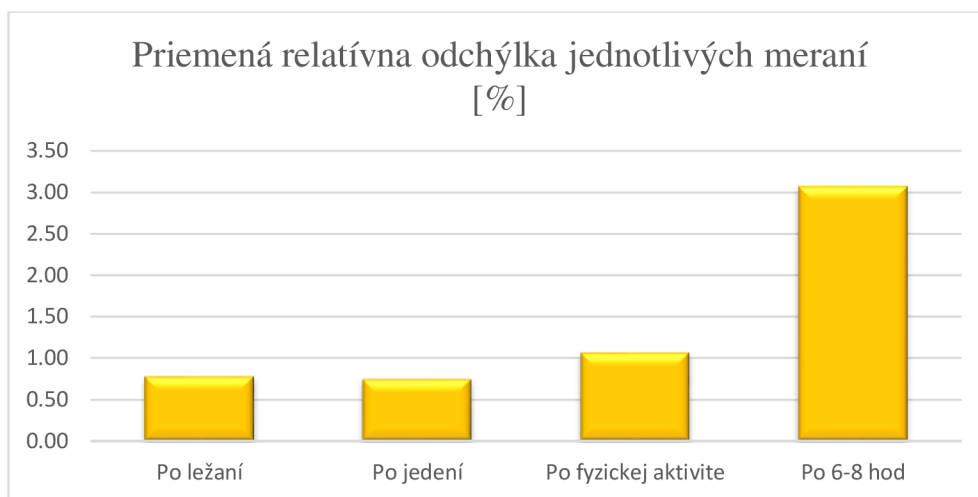
Graf 6 Priemerné relatívne odchýlky frekvencií InBody 770

Na grafe 7 sú znázornené priemerné relatívne odchýlky jednotlivých frekvencií zo všetkých chybových meraní, ktoré sú v rozmedzí 1,40 – 1,44 %. Najväčšia chyba bola pozorovaná pri frekvencii 5 kHz.



Graf 7 Priemerné relatívne odchýlky impedancií InBody 770

Od referenčného merania sa najviac odchyľovalo meranie po 6 – 8 hodinách s priemernou relatívnou odchýlkou 3,08 %.



Graf 8 Priemerné relatívne odchýlky chybových meraní InBody 770

V tabuľke 5 sú vyčíslené priemerné relatívne odchýlky chybových meraní prístroja InBody 770.

Tabuľka 5 Priemerné relatívne odchýlky chybových meraní InBody 770

Meranie	Priemerná relatívna odchýlka [%]
Po ležaní	0,77
Po jedení	0,75
Po fyzickej aktivite	1,07
Po 6 – 8 hodinách	3,08

Celková chybovosť prístroja InBody 770 vypočítaná ako priemer relatívnych odchýlok všetkých štyroch chybových meraní je 1,42 %.

7.3 Porovnanie prístrojov Bodystat QuadScan 4000 a InBody 770

Pomocou prístroja Bodystat QuadScan 4000 sme namerali referenčné hodnoty impedancií v rozmedzí 377 – 725 Ω .

Tabuľka 6 Impedancie namerané prístrojom Bodystat QuadScan 4000

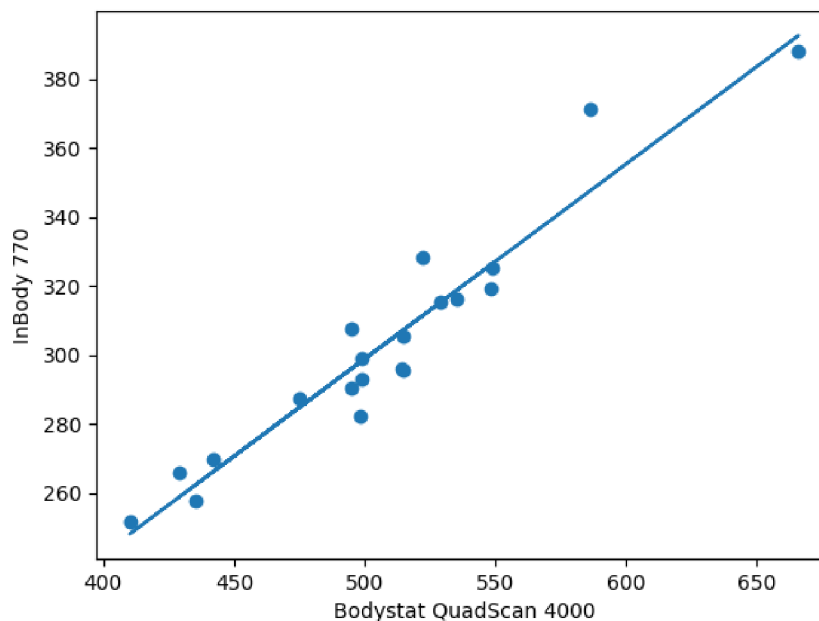
n = 20, Ω	Priemer \pm smerodajná odchýlka	Rozsah
Impedancia 5 kHz	594,75 \pm 66	429 – 725
Impedancia 50 kHz	519,3 \pm 57	432 – 679
Impedancia 100 kHz	486,15 \pm 56	398 – 648
Impedancia 200 kHz	461,65 \pm 54	377 – 607

