

Univerzita Palackého v Olomouci
Fakulta tělesné kultury

OBJEKTIVITA MĚŘENÍ SLOŽENÍ TĚLA METODOU BIOELEKTRICKÉ
IMPEDANCE V ZÁVISLOSTI NA STAVU HYDRATAČE

Diplomová práce
(bakalářská)

Autor: Michal Sláma – Tělesná výchova a Žurnalistika

Vedoucí práce: PhDr. Iva Klimešová, PhD.

Olomouc 2017

Bibliografická identifikace

Jméno a příjmení autora: Michal Sláma

Název bakalářské práce: Objektivita měření těla metodou bioelektrické impedance v závislosti na stavu hydratace

Pracoviště: Katedra přírodních věd v kinantropologii

Vedoucí práce: PhDr. Iva Klimešová, Ph.D.

Rok obhajoby bakalářské práce: 2017

Abstrakt:

Bakalářská práce se zabývá objektivitou měření složení lidského těla metodou bioelektrické impedance. Cílem práce bylo zjistit, zda má stav dehydratace významný vliv na výsledky měření tukové tkáně a tukuprosté hmoty. Výzkumného měření se zúčastnilo 22 mužů, kteří byli instruováni o podmínkách měření a pitném režimu, aby bylo dosaženo stavu dehydratace a poté euhydratace. Byla provedena dvě měření na přístroji InBody 230 za stavu dehydratace a stavu euhydratace o týden později. Z naměřených výsledků a statistických dat jsem vyhodnotil, že stav dehydratace má významný vliv na výsledky měření tukuprosté hmoty, kdy za stavu euhydratace byly naměřeny vyšší hodnoty svalové hmoty, kosterního svalstva a netukové hmoty. Na výsledky tělesného tuku neměl stav dehydratace žádný vliv.

Klíčová slova: objektivita, chyba měření, složení těla, bioelektrická impedance, hydratace

Souhlasím s půjčováním bakalářské práce v rámci knihovních služeb.

Bibliographic identification

Author's first name and Surname: Michal Sláma

Title of the master thesis: Objectivity measurement methods by bioelectrical impedance depending on the hydration of organism

Department: Department of natural sciences in kinantropology

Supervisor: PhDr. Iva Klimešová, Ph.D.

The year of presentation: 2017

Abstract:

The bachelor thesis deals with the objective of measuring composition of the human body by the bioelectric impedance method depending on the hydration of organism. The aim of the work was to determine whether the dehydration status had a significant effect on the results of fat mass and fat free mass measurements. The research was attended by 22 men who were instructed on the conditions of measurement and drinking regime to achieve the state of dehydration and then euhydration week later.. There were made two measurements on the InBody 230 under dehydration and euhydratation status. From the measured results and statistical data, I evaluated that the dehydration status has a significant influence on the results of the measurement of fat free mass, where higher values of muscle mass, skeletal muscle and fat mass were measured in the state of euhydration. The dehydration status had no effect on body fat.

Keywords: objektivity, measurement error, body composition, bioelectrical impedance, hydratation

I agree the thesis paper to be lent within the library service.

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval samostatně pod vedením PhDr. Ivy Klimešové, Ph.D., uvedl jsem všechny použité literární zdroje a odborné zdroje a dodržoval zásady vědecké etiky.

V Olomouci dne 20. června 2017

Děkuji PhDr. Ivě Klimešové, Ph.D., za věnovaný čas, trpělivost, poskytnutí cenných rad a odborné vedení při zpracování bakalářské práce.

Obsah

1	ÚVOD.....	7
2	PŘEHLED POZNATKŮ	8
2.1	Tělesné složení	8
2.1.1	Typologie – Somatotypy	9
2.2	Modely tělesného složení.....	10
2.3	Voda a její funkce v organismu.....	13
2.3.1	Dehydratace organismu.....	14
2.3.2	Měření dehydratace organismu	16
2.3.3	Optimální denní příjem tekutin	23
2.4	Metody zjišťování tělesného složení	23
2.4.1	Technicky náročné (laboratorní) metody.....	24
2.4.2	Technicky nenáročné (terénní) metody.....	26
2.5	Bioelektrická impedance (BIA).....	28
2.5.1	Standardizace měření metody BIA	30
2.6	Základní vlastnosti měřících metod.....	30
2.6.1	Souběžná validita.....	31
2.6.2	Reliabilita měření.....	32
3	CÍLE	33
4	METODIKA	34
4.1	Výzkumný soubor	34
4.2	Použité antropologické metody	35
4.3	Měření hydratace organismu	37
4.4	Statistické zpracování dat	37
5	VÝSLEDKY	38
5.1	Hodnocení vybraných parametrů.....	39
6	DISKUZE	45
7	ZÁVĚR.....	47
8	SOUHRN	48
9	SUMMARY	50
10	REFERENČNÍ SEZNAM.....	52

1 ÚVOD

Tématem bakalářské práce je vliv hydratace na výsledky měření složení lidského těla metodou bioelektrické impedance, která je dnes jednou z nejvyužívanějších metod, vzhledem k její snadné dostupnosti, nenáročnosti na ovládání a možnosti mít výsledky ihned k dispozici. Zkoumání složení lidského těla se využívá v mnoha oblastech lidského života, ať už se jedná o lékařství, nutriční poradenství nebo sport. Dnešní vrcholový sport je ve většině odvětví spojován s určitou životosprávou a sportovec si musí udržovat postavu, nejlépe s nízkým procentem tělesného tuku, a právě zde se využívá měření složení lidského těla, kde se velmi často využívá především přístrojů pracujících na metodě bioelektrické impedance. Nicméně ideální postava není jen záležitostí sportovců, ale rovněž široké veřejnosti, kde nutriční poradci pracují při tvorbě ideálních jídelních a stravovacích plánů s výsledky bioelektrické impedance. Přestože metoda bioelektrické impedance je dnes tak využívaná a oblíbená, je potřeba vzít její výsledky s rezervou, protože mohou být zkreslené řadou jevů.

Cílem bakalářské práce je zaměřit se na jeden z těchto jevů a tím je úroveň hydratace organismu, která by měla vzhledem k principu fungování bioelektrické impedance mít vliv na výsledky měření, zvláště pak hodnot tělesného tuku a tukuprosté hmoty. Metoda bioelektrické impedance totiž ke své analýze lidského těla využívá proudění elektrického odporu nízké intenzity a tukuprostá hmota díky velkému obsahu vody a elektrolytů je dobrým vodičem, a naopak tuková tkáň proudění omezuje. Ve výzkumné části této práce provedeme dvě měření, kde testované lidi dostaneme nejprve do stavu dehydratace, provedeme měření složení těla na přístroji InBody 230, využívajícího metodu měření bioelektrické impedance, a za využití metody měření kožních řas. O týden později, již za stavu euhydratace provedeme měření druhé. Výsledky, které zjistíme pomocí metod bioelektrické impedance a kaliperace mezi sebou porovnáme a zjistíme, zda má hydratace statisticky významný vliv na výsledky měření složení lidského těla, především na množství tukové a tukuprosté hmoty.

Bakalářská práce je rozdělena na část teoretickou a výzkumnou. V teoretické části jsou popsány jednotlivé komponenty a modely lidského těla, zde je pozornost věnována vodě a její úloze v lidském těle a důležitou částí je kapitola věnující se metodám měření tělesného složení, kde je v objektu zájmu především metoda bioelektrické impedance.

2 PŘEHLED POZNATKŮ

2. 1 Tělesné složení

Člověk se stejně jako každý živý organismus vyvíjí a přizpůsobuje se přírodním podmínkám. V postupném vývoji homonizace (polidštění), sapientace (navazuje na homonizaci, rozvoj mozku a psychiky) a vytváření lidských společností, byl ovlivněn i biologický vývoj (Kopecký, Cymek, Matejovičová, & Charamza, 2013).

Složení lidského těla je ovlivněno genetikou a utvářeno vnějšími faktory, jako jsou tělesná aktivita, výživa či celková životospráva a s tím související zdravotní stav organismu (Riegerová, Přidalová & Ulbrichová, 2006).

Výzkumem této biologické variability lidské populace v čase a prostoru se zabývá fyzická antropologie, mezi jejíž oblasti zájmu patří studium funkce a vývoje lidského organismu, výzkum růstových změn v průběhu ontogeneze či deskripce a měření tělesných znaků (Soukup, 2011).

Fyzické antropologii je nadřazená biologická antropologie nebo také biologie člověka, zkoumající člověka z pohledu morfologického, fyziologického a z hlediska vlivu prostředí. Pro nás je důležitý první pohled, morfologický, který se zabývá tvarem a velikostí těla, jeho skladbou a uložením jednotlivých částí. Zde se využívá poznatků z věd, jako je anatomie, která zkoumá postavení jednotlivých orgánů, histologie zkoumající tkáň či cytologie zabývající se buňkami (Suchý, 1975).

V současně době se studie zabývající se tělesným složením zaměřují na změny podílu jednotlivých tělesných částí v rozličných fázích ontogeneze (především během růstu a stárnutí), změny vznikající vlivem tělesné zátěže (práce, sport, aj.) či změny způsobené onemocněním, ať už tělesným či psychickým (Riegerová, Přidalová, & Ulbrichová, 2006).