Prístrojom InBody 770 sme namerali referenčné hodnoty impedancie v rozmedzí 212,2 – 445,1 Ω .

Tabuľka 7 Impedancie namerané prístrojom InBody 770

n = 20, Ω	Priemer \pm smerodajná odchýlka	Rozsah
Impedancia 1 kHz	359,28 \pm 32	309,5 – 445,1
Impedancia 5 kHz	351,2 \pm 33	300,7 – 438,7
Impedancia 50 kHz	306,85 \pm 34	258,7 – 400
Impedancia 250 kHz	273,76 \pm 33	225,8 – 366,5
Impedancia 500 kHz	264,98 \pm 33	217,3 – 357,1
Impedancia 1000 kHz	260,76 \pm 33	212,2 – 354,8

Kvôli rôznym frekvenciám, ktoré prístroje využívajú, nebolo možné porovnať zariadenia medzi sebou na základe nameranej impedancie. Nakoľko prístroje namerali značne rozdielne impedancie aj pri spoločnej frekvencii, zhodnotili sme ich závislosť. Na základe Pearsonovho koeficienta je veľmi vysoká korelácia s hodnotou 0,95 medzi nameranými hodnotami impedancie oboch prístrojov pri spoločnej frekvencii 50 kHz.



Graf 9 Korelácia medzi impedanciami pri spoločnej frekvencii 50 kHz

Bioimpedančné prístroje sme preto porovnali na základe nameraného telesného tuku a celkovej vody v tele pre odpovedajúce si merania.

Pri porovnávaní priemerného nameraného tuku jednotlivými prístrojmi vyšiel už pri referenčnom meraní rozdiel 1,12 kg. Bodystat QuadScan 4000 udával v priemere o 1,36 kg tuku menej ako InBody 770, čo predstavuje 11,29 %. Najväčší tukový rozdiel bol zistený pri meraní po jedení s priemernou hodnotou 1,77 kg (14,18 %).

Tabuľka 8 Tuk nameraný prístrojom Bodystat QuadScan 4000 pre jednotlivé merania

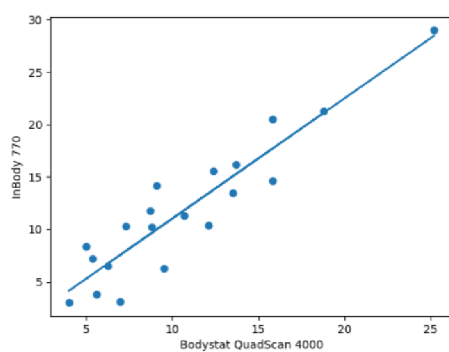
Tuk (kg)	Priemer ± smerodajná odchýlka	Rozsah
Referencia	10,74 ± 5	4 – 25,2
V stoji	10,42 ± 5	4,3 – 24,8
Po jedle	10,71 ± 5	4,9 – 26,1
Po fyzickej aktivite	10,59 ± 5	4,9 – 26,1
Po 6 – 8 hod	11,03 ± 6	4,1 – 26,9

Tabuľka 9 Tuk nameraný prístrojom InBody 770 pre jednotlivé merania

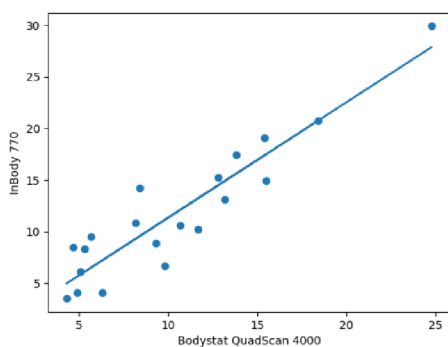
Tuk (kg)	Priemer ± smerodajná odchýlka	Rozsah
Referencia	11,86 ± 6	3 – 29
Po ležaní	11,79 ± 6	3,5 – 29,9
Po jedle	12,48 ± 6	4,4 – 30,8
Po fyzickej aktivite	12,13 ± 6	4,1 – 30,3
Po 6 – 8 hod	12,04 ± 6	4,1 – 30