Na tělesnou strukturu se v dnešní praxi pohlíží především jako na problematiku množství tělesného tuku, kterou řeší nejen sportovci (třebaže mají v porovnání s běžnou populací tuku méně) ale především lékaři u svých pacientů.

Ve vrcholových sportech je ve většině případů množství tukové hmoty důležitým aspektem výkonosti. Trenéři v některých případech po svěřencích požadují extrémně málo tělesného tuku z důvodu případného přerušování tělesné zátěže, kdy v průběhu například rekonvalescence po zranění dochází ke zvýšení množství tukové složky. Pozdější návrat k normálním hodnotám je pro sportovce náročný, vzhledem k tomu, že musí probíhat pomalu, aby nedošlo k chronickému přetrénování.

U pacientů dochází ke zvýšení tělesného tuku nejčastěji špatnou životosprávou nebo příčinou nemocí. Existují pouze tři cesty pro návrat k normálním hodnotám: léčebná, úprava životosprávy, a především výživy a zavedení nebo zvýšení pohybové aktivity (Vilikus, Brandejský, Novotný, 2004).

Informace o složení těla zahrnuje údaje jako procento tělesného tuku (BF %), měkká tkáň (LST), kosterní svalstvo (SM), které dále slouží k vyhodnocování například růstu a stavu výživy dětí nebo pro měření sportovců, u kterých tyto údaje mají vztah k maximální spotřebě kyslíku či vytrvalosti (Cheng, et al., 2016).

2. 1. 1 Typologie – Somatotypy

Podle typu tělesné stavby můžeme lidi rozdělit do skupin, které nazýváme somatotypy. U každého člověka můžeme pozorovat, zda má Ssklony spíše ke štíhlosti nebo k obléjším tvarům, zda rychleji nabírá svalovou hmotu nebo naopak hmotu tukovou atd. Velký vliv na to, ke kterému somatotypu patříme, má genetika. Proto obvykle ani změna životosprávy, a především stravování nijak významně tyto vlastnosti neovlivní (Haladová & Nechvátalová, 2010).

Nejstarší a nejjednodušší členění typů tělesné stavby vypracoval Hippokrates, který rozlišoval dva základní typy a třetí, který stál mezi nimi. První typ se nazýval habitus phthisicus – štíhlý a druhý habitus apoplecticus – obtloustlý. Významný klasifikační systém typologie z hlediska vzájemných vztahů psychiky a tělesné stavby vznikl na počátku 20. století v německé škole, která vymezila tři typy – astenický, atletický a pyknický (Riegerová, Přidalová, & Ulbrichová, 2006).

Astenický typ (leptosomní, štíhlý) – nebo také respirační typ se vyznačuje velmi malým procentem podkožního tuku, vyniklým hrudníkem a charakteristickými obličejovými rysy jako je trojúhelníkovitá hlava a úzký vystupující nos (Klementa & kol., 1981). Tělesná výška se pohybuje v průměrných hodnotách, naopak šířka těla je omezená. Mezi tento typ zahrnujeme nejčastěji sportovně zaměřené muže (Kopecký, Cymek, Matejovičová, & Charamza, 2013). Člověk tohoto typu nepřibírá na váze ani při přejídání, svalstvo není příliš vyvinuté, žebra jsou vystouplá (Riegerová, Přidalová, & Ulbrichová, 2006).

Atletický typ (mezosom) – muskulární typ, hranatější trup i obličej. Vyznačuje se dobrým vývojem svalstva a s tím souvisejícími vyššími nároky na krevní oběh (Klementa &

kol., 1981). Břicho je svalnaté, robustní kosti a zvětšené obvody vlivem zvětšeného svalstva, poměrně malé množství podkožního tuku (Riegerová, Přidalová, & Ulbrichová, 2006).

Pyknický typ (eurysom) – typ digestivní, který je náchylný na ukládání podkožního tuku, široké boky, kulaté břicho a obličej (Klementa & kol., 1981). Převažují rozdíly šířkové nad výškovými. Tuková vrstva se postupem času zvětšuje, a to především v oblasti břicha (Kopecký, Cymek, Matejovičová, & Charamza, 2013). Tendence k ukládání tuku v oblasti obličeje, hýždí a trupu, kde břicho bývá na rozdíl od hrudníku vyčnívající (Riegerová, Přidalová, & Ulbrichová, 2006).

S novou metodou určení tělesného typu přišel v roce 1940 William Sheldon, která rovněž dala vzniknout termínu somatotyp. Jde o tři, po sobě jdoucí čísla, kdy každé z těchto čísel zastupuje jeden ze tří základních komponentů tělesné stavby. Abychom takto mohli vyjádřit somatotyp číselně, musíme provést antropometrické měření, při němž se změří výška a hmotnost těla. Dále se na pravé straně těla změří podkožní tuk na rameni, břichu, bérce a na zádech, epikondylární šířka stehenní a pažní kosti, obvod ramene a předkolení. Podle klasifikačního formuláře převedeme naměřené hodnoty na body, čímž vznikne tzv. antropometrický somatotyp. Grafickým znázorněním této analýzy je somatodiagram (Haladová & Nechvátalová, 2010).

Sheldon stanovil složky sloužící k vyjádření tělesného typu, a to složku endomorfní, mezomorfní a ektomorfní (Kopecký, Cymek, Matejovičová, & Charamza, 2013).

Endomorfní složka – mocně vytvořené orgány, dominující a směřující k ovládnutí tělesné ekonomie, jež má za následek větší množství tělesného tuku.

Mezomorfní složka – převažuje svalová hmota, kosti, pojivová tkáň a vazy. Těžká stavba těla, tuhá, hranaté obrysy a silná kůže díky těžké podkožní pojivové tkáni.

Ektomorfní složka – malé množství tělesného tuku, k poměru k hmotě těla největší tělesný povrch, největší mozek a centrální nervový systém (Kopecký, Cymek, Matejovičová, & Charamza, 2013).

2. 2 Modely tělesného složení

Při zkoumání tělesného složení jedince nebo velké skupiny populace se obvykle vychází z údajů jako jsou tělesná výška, hmotnost, či jiné běžné antropometrické hodnoty.

Pokud ale máme dvě osoby, které mají stejnou hmotnost i výšku, nemusí to nutně znamenat, že jejich tělesné složení je stejné. Je třeba brát v úvahu fakt, že tělo se skládá z tuku

a tukuprosté tělesné hmoty (aktivní tělesná hmota). Zatímco tedy u prvního jedince mohou převažovat tkáně metabolicky maximálně aktivní, jako například svalstvo, u druhého jedince to může být větší množství tělesného tuku (Kopecký, Cymek, Matejovičová, & Charamza, 2013).

Vliv na frakcionaci hmotnosti má tělesná zátěž, která se projevuje především úbytkem tukové hmoty a nárůstem svalové, popřípadě kosterní složky. Tělesná hmotnost rovněž vypovídá o aktuálním zdravotním stavu a výživě. Monitorování a pravidelná kontrola tělesného složení může být ukazatelem efektivity pohybového zatížení, tělesných cvičení, které mají za cíl úpravu tělesné hmotnosti (Riegerová, Přidalová, & Ulbrichová, 2006).

Ke zkoumání komponentů tělesného složení byly původně využívány dva modely – chemický a anatomický. Bílkoviny, sacharidy, tuky, minerály a voda tvoří chemickou část a tuková tkáň, svaly, kosti, vnitřní orgány a ostatní tkáně tvoří část anatomickou (Riegerová, Přidalová, & Ulbrichová, 2006).

V současné době je složení lidského těla analyzováno na 5 základních modelech:

Atomický model

Model pracující s jednotlivými prvky, které se vyskytují v organismu, kde 98 % tělesné hmotnosti tvoří šest prvků: kyslík (O), uhlík (C), vodík (H), dusík (N), vápník (Ca) a fosfor (P). Ostatní prvky tvoří zbylá 2 % hmotnosti. Tyto poznatky vycházejí z výsledků testů prováděných na mrtvých tělech (Kopecký, Cymek, Matejovičová, & Charamza, 2013).

Molekulární model

Tělo člověka tvoří více jak sto tisíc chemických sloučenin, které jsou tvořeny molekulami složených z jedenácti hlavních prvků. Jednotlivé molekuly se svou složitostí a biologickou aktivitou značně liší. V molekulárním modelu jsou jako hlavní komponenty tělesného složení pozorovány a analyzovány:

Hmotnost těla = tuky + voda + bílkoviny + minerály + glykogen (Kopecký, Cymek, Matejovičová, & Charamza, 2013).

Buněčný model

Tento model představuje spojení molekulárních komponent v buňky, kde buněčná úroveň je vyjádřena následujícím složením jednotlivých komponent:

Hmotnost těla = buňky tukové tkáně + (svalové + pojivové + epiteliální + nervové buňky) + (plasma + intersticiální tekutina) + (organické + anorganické pevné látky)

Tkáňový model

Značně komplexní model vycházející ze zjištění, že 75 % tělesné hmotnosti tvoří kostní, svalová a tuková tkáň.