Asociácia medzi nameraným telesným tukom pre odpovedajúce si merania bola zisťovaná Pearsonovým korelačným koeficientom. Ten dosahoval hodnotu väčšiu ako 0,9 pri všetkých typoch merania, čím poukazuje na veľkú závislosť.

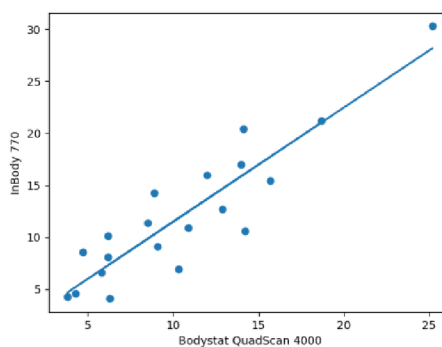
a)

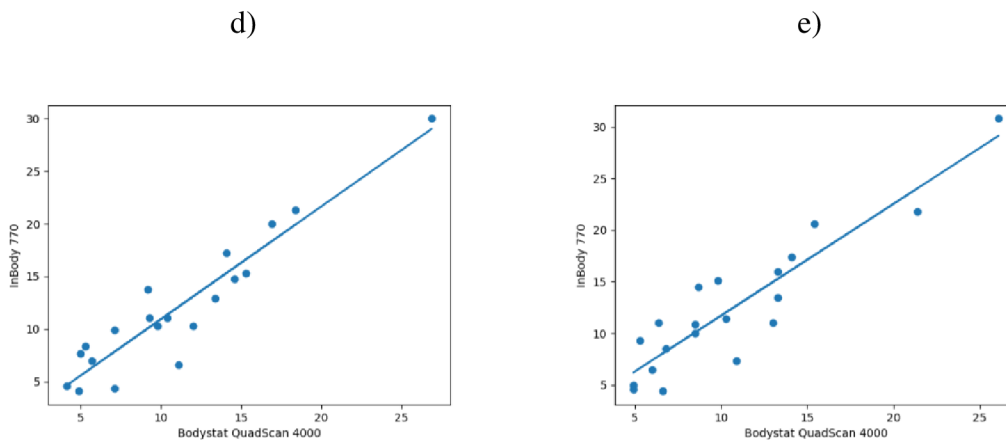


b)



c)





Graf 10 Korelácia množstva nameraného telesného tuku (kg) pri meraní a) referenčnom, b) v stoji, c) po jedení, d) po fyzickej aktivite, e) po 6 - 8 hodinách

Jednotlivé typy merania sa porovnali pomocou dvojitýberového t-testu. P-hodnota každého porovnávaného merania bola vyššia ako 0,05, na základe čoho nezamietame H_2 .

Tabuľka 10 Celkové množstvo tuku: Pearsonov korelačný koeficient a p-hodnota dvojitýberového t-testu pre odpovedajúce si merania

Meranie	Pearson r	p-hodnota (t-test)
Referencia	0,926	0,556
Po ležaní/v stoji	0,926	0,472
Po jedle	0,907	0,364
Po fyzickej aktivite	0,937	0,424
Po 6 – 8 hod	0,915	0,603

Rovnaké porovnanie bolo uskutočnené na základe celkovej vody v tele. Najväčší rozdiel bol pozorovaný pri referenčnom meraní, kedy Bodystat QuadScan 4000 priemerne uvádzal o 2,22 l vody menej, čo predstavuje percentuálny rozdiel 4,85 %. Prístroj Bodystat QuadScan 4000 udával v priemere o 1,41 l (3,11 %) vody menej ako InBody 770.

Tabuľka 11 Voda nameraná prístrojom Bodystat QuadScan 4000 pre jednotlivé merania

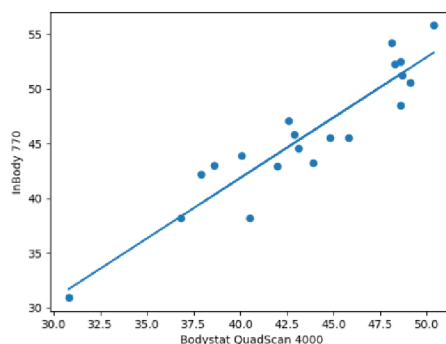
Voda (l)	Priemer \pm smerodajná odchýlka	Rozsah
Referencia	43,58 \pm 5	30,8 – 50,4
V stoji	44,2 \pm 5	31,2 – 50,4
Po jedle	44,58 \pm 6	31 – 61,7
Po fyzickej aktivite	44,13 \pm 5	31,3 – 50,8
Po 6 – 8 hod	43,76 \pm 5	30,5 – 50,9

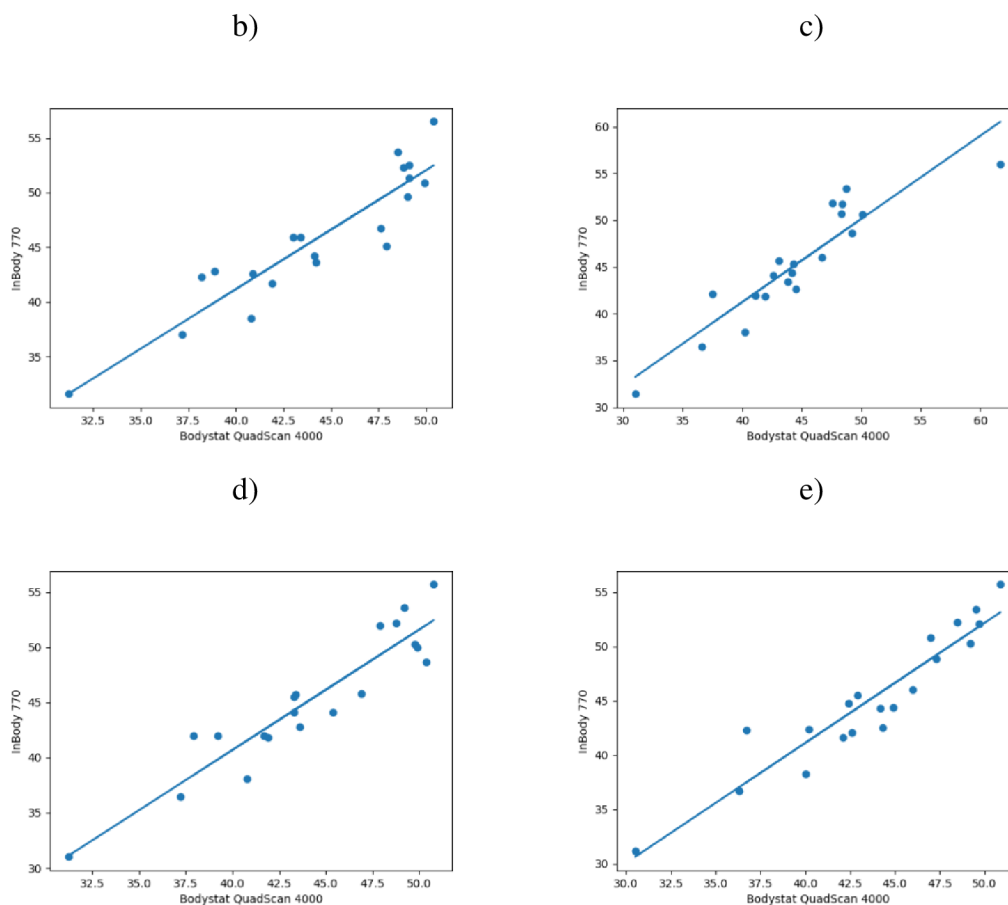
Tabuľka 12 Voda nameraná prístrojom InBody 770 pre jednotlivé merania

Voda (l)	Priemer \pm smerodajná odchýlka	Rozsah
Referencia	45,8 \pm 6	30,9 – 55,8
Po ležaní	45,74 \pm 6	31,6 – 56,5
Po jedle	45,3 \pm 6	31,4 – 56
Po fyzickej aktivite	45,2 \pm 6	31 – 55,7
Po 6 – 8 hod	45,28 \pm 6	31,2 – 55,7

Závislosť medzi nameranými hodnotami celkovej vody v tele pre odpovedajúce si merania bola zisťovaná Pearsonovým korelačným koeficientom. Pearsonov korelačný koeficient dosahoval aj v tomto prípade hodnotu väčšiu ako 0,9 pri všetkých typoch merania, čím poukazuje na veľkú závislosť.

a)





Graf 11 Kolerácia množstva nameranej celkovej vody v tele (l) pri meraní a) referenčnom, b) v stoji, c) po jedení, d) po fyzickej aktivite, e) po 6 - 8 hodinách

Jednotlivé typy merania sa porovnali pomocou dvojvýberového t-testu. P-hodnota každého porovnávaného merania bola vyššia ako 0,05, na základe čoho nezamietame H_0 .