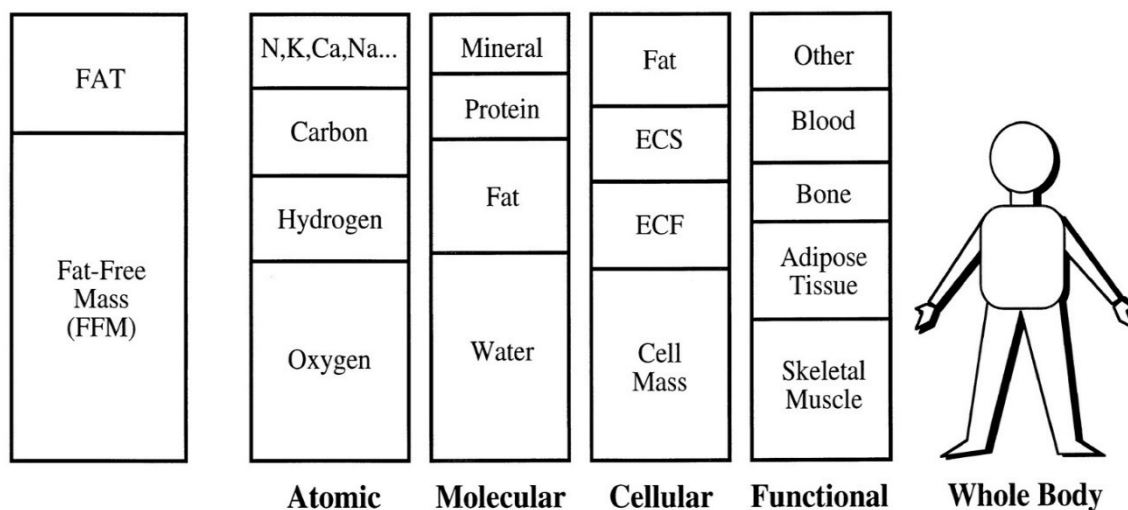
Tkáňový model počítá:

Hmotnost těla = systém muskuloskeletální + kožní + nervový + oběhový + respirační + zažívací + vyměšovací + reprodukční (Kopecký, Cymek, Matejovičová, & Charamza, 2013).

Celotělový model

Pomocí naměřených parametrů, jakými jsou například tělesná výška, hmotnost, index tělesné hmotnosti, rozměry délkové, šířkové a obvodové, kožní řasy či objem těla, lze nepřímou určit absolutní a procentuální zastoupení tukuprosté tělesné hmoty a depotního tuku (Kopecký, Cymek, Matejovičová, & Charamza, 2013).

Basic Model 2-Compartment



Multicompartment Models

Obrázek 1. Anatomický, molekulární, buněčný, tkáňový, celotělový a dvoukomponentový model tělesného složení (upraveno dle <http://physrev.physiology.org/content/80/2/649>)

2. 3 Voda a její funkce v organismu

Voda je základní složkou živých organismů a tvoří 50-75 % lidského těla. Vzhledem k tématu této práce ji budeme věnovat větší pozornost.

Muži mají v porovnání s ženami vyšší obsah vody v těle (Kopecký, 2010). Celkové množství vody v těle se mění v závislosti na věku. Až 80 % hmotnosti tvoří voda u dětí, 60 % u většiny dospělých a u lidí staršího věku klesá na 50 % (Kudlová, 2009). Za změny a rozložení vody v organismu jsou zodpovědné dva hlavní kationy: draslík, na který je vázána intracelulární tekutina (40%) a sodík, kde se váže tekutina extracelulární zastoupená v krvi a mezibuněčných prostorech (20%) (Mandelová, & Hrnčířiková, 2007).

Voda se v těle distribuuje nerovnoměrně, přičemž nejvíce vody obsahuje svalová tkáň (75 %) a kůže (72 %). Naopak kosti (22 %), tuková tkáň (10 %) a zubní sklovina (2 %) obsahují vody nejméně (Rokyta, 2016).

Voda je rozvrhnutá do dvou prostorů: Intracelulárního – neboli nitrobuněčného, který tvoří 40 % tělesné hmotnosti a extracelulárního – mimobuněčného, tvořícího 20 % tělesné hmotnosti (Rokyta, 2016).

Lidé nejčastěji přijímají čistou vodu (cca 61 % denního příjmu) a voda konzumovaná ve formě nápojů a vody přítomné v potravinách představuje méně než 40 % z celkového denního příjmu. Minimum vody (250ml/den) si vyrábí tělo samo. Jelikož je vodní rovnováha vysoce závislá na dietním příjmu a dostupnosti živin, je vysoce regulována. Už při ztrátě 1 % vody v těle dochází ke kompenzaci během 24 hodin. Při této ztrátě dochází k vyplavování antidiuretického hormonu – arginin vasopresin, a je vyvolán pocit žízně (Baron et al., 2015).

Voda je důležitým médiem oběhového systému lidského těla, biochemických reakcí, transportu látek přes buněčné membrány, regulace teploty a dalších fyziologických procesů (Armstrong, 2007).

Mezi důležité funkce vody patří (Mandelová, & Hrnčířiková, 2007, 32):

- Prostředí pro životní děje
- Rozpouštědlo pro živiny
- Tepelné hospodářství
- Udržení koloidů v rozpuštěném stavu
- Reaktant při hydrolytických a hydratačních reakcích
- Řízení toku energie (oxidace, redukce)
- Udržuje stálost vnitřního prostředí – homeostáza

Voda vylučovaná ledvinami vyplavuje z těla rozpuštěné látky z krve, přičemž je definován objem moči, který je potřeba za 24 h vyloučit z těla a jeho hranice je spojená s věkem jedince. Spodní hranice maximální osmolality moči je u jedinců, kteří dosáhli dvacátého roku života ve vyspělých průmyslových zemích odhadnuta na 830 mOsm / kg mínus 3-4 mOsm / kg za rok (Baron et al., 2015).

2. 3. 1 Dehydratace organismu

Rozhodujícím parametrem, který definuje stav hydratace je rovnováha mezi příjmy a ztrátami tělesné vody. Pokud pravidelně nedoplňujeme tekutiny nebo jich hodně ztratíme, dochází ke stavu dehydratace, v tomto případě hypertonické dehydratace, kdy ztráta vody je vyšší než ztráta elektrolytů, čímž se zvyšuje osmolalita plasmy. Její zvýšení nabourává rovnováhu tím, že dochází ke ztrátě vody z intracelulárních prostorů do prostorů extracelulárních. Dochází tak k intracelulární dehydrataci (Baron et al., 2015).

Nedostatek tekutin má za následek dehydrataci organismu. Důležité je udržovat rovnováhu mezi příjmem a výdejem tekutin, kdy se optimální množství tekutin za den pohybuje okolo 2 litrů u nesportujícího člověka (Mandelová Hrnčičířková, 2007).

Baron et al. (2015) ovšem uvádí, že v současné době neexistuje žádný „zlatý standard“ pro ukazatele, kdy je tělo už dehydratované, respektive mírně dehydratované.

Indikátorem správného dodržování pitného režimu může být moč. Tmavá barva moči může značit dehydrataci, stejně tak nedostatečná tvorba moči, změny tělesné hmotnosti a v neposlední řadě pocit žízně, který se dostavuje ve chvíli, kdy je organismus již dehydratován. Ztráta pouhých 2 % tělesné hmotnosti vyvolává pocit žízně (Mandelová Hrnčičířková, 2007). Akutní či chronická dehydratace má vliv na celkové zdraví a chování člověka. Mírná dehydratace může způsobit změnu kognitivního výkonu, pokles nálady a také zhoršenou fyzickou výkonnost (Baron et al., 2015)

Neexistuje žádná konsensuální definice akutní a chronické dehydratace, přesto jsou tyto dva jevy od sebe odlišné. Akutní dehydratace vzniká v důsledku nadměrné ztráty vody v důsledku patologických jevů jako je například průjem či fyzická aktivita, což ve většině případů vede k mírné až těžké dehydrataci. Chronická dehydratace se naopak projevuje především nedostatečným pitným režimem, jak bylo pozorováno u starších lidí (Baron et al., 2015).

Tabulka 1. Nežádoucí projevy dehydratace (Mandelová, Hrnčířková, (2007), 33)

Dehydratace	Kg tělesných tekutin (80 kg osoba)	Účinek
1 %	0,8	Zvýšená tělesná teplota
3 %	2,4	Zhoršená výkonnost
5 %	4,8	Křeče, třes, nevolnost, rychlý tep, 20-30 % zhoršení výkonu
6-10 %	4,8-8	Problémy s trávením, vyčerpání, závratě, bolesti hlavy, sucho v ústech, únava
Více než 10 %	Více než 8	Úpal, halucinace, žádný pot ani moč, nateklý jazyk, vysoká tělesná teplota, vratká chůze

U dospělého člověka činí obvyklá ztráta tekutin 2,5 l/den (moč, stolice, pot, dýchání) pokud bereme v úvahu pouze běžné činnosti a teplotu prostředí kolem 22 °C. Se zvyšující teplotou či tělesnou zátěží může v extrémních případech ztráta dosáhnout i 8 l/den (Kudlová, 2009).