Tabuľka 13 Celkové množstvo vody: Pearsonov korelačný koeficient a p-hodnota dvojvýberového t-testu pre odpovedajúce si merania

Meranie	Pearson r	p-hodnota (t-test)
Referencia	0,93	0,217
Po ležaní/v stoji	0,923	0,402
Po jedle	0,918	0,712
Po fyzickej aktivite	0,931	0,558
Po 6 – 8 hod	0,941	0,404

8. DISKUSIA

Bakalárska práca sa zaoberala hodnotením chybovosti dvoch bioimpedančných prístrojov. Pre výskum boli použité prístroje Bodystat QuadScan 4000 a InBody 770. Na prístrojoch sme sledovali tri premenné - namerané impedancie, telesný tuk a celkovú telesnú vodu. Testovací súbor tvorilo 20 subjektov, ktorí na každom prístroji absolvovali päť meraní. Prvé meranie na každom prístroji je našou referenciou. Referenčné meranie bolo vykonané na základe všetkých doporučení výrobcov, t. j. v ranných hodinách na lačno s vyprázdneným močovým mechúrom. Pri ostatných meraniach neboli dodržiavané odporúčania výrobcov a preto tieto merania považujeme za chybové. Chyba prístrojov bola kvantifikovaná na základe relatívnej odchýlky impedancií jednotlivých meraní od referenčného merania. Týmto spôsobom bol každý prístroj hodnotený zvlášť.

Chybovosť prístroja Bodystat QuadScan 4000 hodnotená na základe chybových meraní dosiahla priemernú relatívnu odchýlku 1,79 %. Pre vyjadrenie štatistickej významnosti bol prevedený dvojitý t-test pre závislé merania. Pre merania po jedle a po 6 – 8 hodinách nezamietame H_{10} . Pre merania v stoji a po fyzickej aktivite zamietame H_{10} a prijímame H_{1A} na hladine významnosti α . Impedancie namerané pri referenčnom meraní a impedancie namerané pri týchto dvoch chybových meraniach sa štatisticky významne líšia.

Chybovosť prístroja InBody 770 hodnotená na základe chybových meraní dosiahla priemernú relatívnu odchýlku 1,42 %. Pre vyjadrenie štatistickej významnosti bol prevedený dvojitý t-test pre závislé merania. Pre všetky chybové merania zamietame H_{10} a prijímame H_{1A} na hladine významnosti α , t. j. impedancie namerané pri referenčnom meraní a všetkých chybových meraniach sa štatisticky významne líšia.

Následne boli vzájomne porovnané oba prístroje. Porovnanie bolo uskutočnené na základe telesného tuku a celkovej vody v tele, ktoré prístroje namerali. Porovnávali sa navzájom odpovedajúce si merania. Za referenčný prístroj považujeme v tomto prípade InBody 770, ktorý má 98 % koreláciu s prístrojom DEXA. DEXA je považovaný za zlatý štandard pre analýzu zloženia tela. [20]

Korelácia medzi prístrojmi InBody 770 a Bodystat QuadScan 4000 na základe nameraného telesného tuku vyšla ako veľmi vysoká v rozmedzí 0,907 – 0,937. Korelácia na základe celkovej vody v tele bola takisto veľmi vysoká v rozmedzí 0,918 – 0,941. Na základe dvojitý t-testu nezamietame H_{20} ani H_{30} . Množstvo telesného tuku

a celkovej vody v tele nameranej prístrojom InBody 770 v porovnaní s prístrojom Bodystat QuadScan 4000 sa štatisticky významne nelíši.

Treba podotknúť, že Bodystat QuadScan 4000 udával v porovnaní s InBody 770 pri každom meraní menšie množstvo tuku a rovnako aj menej vody. Množstvo tuku bolo priemerne podhodnotené o 11,29 % a množstvo celkovej telesnej vody bolo priemerne podhodnotené o 3,11 %. Z tohoto dôvodu je vhodné používať jeden a ten istý prístroj na dlhodobé sledovanie zloženia tela jedinca.

Štúdia z Kórey porovnávala presnosť bioimpedančných prístrojov DUALSCAN HDS-2000 a InBody 720 s referenčným CT na základe merania viscerálneho tuku. Obe metódy BIA mali tendenciu podhodnocovať viscerálny tuk v porovnaní s CT vyšetrením. InBody 720 bolo pri hodnotení menej presné ako DUALSCAN HDS-2000. [27]

Práca zaoberajúca sa porovnávaním klasických antropometrických metód s výstupom bioimpedančného prístroja InBody 520 rovnako zistila, že InBody podhodnocuje tuk. Všeobecne korelácia medzi parametrami z antropometrickej analýzy a InBody bola nedostatočná. [28]

Nakoľko sme nepracovali s referenčným prístrojom ako je DEXA, CT či MRI, ani inou referenčnou metódou, nemôžeme relevantne porovnať, či aj InBody 770 podhodnocovalo telesný tuk.

9. ZÁVER

Cieľom bakalárskej práce bolo zhodnotiť chybovosť bioimpedančných prístrojov Bodystat QuadScan 4000 a InBody 770 pri narušení podmienok merania udávaných výrobcami. Pred uskutočnením testovania boli najprv vytýčené situácie, pri ktorých výrobcovia neodporúčali merať z dôvodu možného nadobudnutia nepresných výsledkov. Vytýčené situácie avšak neporušovali etické normy a boli zdraviu nezávadné. Pri realizácii praktickej časti bolo na každom bioimpedančnom prístroji najprv uskutočnené referenčné meranie, s ktorým boli neskôr porovnávané chybové merania. Pod pojmom chybové merania rozumieme meranie po ležaní (InBody 770)/v stoji (Bodystat QuadScan 4000), po jedle, po fyzickej aktivite a po uplynutí 6 – 8 hodín od referenčného merania.

Pri prístroji Bodystat QuadScan 4000 sa od referenčného merania štatisticky význame líšilo meranie v stoji a po fyzickej aktivite. Priemerná chybovosť prístroja Bodystat QuadScan 4000 bola na základe relatívnych odchýlok chybových meraní od referenčného merania vyčíslená na hodnotu 1,79 %.

Všetky chybové merania prevedené na prístroji InBody 770 boli určené za štatisticky významne odlišné od referenčného merania. Chybovosť prístroja InBody 770 bola na základe relatívnych odchýlok chybových meraní od referenčného merania je 1,42 %.

Na záver boli prístroje porovnané medzi sebou na základe množstva nameraného telesného tuku a celkovej vody v tele. Odpovedajúce si merania sa od seba štatisticky významne nelíšili, avšak prístroj Bodystat QuadScan 4000 sledované komponenty pri každom type merania podhodnocoval. Ciele práce boli splnené.