Voda se z organismu ztrácí pomocí:

- Moči – průměrně člověk denně vymočí kolem 1,5 litru vody.
- Kůže – neznatelným pocením můžeme z těla vyloučit až 800 ml vody. Potem však můžeme ztratit 2 l/h, přičemž značně záleží na způsobu tělesné aktivity a ztráty tak mohou být i vyšší.
- Plic – dýcháním vyloučíme přibližně 400 ml vody.
- Stolice – průměrně vyloučíme stolicí 100 ml vody. Při průjemovitých onemocněních je množství značně vyšší (Rokyta, 2016).

Ke ztrátám tekutin rovněž dochází během zvracení či krvácení (Kopecký, 2010).

O tom, že voda je pro lidský organismus životně důležitá svědčí fakt, že ztráta pouhých 8 % může znamenat smrt. Toto je však extrémní stav, kterému předchází běžnější příznaky jako například zhoršení výkonnosti, nálady, a bolesti hlavy projevující se především u dětí a dospělých.

Výsledky nedávných studií (Secher, & Ritz, 2012) uvádí, že ztráta pouhých 2 % zhoršuje pozornost, psychomotorické dovednosti a krátkodobou paměť, zatímco výkony v dlouhodobém horizontu jsou lépe zachovány.

Vliv dehydratace na výkon je předmětem mnoha odborných studií. Výkony dospělých v silových a výbušných cvičení jsou obecně méně ovlivněny v porovnání s vytrvalostní nebo intenzivní opakovanou zátěží. Rehydratace může zmírnit deficit způsobený dehydratací a ovlivnit tak míru únavy, odolnosti, termoregulace, a dokonce i snížit oxidační stres zapříčiněný cvičením a dehydratací (Baron et al., 2015).

Pravidelná konzumace vody, přičemž doporučení se pohybují okolo 2000 ml/den, může být ochranným faktorem pro celkové zdraví ale sekundárně i jako prevence cévní mozkové příhody. Pitný režim je zvláště důležitý u starších osob, protože ztrácejí pocit žízně a riziko dehydratace je tak větší než u dospělých (Baron et al., 2015).

2. 3. 2 Měření dehydratace organismu

Náš organismus se v rámci zkoumání množství vody v těle může pohybovat v jednom ze třech stavů. Prvním a tím nejideálnějším je stav euhydratace, neboli optimální hydratace, která nepředstavuje určitou hodnotu či konkrétní body, ale reprezentuje sinusovou křivku, která osciluje kolem průměru (Armstrong, 2007).

Druhým stavem je hyperhydratace, tedy stav, kdy příjem tekutin převyšuje naši průměrnou bazální úroveň před tím, než je zpracován ledvinami. Protikladem hyperhydratace je dehydratace, která se vztahuje k procesu, kdy není kompenzovaná ztráta vody přes moč, pot, stolicí či dýchání a snižuje se tak celková tělesná voda pod průměr bazální hodnoty (Armstrong, 2007).

Pokud zkoumáme úroveň hydratace na větším vzorku populace, je zapotřebí, aby metoda měření byla rychlá, přesná, levná a nebyla technicky náročná.

Stejně jako u měření lidského těla, můžeme metody výzkumu rozdělit na laboratorní a terénní. Mezi laboratorní metody řadíme izotopickou diluci, bioelektrickou impedanci, nebo plasmatickou či krevní osmolalitu. Měření v těchto podmínkách vyžaduje drahé technické vybavení a vyšší nároky na standardizaci měření jako je nastavení pitného režimu, pohybové aktivity apod., které však zaručují přesné výsledky.

Naproti tomu u terénních výzkumů může docházet k výkyvům ve vodním obratu, kdy vlivem například pohybových aktivit dochází ke ztrátám vody, které mohou vést k fyziologicky významným ztrátám na tělesné hmotnosti (1–2 %). Přístroje, pomocí nichž měříme by měly být snadno přenositelné, levné, nenáročné. Mezi terénní metody můžeme řadit měření změny tělesné hmotnosti, močových indexů, parametrů slin nebo pocit žízně. (Armstrong, 2007)

Francesconi a kol. (1987) však uvádí, že neexistuje všeobecně přijímaná technika měření, zda je člověk dobře hydratovaný, dehydratovaný či euhydratovaný, vzhledem k tomu, že vlastnosti moči jsou vlivem různých mechanismů v těle upravovány a obrat vody se neustále mění. Například osmolalita moči ihned po tréninku nemusí přesně definovat hydrataci organismu.

Laboratorní metody

Izotopická diluce

Principem této zředovací analýzy je na distribuce látky, která je podána buď orálně nebo intravenózně. Metoda umožňuje měření obsahu celkové vody (TWB) pomocí prvků, které jsou šířeny do všech tekutin v těle. Nejběžnějšími prvky v tomto případě, které sledujeme jsou stabilní izotopy vodíku a kyslíku.

Pár hodin po podání tyto prvky dosahují rovnováhy v koncentraci a je prováděna analýza moči nebo plasmy. Na základě koncentrace tekutiny je určeno množství TWB a stejným způsobem lze měřit i obsah extracelulární tekutiny (ECW), kde sledovacími prvky budou izotopy sodíku, chromu a bromu. Rozdílem mezi TWB a ECW je určeno množství intracelulární vody (ICW).

Přestože se jedná o metodu velice přesnou, není možné ji z důvodu velké technické náročnosti provádět na velkém vzorku populace (Baron et al., 2015).

Dalším problémem je skutečnost, že stav tělesných tekutin je málo kdy stabilní vzhledem k denním aktivitám a je proto důležité měření provádět za přesně stanovených podmínek, které například zahrnují tři až pět hodinovou interní izotopickou ekvilibraci (vyváženost) a analýzu (Armstrong, 2007).

Bioelektrická impedance

Jak už bylo výše uvedeno, jednou z funkcí bioelektrické impedance je určení množství tělesné vody, které se provádí na základě elektrických vlastností tkání, kde tkáň vedou elektrický proud odlišně v závislosti na obsahu vody v těle a počtu elektrolytů. V souvislosti s tímto faktem byly vytvořeny rovnice propojující odpor těla a elektrický proud TWB, EWB, IWB (Baron et al., 2015).

Od roku 1970 bylo vyvinuto několik přístrojů pracujících na principu BIA. Prvním z nich byla jedno frekvenční SF-BIA, kde proud o velikosti 50 kHz procházel tělem prostřednictvím elektrod umístěných na ruce a kotníku. Metoda je schopná zjistit součet ICW a ECW ale ne obsah TBW a nebyla ověřena pro použití změn hydratace (Baron et al., 2015).

Dalším krokem byla multifrekvenční MF-BIA, která měla vyšší citlivost a přesnost díky elektrickému proudu v rozsahu 0 až 500 kHz a již dokázala určit kromě ICW a ECW dokonce i TBW (Baron et al., 2015).

Třetím způsobem je bioelektrická spektroskopie (BIS), která se od SF-BIA a MF-BIA liší použitím matematického modelování a kombinací rovnic pro stanovení ECW nebo ICW obsahu namísto klasických BIA rovnic. Metoda je prokazatelně přesná a má nízké zkreslení u nefyziologické populace. Přesto vědci nesouhlasí s variabilitou výsledků metody BIS, jelikož se mnohé studie neshodují v přesnosti výsledků (Baron et al., 2015).

Hlavními přednostmi metody BIA je rychlá zpětná vazba, cenová dostupnost a snadná proveditelnost. Na druhou stranu jsou výsledky značně variabilní, a proto důležitou úlohu hraje správná volba rovnice nebo modelování použitého v SF-BIA, MF-BIA či BIS.

Mezi časté chyby patří například špatná citlivost u obézní populace, kterou vykazuje BIS. Mimo to může výsledky šetření ovlivnit špatné umístění elektrod, změna složení elektrolytů nebo změna teploty prostředí. Změny, které nastávají během akutní hydratace ovlivňují čísla vyjadřující objem tekutiny a elektrolytů v těle (Baron et al., 2015).

Plasmatická a krevní osmolalita

Jelikož osmolalita plasmy odráží intracelulární osmolalitu, je považována za dobrý standardní ukazatel pro posouzení stavu hydratace, přestože jsou zde jistá omezení (Grant, & Kubo, 1975). Celková tělesná voda (TWD) v kombinaci s měřením plasmatické osmolality je považována za „zlatý standard“ hodnocení hydratace (Armstrong, 2007).

Nejdůležitější regulovaná proměnná v centrálním nervovém systému pro kontrolu a řízení rovnováhu tekutin a elektrolytů je ovšem extracelulární osmolalita. Z toho důvodu plazmatická osmolalita nemůže platně představovat chronickou hyperhydrataci, protože mozek je neustále ovlivňován změnou plasmatické osmolality (Cheuvront et al., 2010).

Plasmatická osmolalita je více či méně relevantní v závislosti na okolnostech, jakou může být akutní změna v plasmě, například vlivem fyzické aktivity, osmolalita plasmy je pozměněna, zatímco u chronické dehydratace (např. v důsledku nedostatku tekutin) je osmolalita zachována, mění se pouze indexy moči vzhledem k přizpůsobení ledvin (Baron et al., 2015). O relevantnosti měření píše i Armstrong (2007), který dále zmiňuje, že „zlatý standard“ musí být kvalifikován na základě podmínek měření – laboratorní nebo terénní. Laboratorní podmínky jsou více kontrolované, přesné, tekutiny jsou v rovnovážném stavu, a proto představují nejvíce přesnou metodu hodnocení hydratace organismu.