LITERATÚRA

- [1] BIOIMPEDANCE 1. [online]. [cit. 2022-01-02]. Dostupné z: https://is.muni.cz/el/1451/podzim2011/np1003/27697930/BIOIMPEDANCE_bodystat.pdf?lang=en
- [2] Body fat percentage and what does it mean. [online]. [cit. 2022-01-04]. Dostupné z: <https://www.coreprinciples.com.au/online-personal-trainer2/item/body-fat-percentage-and-what-does-it-mean.html>
- [3] Bodystat Ltd. Clinical Practise: QUADSCAN 4000 Touch Screen. [online]. [cit. 2021-12-30]. Dostupné z: https://www.bodystat.cz/quadscan_touch.pdf
- [4] Bodystat. QUADSCAN 4000 TOUCH SCREEN. [online]. 2018 [cit. 2021-12-30]. Dostupné z: <https://bodystat.cz/quadscan>
- [5] CEPERKO, Ján. *Antropometria z pohľadu nutričnej terapie*. [online]. Brno, 2019 [cit. 2022-01-02]. Dostupné z: https://is.muni.cz/th/dzk9m/Antropometria_z_pohlada_nutricnej_terapie.pdf.
Bakalárska práca. Masarykova univerzita, Lékařská fakulta, Ústav ochrany a podpory zdraví. Vedúci práce Mgr. Petr Loskot.
- [6] CVRČKOVÁ, Leona. *Objektivita opakovaného měření přístrojem InBody*. [online]. Brno, 2011 [cit. 2022-01-01]. Dostupné z: https://is.muni.cz/th/259696/fsps_b/bkalaraska_prace_Cvrckova.pdf.
Bakalárska práca. Masarykova univerzita, Fakulta sportovních studií, Katedra kineziologie. Vedúci práce Mgr. Tomáš Vespalec.
- [7] Čo je to BIA?. [online]. [cit. 2021-12-31]. Dostupné z: <https://www.inbodysk.sk/co-je-to-bia-128/>
- [8] DĚDEK, Jaroslav. Profesionální průvodce výsledným listem InBody. 48s.
- [9] FIELDING, C. Langdon a K. Gary MAGDESIAN, ed. *Equine Fluid Therapy*. [online]. Hoboken, NJ: John Wiley, 2015 [cit. 2022-01-05]. ISBN 9781118928189. Dostupné z: doi:10.1002/9781118928189
- [10] Frekvencia (kmitočet), doba kmitu, perioda. [online]. [cit. 2022-01-02]. Dostupné z: <https://www.encyklopediapoznania.sk/clanok/5343/frekvencia>
- [11] GÓMEZ ABAD, Daniel. Development of a capacitive bioimpedance measurement system [online]. [cit. 2022-01-03]. Dostupné z: <https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/8526>
- [12] HEYWARD, Vivian H. *Advanced fitness assessment and exercise prescription*. 6. vydanie. Champaign, IL: Human Kinetics, 2010. 465 s. ISBN 978-0-7360-8659-2.
- [13] InBody 370 weegschaal. [online]. [cit. 2021-12-31]. Dostupné z: <https://www.fitness24.nl/medisch/weegschalen/inbody-370-weegschaal/>
- [14] InBody 770. [online]. [cit. 2021-12-31]. Dostupné z: <https://www.inbodysk.sk/inbody-770-119/>
- [15] InBody Co., Ltd. BSM 170. Volně stojící digitální výškoměr. [online]. 2014 [cit. 2021-12-28]. Dostupné z: https://www.inbody.cz/katalog_bsm170b.pdf
- [16] InBody Co., Ltd. InBody 770. Uživatelský manuál. 2016.

- [17] InBody Indonesia. Teknologi InBody. [online]. [cit. 2021-12-31]. Dostupné z: <https://inbody.co.id/learn/teknologi-inbody/>
- [18] InBody produkty. [online]. [cit. 2021-12-31]. Dostupné z: <https://www.inbodysk.sk/produkty/>
- [19] KONČÍR, Oliver. *Analýza využití a provozu měřicí a výpočetní techniky CESA VUT v Brně*. [online]. Brno, 2015 [cit. 2022-01-02]. Dostupné z: https://www.vut.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=105678. Bakalárska práca. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta podnikatelská, Ústav managmentu. Vedúci práce Mgr. Jan Šťastný.
- [20] MCLESTER, Cherilyn N., Brett S. NICKERSON, Brian M. KLISZCZEWICZ a John R. MCLESTER. Reliability and Agreement of Various InBody Body Composition Analyzers as Compared to Dual-Energy X-Ray Absorptiometry in Healthy Men and Women. *Journal of Clinical Densitometry* [online]. 2020, 23(3), 443-450 [cit. 2022-05-30]. ISSN 10946950. Dostupné z: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30472111/>
- [21] MEDVEĐOVÁ, Zuzana. *Praktické využitie bioelektrickej impedančnej analýzy pri nádorovom ochorení*. [online]. Brno, 2020 [cit. 2022-01-02]. Dostupné z: https://is.muni.cz/th/pm2iy/BP_Z_Medvedova_.pdf. Bakalárska práca. Masarykova univerzita, Lékařská fakulta, Ústav ochrany a podpory zdraví. Vedúci práce doc. MUDr. Miroslav Tomáška, CSc.
- [22] Meranie zloženia tela. [online]. [cit. 2021-12-30]. Dostupné z: <https://www.skuniversal.sk/ponuka/meranie-zlozenia-tela>
- [23] MetaScan Bio-impedance Testing. [online]. [cit. 2021-12-30]. Dostupné z: <https://glowhealth.com.au/metascan/>
- [24] MONDOK, Jan. *Metoda hodnocení tělesného složení a dat získaných za pomoci bioimpedance*. [online]. Praha, 2015 [cit. 2022-01-03]. Dostupné z: <https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/62663/F3-DP-2016-Mondok-Jan-Metoda%20hodnoceni%20telesneho%20slozeni%20a%20dat%20ziskanych%20za%20pomoci%20bioimpedance.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Diplomová práca. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta elektrotechnická, Katedra teorie obvodů. Vedúci práce Ing. Jan Hlúbik.
- [25] NEJEDLO, Vojtěch. *Praktické využití bioimpedance pro posouzení zdravotního stavu pacienta*. [online]. Praha, 2014 [cit. 2022-01-02]. Dostupné z: https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/61247/F3-DP-2015-Nejedlo-Vojtech-DP_Nejedlo_2014.%20pdf?sequence=1&isAllowed=y. Diplomová práca. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta elektrotechnická, Katedra teorie obvodů. Vedúci práce Ing. Jan Hlúbik.