Vedle plasmatické osmolality můžeme stav dehydratace zkoumat dále za pomoci vzorku krve, respektive její osmolality, která je rovněž řazena mezi tzv. zlatý standard (Armstrong, 2005). Nicméně toto měření vyžaduje invazivní techniku, nákladné měřicí zařízení a kvalifikovaný personál schopný pracovat s krví, což jsou podmínky, jež jsou zřídka k dispozici vědcům, natož pak například trenérům. Jako alternativa se tak používá spíše osmolalita moči, jejíž nevýhodou je ale větší doba reakce na stav nedostatku tekutin oproti krvi (Fernandez-Elias et al., 2014).

Terénní metody

Změna tělesné hmotnosti

Určení tělesné hmotnosti je pravděpodobně nejjednodušší metodou pro určení ztráty vody v těle během krátké fyzické činnosti. Voda tvoří přibližně 60 % hmotnosti jedince, a proto akutní změny obsahu vody v organismu mohou být určeny na základě změn tělesné hmotnosti.

Jedná se o metodu, kterou lze snadno a rychle provést, bez větších znalostí, kdy můžeme předpokládat, že ztráta hmotnosti při cvičení se rovná hodnotám ztráty vody, protože tělo nemůže ztrácet na hmotnosti v takové míře v důsledku jiných příčin. Tato metoda je běžně užívána k vyhodnocování závažnosti dehydratace. Klinické příznaky závisejí na závažnosti dehydratace, toleranci jedinců a mezi běžné příznaky patří zvýšená tepová frekvence, prodloužení doby kapilárního plnění a snížení systolického tlaku (Baron et al., 2015).

Vzhledem k tomu, že měření stavu tělesné vody na základě změn hmotnosti člověka lze dělat pouze v závislosti na předchozí fyzické aktivitě, nelze tuto metodu použít pro delší časový horizont, kdy dochází ke ztrátám vody z odlišných důvodů, například stolicí nebo močí (Baron et al., 2015).

Močové indexy

Z výše uvedených informací vyplývá, že ledviny jsou hlavní regulátor ztráty vody v odezvě na zvýšení plasmatické osmolality. Během hypertonické dehydratace dochází k vyplavování antidiuretického hormonu, rovněž nazývaného jako arginin – vazopresin (AVP), což vede k resorpci vody ve sběrných kanálcích bez reabsorpce elektrolytů. Tím je zapříčiněna vyšší koncentrace moči a její snížené vylučování.

Pro stanovení koncentrace moči se využívá tři močových ukazatelů: osmolalita moči, barva moči a specifická hmotnost moči (Baron et al., 2015).

Pro stav euhydratace je typická barva moči světle žlutá až „slámově zbarvená.“ (Armstrong et al., 1998).

BARVA MOČI	STUPEŇ DEHYDRATACE	INTERPRETACE	DALŠÍ PORUCHY
	1	Čistá moč znamená, že tělo je správně hydratováno. Je potřeba pokračovat v příjmu tekutin jako doposud	Čistá, průhledná moč indikuje, že organismus je zdravý. Člověk by měl pokračovat v příjmu zdravých potravin a dodržovat správnou dietu odpovídající jeho tělesnému typu
	2	Tento odstín znamená, že organismus je v pořádku, ale chtělo by to mírně zvýšit příjem tekutin	Tento odstín může znamenat, že člověk používá léky typu amitriptylin či indomethacin. Rovněž může být příčinou vzácná metabolická porucha zvaná syndrom modrých plen
	3	Symptom mírné dehydratace. Je potřeba vypít 1/2 láhve vody nebo 1/4 litru vody během hodiny, zvláště pokud je člověk venku a potí se	Světle žlutá barva poukazuje na dehydrataci. Rovněž může být příčinou nadměrné množství B komplexu v těle
	4	Symptom těžké dehydratace. Je potřeba vypít ihned 1/2 litru vody	Temně žlutá barva naznačuje žloutenku, hemolytickou anémii, nebo krvácení v moči vlivem dehydratace
	5	Nejvyšší stupeň varování pro těžkou dehydrataci. Je nezbytné okamžitě přijmout 1/2 litru vody a okamžitě vyhledat lékařskou pomoc	Temně hnědá barva může být vedlejším efektem způsobeného léky nebo také poruchou jater

Obrázek 2. Odstíny moči a její příčiny (upraveno dle:

<http://www.health.nsw.gov.au/environment/beattheheat/Pages/urine-colour-chart.aspx>)

Osmolalita moči

Osmolalita moči představuje koncentraci rozpuštěných látek, které jsou přítomny v moči (Fernandez-Elias et al., 2014). Měří se za použití bodu mrazu nebo osmometrem. Osmolalita závisí na dvou parametrech: množství rozpuštěných látek a objemu vody (Baron et al., 2015).

Nejvíce zastoupené látky v moči jsou sodík, draslík a močovina, která za fyziologických podmínek závisí na stravě společně s denním osmotickým vylučováním. U dehydratovaného zdravého jedince malý objem vysoce koncentrované moči bude vytvářet a odrážet zvýšenou osmolalitu moči, zatímco u člověka dlouhodobě přijímacího vysoké množství tekutin a tím i produkujícího velké množství moči, bude osmolalita moči nízká (Baron et al., 2015).

Lze říci, že měření osmolality moči má mnoho výhod, jelikož se jedná o neinvazivní a levnou metodu, která může být provedena u velkého vzorku lidí v běžném každodenním životě. Stejně tak metoda umožňuje zjistit tendenci k dehydrataci, jelikož zvýšení osmolality jde souběžně s hypertonickou dehydratací a dále je i velmi citlivá pro detekci malé změny stavu hydratace (Baron et al., 2015)

Protože měření osmolality přináší nejpřesnější výsledky celkové koncentrace rozpuštěných látek, lze tak měřit i práci a schopnosti ledvin zpracovat odpadní látky v těle (Armstrong, 2005)

Specifická hmotnost moči

Tato hmotnost odpovídá měření hustoty moči, definovanou jako hmotnost moči ve srovnání se stejným množstvím destilované vody. Hmotnost čisté vody se rovná 1,000, přičemž obvyklé vzorky moči se pohybují v rozmezí od 1,013 do 1,029 (Baron et al., 2015).

Atletickou asociací National Collegiate bylo rozhodnuto, že stav dehydratace určován na základě specifické hmotnosti moči má hodnotu nad 1,020 – 1,025, přičemž tyto hodnoty vycházejí z četných studií (Cleary et al. 2012; Logan-Sprenger et al. 2015; Osterberg et al., 2009).

Měření probíhá na refraktometru velmi rychle a má nízké technické požadavky. Studie dokázaly, že osmolalita moči a specifická hmotnost moči jsou v silné korelaci, což dokazuje, že měření obou parametrů je konzistentní (Baron et al., 2015).

Refraktometr je malé, kapesní zařízení, snadno ovladatelné a přenosné a velmi ulehčuje především sportovcům posouzení hydratace organismu. Digitální refraktometr je kalibrován pomocí destilované vody, která je nakapána na měřící destičce, přičemž výchozí hodnota je 1,000. Po použití je zapotřebí refraktometr vyčistit, a tak rekalibrovat (Weber, et al., 2013).

Měření pomocí této metody má však jednu velkou nevýhodu, a to je počet a velikost částic, které se mohou vyskytovat v moči a ovlivňovat tak její hmotnost. Například neobvyklé množství větších molekul jako je glukosa, proteiny nebo močovina. Vliv glukosy může ovšem zkreslit i výsledky osmolality moči (Baron et al., 2015).

Parametry slin

Jako poslední metodu určení hydratace organismu uvádí Baron a spol. (2015) určení podle parametru slin, což je stejně jako moč, další snadno přístupná tekutina. Mezi hlavní faktory, ze kterých se vychází je rychlost tvorby slin, přičemž za běžných podmínek se rychlost pohybuje okolo 0,46ml/min. Vědci zjistili, že dehydratace trvající dvacet čtyři hodin způsobuje menší průtok slin, přičemž během metabolické rehydratace se sice rychlost zvýšila, přesto však nebyla výrazně nižší než za běžného stavu. Během akutní mírné dehydratace se snižuje průtok, a naopak osmolalita slin a celková koncentrace proteinu stoupá. Po den trvající deprivaci se ukázalo, že osmolalita slin se zvyšuje pomalu v porovnání se specifickou hmotností moči a její barvou, což poukazuje na menší citlivost tohoto parametru (Baron et al., 2015).

Pocit žízně

Jedná se o fyziologický stav vztahující se ke stavu hydratace jednotlivce a je zprostředkovaný tekutiny-regulujícími hormony, které v nás vyvolávají potřebu pít. Úroveň pocitu žízně se boduje na stupnici od jedné do devíti, kde číslice jedna představuje „žádnou žízeň“ a číslo devět „velmi, velmi žízňivý,“ (Maresh, 2004). Nejedná se však o přesnou metodu, jelikož pocit žízně v nás může vyvolat například právě sněžené jídlo, což ještě neznamená, že jsme dehydratováni.

2. 3. 3 Optimální denní příjem tekutin

Vědci a lékaři vydali doporučení týkající se denního příjmu vody pro kojence, děti a dospělé u obou pohlaví. Tato doporučení se nevztahují k minimálnímu příjmu tekutin, protože mnoho faktorů, jako například okolní teplota, nadmořská výška, hladina vlhkosti, fyzická činnost a rovněž strava může vést ke zvýšení ztrát vody a negativní vodní rovnováze (Baron et al., 2015). Sportovec tak má daleko vyšší minimální příjem tekutin než člověk, který nemá během dne fyzicky náročnou činnost.

Evropský úřad pro bezpečnost potravin (EFSA) vychází z ideální osmolality moči, která je 500 mOsm / kg, aby zjistila bezpečné rozpětí tzv. rezervy volné vody. Většina odborníků doporučuje optimální denní příjem nad 2 litry pro ženy a 2,5 litru pro muže pro optimální ředění moči. Je však třeba vzít v úvahu, že tato hodnota je pouze orientační a neplatí pro každého. Vhodným příkladem mohou být sportovci, kteří se vlivem fyzické aktivity více potí a jejich ztráty vody jsou tak daleko vyšší než u běžné populace. Stejně tak dělníci pracující v horkých podmínkách mají zcela jiné hodnoty ztrát vody než člověk pracující například v kanceláři (Baron et al., 2015).

Národní akademie věd Spojených států amerických ovšem doporučuje během 24 hodin přijmout alespoň 3,7 l tekutin (není zde započítána voda přijatá z potravin) u sedmdesáti kilového muže a 2,7 litru u padesáti sedmi kilové ženy s tím, že lidé aktivně sportující či pracující v horkém prostředí mají příjem vyšší (Institute of Medicine, 2005). Stejně množství vody doporučuje přijmout i World Health Organization (Světová zdravotnická organizace) pro muže a ženy od 19 let (Grandjean, 2004).

2. 4 Metody zjišťování tělesného složení

Znalost tělesné skladby umožňuje sledovat vzájemné poměry chování tělesných komponentů v závislosti na změně tělesné hmotnosti, se kterou se rovněž mění také velikost a vzájemné poměry složek jako jsou tukuprostá tělesná hmota (FFM – fat-free body mass, LBM – lean body mass, ATH – aktivní tělesná hmota) a složky tukové (FM – fat mass). Rovněž tyto znalosti umožňují prověřovat vzájemné závislosti a vztahy mezi složením těla a některými funkcemi organismu.

Hodnocení tělesného složení může vycházet z řady hledisek jako například stanovisko dvou hlavních složek – depotního (zásobního) tuku a tukuprosté tělesné hmoty.

Pro využívání jednotlivých metod, mezi které například patří vyhodnocení složení organismu z hlediska jednotlivých tkání a orgánů, obsahu vody či minerálů a proteinů, je zapotřebí předepsaná přesnost, školený personál, vhodné vybavení atd.

Metody měření tělesného složení můžeme rozdělit na:

- technicky náročné (laboratorní),
- technicky nenáročné (terénní),
- (Kopecký, Cymek, Matejovičová, & Charamza, 2013).

2. 4. 1 Technicky náročné (laboratorní) metody

Laboratorní metody se vyznačují především vysokou technickou náročností, finanční nákladností a je nezbytné, aby měření prováděli speciálně vyškolení pracovníci. V současné době se těchto metod využívá hlavně pro experimentální výzkumy a hodnocení tělesného složení jednotlivce. S nezastavitelným pokrokem v oblasti vědy a technologií máme dnes možnost některé z metod (např. bioimpedanční analýzu) vyzkoušet i mimo výše uvedené podmínky. Přestože si můžeme dnes zakoupit domácí váhu fungující na principu BIA, je nutné vzít v úvahu skutečnost, že v laboratorních podmínkách dosáhneme přesnějších výsledků (Kopecký, Cymek, Matejovičová, & Charamza, 2013).

Denzitometrie

Metoda využívající Archimédova principu zjišťující hustotu organismu. Vychází z dvoukomponentového modelu, kde základní složky tvoří tuk a tukuprostá hmota (FFM), které mají rozdílnou hustotu (denzitu). Největší příčinou rozdílnosti v denzitě FFM je hydratace, která vede v chybě odhadu tuku kolem 2,1 %. Hlavním nedostatkem denzitometrie jako takové je přepočítání tělesné denzity na podíl tukové tkáně. Denzitometrie počítá, že:

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

Chyba v odhadu podílu tuku se pohybuje v rozmezí 3-4% (Riegerová, Přidalová, & Ulbrichová, 2006).

Duální rentgenová absorpciometrie (DXA)

Duální rentgenová absorpciometrie byla původně vynalezena pro jiné účely, a sice pro diagnostiku a sledování osteoporózy měřením hustoty kostních minerálů (Fosbøl, & Zerahn 2015).

Principem této metody je snímání a měření dvou rozdílně zeslabených x-paprsků, které procházejí lidským tělem. Paprsky vydávají záření o rozdílných energiích čímž je způsobena odlišná absorpce při průchodu tkáněmi. Díky tomu můžeme rozlišit kostní minerály od měkkých tkání a ty pak dělíme na tuk a tukuprostou hmotu. Je tak možné stanovit složení i u ostatních segmentů. Podstatné je určení centrálního tuku, který představuje obsah tukové tkáně v oblasti trupu oproti tuku nacházejícího se na končetinách (Kopecký, Cymek, Matejovičová, & Charamza, 2013).

Jedná se o metodu využívající čtyřkomponentový model (kostní minerály, proteiny, voda, tuk). Problémem, který limituje měření, je snímací plocha, na které leží testovaný subjekt. Její rozměry 60 × 90 cm omezují měření obézních nebo vysokých osob, jelikož přesnost měření se se zvětšujícími rozměry klesá. DXA je v současnosti hodnocena jako nejlepší referenční metoda (Riegerová, Přidalová, & Ulbrichová, 2006).

Nevýhodou této metody je vystavení subjektu ionizujícímu záření (Hlubík J., Hlubík P., & Lhotska, 2010).

Hydrostatické vážení

Technicky náročné měření funguje na základě Archimédova zákona (denzitometrie – viz výše) určující objem těla. Tento způsob měření je pro zkoumaný subjekt značně nepohodlný a časově náročný oproti metodám ostatním. Abychom dosáhli nejpřesnějších výsledků je zapotřebí vypočítat objem vzduchu v plicích a v dýchacích cestách pomocí diluční dusíkové metody (Marček et al., 2007).

Objem těla se vypočítá z rozdílu hmotnosti těla změřeného „na suchu” a pod vodou s přihlédnutím na hustotu vody v okamžiku měření. Vážení pod vodou se provádí pomocí hydrostatické váhy (Riegerová, Přidalová, & Ulbrichová, 2006).

Mezi další laboratorní metody, které uvádí Riegerová a spol. (2006) patří například radiografie, ultrazvuk, infračervená interakce, magnetická resonance, atd.

2. 4. 2 Technicky nenáročné (terénní) metody

Relativně levné měření, které je snadno opakovatelné při sledování v terénních podmínkách, lehce použitelné a většinou časově nenáročné metody spadající pod standardizovanou antropologii, která je základem pro posouzení nadváhy a obesity, zjišťování tělesných rozměrů charakterizující blíže tělesnou stavbu.

Kopecký a spol. (2013) dále uvádějí metodu bioelektrické impedance (BIA), která je jednou z nejvíce používanou terénní metodu. Jejím detailnějším popisem se budeme zabývat dále.

Antropometrie

Antropometrie je založena na měření tělesných rozměrů jako je délka, šířka, obvod a tloušťka kožní řasy, jejichž součet je již po mnoho let přijímán jako ukazatel celkového tělesného tuku. Bylo popsáno více než devatenáct míst, na kterých se může měřit tloušťka kožní řasy a přes padesát rovnic se používá pro výpočet tuku nebo tukuprosté hmoty na základě naměřených hodnot (Fosbøl, & Zerahn, 2015).

V roce 1921 přišel český lékař a antropolog Jindřich Matiegka s pokusem o kvantifikaci tělesných komponent v závislosti na antropometrických rozměrech těla. Tělo rozdělil na čtyři složky: hmotnost skeletu (O), hmotnost kůže (D) a hmotnost podkožní tukové tkáně, hmotnost kosterního svalstva (M) a hmotnost zbytku (R) (Riegerová, Přidalová, & Ulbrichová, 2006).

Po Matiegkovi byla vypracována řada nových postupů pro odhad tělesného složení na základě určení antropometrických rozměrů za použití kosterních rozměrů, obvodových měř a tloušťky kožních řas měřených různými typy kaliperů.