- [26] PAGÁČOVÁ, Lenka. *Bioimpedanční měření*. [online]. Brno, 2015 [cit. 2021-12-31]. Dostupné z: https://www.vut.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=103422. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav biomedicínského inženýrství. Vedúci práce Ing. Jiří Sekora.
- [27] PARK, Kyeong Seon, Dong-Hwa LEE, JieEun LEE, et al. Comparison between two methods of bioelectrical impedance analyses for accuracy in measuring abdominal visceral fat area. *Journal of Diabetes and its Complications* [online]. 2016, 30(2), 343-349 [cit. 2022-06-02]. ISSN 10568727. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1056872715004043>
- [28] PROVÁZEK, Pavel. *Konfrontace analýzy tělesné stavby stanovené pomocí klasických antropometrických metod a metod založených na bioimpedanci*. Praha, 2016 [cit. 2022-06-02]. Dostupné z: https://dspace.cuni.cz/bitstream/handle/20.500.11956/82259/DPTX_2011_2_1151_0_0_340936_0_126167.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Diplomová práce. Univerzita Karlova v Praze. Fakulta tělesné výchovy a sportu. Vedúci práce Prof. Ing. Václav Bunc, CSc..
- [29] SÍBROVÁ, Lucie. *Reliabilita měření u různých typů přístrojové techniky pro odhad tělesného složení u probandů U3V*. [online]. Olomouc, 2016 [cit. 2022-01-03]. Dostupné z: <https://theses.cz/id/tfolfa/18994395>. Diplomová práce. Univerzita Palackého v Olomouci, Fakulta tělesné kultury, Katedra přírodních věd v kinantropologii. Vedúci práce Doc. RNDr. Miroslava Přidalová, Ph.D.
- [30] TARÁBEK, Pavol. *Zmaturuj z fyziky*. 2. vydanie. Bratislava: Didaktis, 2018. 224s. ISBN 78-80-8166-018-4.
- [31] *Vyšetrenie zloženia tela použitím objektívneho merania (systém InBody)*. [online]. [cit. 2022-05-28]. Dostupné z: <https://www.jfmed.uniba.sk/fileadmin/jlf/Pracoviska/ustav-fyziologie/26SK-InBody.pdf>
- [32] Výškoměr BSM170B. [online]. [cit. 2021-12-28]. Dostupné z: <https://www.inbody.cz/produkty/123-vyskomer>
- [33] WILHELM, Zdeněk. *Stručný přehled fyziologie člověka pro bakalářské studijní programy*. 1. vydanie. Brno: Masarykova univerzita v Brně, 2005. 115 s. ISBN 80-210-2837-8.

PRÍLOHA A – OBSAH ODOVZDANÉHO PAMÄŤOVÉHO MÉDIA

220483_pevalova_BP/

src	zdrojové súbory zdrojový súbor
bodystat.py	
data	
bodystat	priečinnok pre Bodystat
ok	vstupné dáta .xlsx
out	vygenerované dáta
boxplots	
export_data	
data.csv	anonymizované dáta
data.xlsx	exportované .xlsx
graphs	
normal_distribution	
both	porovnanie oboch prístrojov
boxplots	
correlations	
inbody	priečinnok pre InBody
ok	vstupné dáta .xlsx
out	
boxplots	
export_data	
data.csv	anonymizované dáta
data.xlsx	exportované .xlsx
graphs	
normal_distribution	
inbody.py	zdrojový súbor
main.py	zdrojový súbor
readme.md	
requirements.txt	závislosti skriptu
template	šablóny v .xlsx
template_bs.xlsx	
template_ib.xlsx	
text	text bakalárskej práce
220483_pevalova_BP.pdf	