V České republice je neznámější a nejpoužívanější metoda měření desíti kožních řas podle Pařízkové, kde se sčítají hodnoty kožních řas naměřené pomocí kaliperů na:

- tváři – ve výši tragu pod spánkem
- krku – mezi jazykou a bradou
- hrudníku 1 - v oblasti nad m. pectoralis major na přední axilární čáře
- hrudníku 2 - přední axilární čáry, výše X. žebra
- paži – na m. triceps brachii, v polovině vzdálenosti acromion – olecranon

- zádech – pod spodním úhlem lopatkové kosti
- bříše – v mediální třetině spojnice pupek – přední trn kyčelní
- bocích – nad hřebenem kyčelní kosti v prodloužení axiální čáry
- stehnu – nad čéškou
- lýtku – 5 cm pod zákolenní jamkou

Podíl tuku je pak dále vypočítán součtem naměřených hodnot dosažených do regresivních rovnic, kde Pařízková má dvě rovnice pro lidi ve věku devět až dvanáct let, jednu pro věk třináct až šestnáct a dvě pro sedmnáctileté až pětáctýřicetileté a několik dalších pro osoby starší čtyřiceti pěti let.

Příklad rovnic pro chlapce od devíti do dvanácti let:

$$y = 1,180 - 0,069 \times \log x$$

Y představuje denzitu a x sumu kožních řas. Z denzity následně můžeme vypočítat procento tuku pomocí vzorce:

$$\% \text{ tuku} = (4,201 / y - 3,183) \times 100$$

U mužů ve věku sedmnáct až čtyřicet pět let je výpočet jednodušší, vzorec vynechává denzitu:

$$\% \text{ tuku} = 28,960 \times \log x - 41,27$$

Výsledek, který u mužů je roven nebo vyšší hodnotě 25 % a u žen 30 % představuje obezitu (Kopecký, Cymek, Matejovičová, & Charamza, 2013).

Chyba odhadu může vzhledem k intervalu spolehlivosti vystoupat až na 9-10 %. Samotné měření může i u zkušených antropologů dosáhnout chybovosti až 5 %. Výhodou této metody však je rychlost, použitelnost v terénních podmínkách a rozsáhlejších studiích (Riegerová, Přidalová, & Ulbrichová, 2006).



Obrázek 3. Kaliper BEST II K-501 (upraveno dle <http://www.trystom.eu/>)

2. 5 Bioelektrická impedance (BIA)

Jedná se o jednu z nejrozšířenějších metod měření složení lidského těla, bezpečná, terénní, relativně levná. Její využití poslouží k měření jak u zdravých jedinců, tak i u pacientů trpícími například poruchou metabolismu (Riegerová, Přidalová & Ulbrichová, 2006).

BIA je metodou měření jejíž principem je šíření elektrického proudu o nízké intenzitě, a to v různých biologických skladbách. Elektrický proud prochází především přes komponenty s nejnižším odporem, což je v lidském těle na elektrolyty bohatá voda, takže vodivost bude přímo úměrná celkové tělesné vodě (TWB) (Fosbøl, & Zerahn 2015).

Metoda měření složení těla pomocí bioelektrické impedance je velmi využívaná ve sportovním odvětví. Základní proměnnou je celková tělesná voda (TWB) z čehož vyplývá, že metoda BIA, respektive výsledky měření, jsou citlivě na hydrataci organismu (Kutáč, 2014).

Složení těla je určeno na základě míry odporu těla, které klade proti proudu nízké intenzity a vysoké frekvence.

Tukuprostá tkáň a tuková hmota mají rozdílné úrovně vodivosti. Zatímco tukuprostá tělesná hmota je díky vysokému podílu vody a elektrolytů dobrým vodičem, tuková tkáň průchod proudu omezuje (Kopecký, Cymek, Matejovičová & Charamza, 2013). Výsledný odpor je úměrný objemu vody a elektrolytových komponentů v aktivní tukuprosté hmotě. Většina aparatur založena na principu BIA využívá excitační proud 800 μ A (mikroampér) a frekvenci 50 kHz (Riegerová, Přidalová, & Ulbrichová, 2006).

Pravidelné střídání proudu nízké intenzity vyvolává fázový posuv proti proudu napětí tzv. impedanci (Doleček, 2005), jejíž síla je závislá na frekvenci šíření proudu, délce jeho vodiče, nastavení a průřezu (Riegerová, Přidalová, & Ulbrichová, 2006).

Pro stanovení BIA můžeme využít tzv. tetrapolárních přístrojů, které mají na končetinách umístěny čtyři elektrody. V dnešní době se více využívá bipolárních přístrojů, označovaných také jako ruční, kde proud probíhá pouze v horní části těla, popřípadě pouze dolní částí těla u přístrojů bipedálních (Riegerová, Přidalová, & Ulbrichová, 2006).

Přístroje, které slouží pouze k měření odporové složky bioimpedance, nejsou schopny určit extracelulární a intercelulární vodní poměr. K těmto účelům je zapotřebí využití

multifunkčních zařízení, umožňující změření reaktanční a rezistenční složky – tzv. celková bio impedance (Verney, et al., 2016).

Při práci s bioelektrickou impedancí pracujeme s celkovou vodou (TBW), která je základní proměnnou. Na základě následující rovnice: $FFM = TBW * 0,732^{-1}$ je určována tukuprostá hmota daná rozdílem mezi celkovou hmotností těla a hmotností tělesného tuku (Verney, et al., 2016).

Hodnota 0,732, respektive její procentuální vyjádření 73,2 %, je průměrná hydratace tukuprosté hmoty u dospělých, přičemž u dětí je hydratace vyšší. S přibývajícím věkem se mění podíly objemu extracelulární vody (ECW), která postupem času klesá a podílem intracelulární vody (ICW), jejíž objem stoupá (Verney, et al., 2016).

Bioelektrická impedance představuje analýzu hmotnosti tukové složky, aktivní tělesné hmoty, obsahu celkové, extracelulární a intracelulární vody a úroveň bazálního metabolismu. Výsledky této metody jsou značně závislé na stavu hydratace organismu (chybovost 2-4 %), termoregulaci, povrchové teplotě kůže, množství svalového glykogenu, předchozí tělesné aktivitě především anaerobního charakteru (Verney, et al., 2016).

Jednou z otázek, které se nabízejí v souvislosti s měřením bioimpedanční metodou je, jaká je správná frekvence pro měření. V současné době se nejvíce používá frekvence 50 kHz, která je vhodná pro základní vyšetření. Nicméně bioimpedanční metoda se dá provádět na více přístrojích, počínaje základními jedno frekvenčními bipedními zařízeními a končícími špičkovým zařízením využívající více frekvenčních tepolárních elektrod. Je proto důležité vědět, která hodnota je důležitá a podle toho vybrat správný přístroj (Hlubik J., Hlubik P., & Lhotska,2010).

Pro obezitu platí, že neodkazuje k nadměrné telěsné hmotnosti, ale vztahuje se na stav, v němž má jedinec nadměrné množství tělesného tuku. Obezita se vyznačuje indexem tělesné hmotnosti (BMI) $> 30\text{kg/m}^2$ a zvýšením tělesného tuku. Měření pomocí impedance je jednou z metod jak sledovat množství tuku v těle. Impedance závisí na složení těla, tj. na množství vody v jednotlivých tkáních (Hlubik J., Hlubik P., & Lhotska,2010). Je tedy důležité sledovat a v případných studiích zaměřených na měření BIA zmínit, jaké bylo užito frekvence k měření a jaká byla úroveň dehydratace vyšetřovaných subjektů (Hlubik J., Hlubik P., & Lhotska,2010).

2. 5. 1 Standardizace měření metody BIA

Abychom získali co nejpřesnější výsledky pomocí bioelektrické impedance je podle Kopeckého et al. (2013) zapotřebí dodržovat několik základních zásad:

Měření by se neměly účastnit:

- ženy v raných stádiích těhotenství, v období premenstruace a menstruace
- osoby s pace markerem
- pacienti užívající léky mající vliv na hydrataci organismu
- lidé s implantáty jako například kardiostimulátor nebo kyčelní protéza

Dále je nutné:

- nekonzumovat jídlo a pití 4-5 hodin před testem
- 12 hodin před měřením necvičit
- 24 hodin před vyšetřením nepožívat alkohol
- přijít s prázdným močovým měchýřem a poté organismus zavodnit neslazenou vodou
- přesné umístění elektrod a běžná teplota v místnost (Biospace.cz)

Testovaný subjekt musí v závislosti na typu přístroje buď ležet v poloze na zádech, v klidu a s roztaženými dolními i horními končetinami nebo stát ve vzpřímené poloze, přičemž se jednotlivé části těla nesmí dotýkat. Špatné umístění elektrod ± 2 cm od optimální polohy u ležícího pacienta, či špatné postavení na váze a nesprávné uchopení madel, představuje chybu ± 4 % v kvalitě impedance a ve výsledném množství tělesného tuku je rozdíl menší než 5 % podkožního tuku Kopecký, Cymek, Matejovičová, & Charamza, 2013).

2. 6 Základní vlastnosti měřících metod

2. 6. 1 Souběžná validita

Vzhledem k tomu, že hlavním cílem této bakalářské práce je výzkum objektivitu měření bioelektrické impedance, v našem případě konkrétně přístroje InBody230, zmíníme se o validitě a reliabilitě měření touto metodou.

Souběžnou validitou rozumíme korelaci výsledků mezi výsledky konkrétního měření a kritériem, které představuje jiná metoda měření, aplikovaná ve stejném časovém horizontu čase (Thomas, Nelson, & Silverman, 2005).

Studii validity měření pomocí bioelektrické impedance provedl McRae (2010), ve které srovnával výsledky naměřené bioimpedančním přístrojem oproti metodě kaliperací. K měření byl použit kaliper Lange a měřily se řasy na bicepsu, tricepsu, pod lopatkou a v pasu. Pro bioimpedanční metodu byl vybrán přístroj Tanita Corp. Výsledné měření tělesného tuku ukázalo, že kaliperem bylo u sedmdesáti jedna mužů odhadem naměřeno 20,7 % tělesného tuku ($\pm 4,8$ %) a Tanita Corp naměřila 20,4 % ($\pm 5,5$ %). Personův korelační koeficient pak činil 0,7 %. Jedním z důvodů rozdílných hodnot, které byly naměřeny je skutečnost, že kaliper měří tloušťku tuku v podkoží, zatímco bioimpedanční přístroje i tuk viscerální (Čuta, & Bařicová, 2016).

Čuta a Bařicová (2016) provedli studii, ve které porovnávaly výsledky měření složení těla za pomoci kaliperu BEST a tří bioimpedančních přístrojů – InBody 230, osobní váha Tanita BC – 245 a BodyStat 1500 MDD. Výsledky ukázaly, že metoda měření kožních řas ukazuje statisticky významně nižší procento tělesného tuku než ostatní přístroje využívající metodu bioelektrické impedance, a naopak Tanita naměřila hodnoty vyšší oproti ostatním přístrojům i kaliperu.

Hlubik J., Hlubik P., & Lhotska (2010) porovnávali přístroj InBody 720 a Tanita MC-180 MA, kde jejich cílem bylo kromě porovnání výsledků naměřených pomocí těchto přístrojů také posoudit vliv hydratace a použité měřicí frekvence na naměřené hodnoty.

První měření zaměřené na zjištění vlivu hydratace těla bylo provedeno na patnácti členné skupině, která obdržela 1,3 litru vody. Měření se provedlo před napitím, čtyřicet minut po napití, poté o třicet minut později a naposledy před odchodem na toaletu.

Ve druhém experimentu stejně početná skupina byla testována na přístrojích InBody 720 a Tanita MC-180 MA za použití frekvencí, které mají oba přístroje společné, a to 5 kHz, 50 kHz, 250 kHz a 500 kHz.

Dále byly změřeny osoby s hodnotou BMI větší než 35 kg/m^2 , na obou přístrojích, kvůli předpokladu, že přístroje využívají každý jinou regresivní rovnici pro určení extrémního stavu tělesného složení.

Výsledky studie ukázali že konzumace 1,3 l vody nemá příliš velký význam, i když závisí na subjektu, na kterém je měření prováděno, přičemž pokud využíváme podobná zařízení, výsledky jsou srovnatelné.

Naopak použití rozdílných frekvencí mělo na výsledky významný vliv. Je však zapotřebí dalších studií pro posouzení, která frekvence je nejlepší.

Co se týče výsledků na měřených na obézních jedincích, výsledky obou přístrojů se příliš nelišily.

2. 6. 2 Reliabilita měření

Jedním z důležitých kritérií pro hodnocení testu je jeho spolehlivost nebo také reliabilita, která poukazuje na přesnost měření, popřípadě na velikost chyby. Pokud tedy provedeme dva testy na jedné osobě, za stejných podmínek ale například v jiných dnech a dosáhneme velmi podobných výsledků, můžeme test považovat za spolehlivý (Hopkins, 2000).

Přesnost měření BIA ovlivňuje řada faktorů, jakými jsou například měřicí přístroj, testovaný subjekt a jeho vlastnosti, znalosti testujícího, prostředí a predikční regresivní rovnice, kterou výrobce použil k odhadu FFM (fat free mass – tukuprostá hmota) (Heyward & Wagner, 2004).

Hopkins (2000) uvádí, že vhodným korelačním koeficientem je ICC (intra class correlation coefficient), který je určen analýzou rozptylu. Za vhodnější však považuje typickou chybu měření (TE), od které oddělujeme změny v průměrných opakovaných měřeních, jenž poukazují na systematickou chybu měření. Thomas et al. (2005) mluví i o mezitřídním korelačním koeficientu r (inter class correlation) nebo také jinak známý jako Paersonův korelační koeficient, jenž ukazuje korelaci dvou odlišných proměnných, a proto není příliš používán pro stanovení reliability.

Co se týče samotné metody BIA, její reliabilita dosáhla dobrých výsledků. Výsledky zkoumání ukazují, že variační koeficient pro opakované měření těla, respektive jeho resistance v rámci jednodenních odhadů se pohybuje okolo 1 - 2 % a okolo 2 – 3,5 % pro měření rozdělené do více dní, přičemž byla zkoumána i reliabilita v jednom dni, ve více dnech a objektivita měření mezi různými přístroji, kde se hodnota pohybovala okolo $r > 97$. Jejich variační koeficient byl v jednom dni 0,4 – 1,5 % a 1,0 – 3,6 % ve více dnech.

Pokud mluvíme o FFM, odhad teoretické chyby činí asi 1,8 kg pokud je referenční metoda bez chyby. Podíl z celkové chybovosti metody BIA, může být přisuzován chybě v referenční metodě a proto platí, že standartní chyba měření (SEE) $\leq 3,5$ kg pro muže a $\leq 2,8$ kg pro ženy je považována za přijatelnou (Heyward & Wagner, 2004).

Objektivita měření je typem reliability, který udává, zda jsou výsledky naměřené v jiné laboratoři, jiným měřicím přístrojem, popřípadě jinou osobou opakovatelné. Je to shoda mezi výsledky měření stejných veličin v různých laboratořích, odlišných přístrojích nebo jinými osobami (Thomas, Nelson, & Silverman, 2005).

3 CÍLE

Hlavním cílem bakalářské práce je zhodnocení objektivity měření tělesného složení metodou bioelektrické impedance v závislosti na hydrataci organismu.

Dílčí cíle:

1. Zjistit, zda míra hydratace statisticky významně ovlivní výsledky množství tělesného tuku měřeného pomocí bioimpedance a pomocí kaliperace
2. Zjistit, zda míra hydratace ovlivní výsledky množství tukuprosté hmoty měřené pomocí bioimpedance

4 METODIKA

Měření probíhala za standardních podmínek fyziologické laboratoře – tedy ve stejném časovém období (v ranních hodinách mezi osmou a devátou hodinou) a v klimaticky stejném prostředí (klimatizované prostředí, teplota 21 – 22 °C, relativní vlhkost 50 %)

Na prvním termínu měření jsme měřili tělesné složení za stavu dehydratace, které bylo dosaženo limitovaným pitným režimem. Testovaní studenti byli poučeni, aby dva dny před testem nevypli více než 1 litr tekutin, a ne více jak 200 ml ráno před testem. Zda je člověk dehydratován jsme hodnotili podle specifické hustoty moči.

Po kontrole stavu dehydratace se testovaný subjekt svlékl do spodního prádla a přesunul na přístroj InBody 230, kde byla provedena analýza tělesného složení. Na konec bylo provedeno měření kožních řas pomocí kaliperačních kleští.

O týden později proběhlo druhé měření, na kterém byli testovaní ve stavu euhydratace, dosažené díky většímu příjmu tekutin. V tomto případě byli probandi poučeni, aby dva dny před testováním vypili minimálně 4 litry tekutin denně, a ne více jak ½ litru ráno před měřením. Stejně jako při prvním měření bylo nejprve ověřeno, zda proband dosáhl stavu euhydratace (dle specifické hustoty moči) a pak měřeno složení těla pomocí bioimpedance a množství tělesného tuku kaliperací.

4.1 Výzkumný soubor

Výzkumný vzorek tvořilo 22 mužů (věk $22,272 \pm 1,906$ let) Většina subjektů byli studenti Fakulty tělesné kultury Univerzity Palackého v Olomouci a každý ze subjektů provozoval pravidelně pohybovou aktivitu (minimálně 4x týdně 60 minut).

4. 2 Použité antropologické metody

Hlavní použitou metodou, která je i předmětem zkoumání naší bakalářské práce bylo hodnocení tělesného složení pomocí přístroje InBody 230 (Biospace Co., Ltd., Soul, Korea). Výzkumný vzorek byl poučen o podmínkách měření, aby bylo dosaženo co nejpřesnějších výsledků.

- Dodržet stanovený příjem tekutin, aby bylo dosaženo stavu dehydratace/euhydratace
- Neprovazovat žádnou fyzicky náročnou pohybovou aktivitu jeden den před měřením
- Nekonzumovat alkohol jeden den před měřením

InBody 230 (obrázek č. 3) je přístroj na měření tělesného složení, pracující metodou přímé analýzy segmentové multi-frekvenční bioelektrické impedance, která je velmi přesná, jelikož neměří tělo jako komplex, ale rozděluje tělo na pět segmentů – pravá a levá paže, pravá a levá noha a trup.



Obrázek 3. In Body 230 (upraveno dle <http://www.nutripraktik.cz/inbody-230-analyza-tela>)

Získané parametry:

- Hmotnost
- Svalová hmota v kg
- Tuková hmota v kg a v % (PBF)
- Celkovou tělesnou vodu v kg (TBW)
- Netukovou hmotu (FFM)
- Body mass index (BMI)

Druhá antropologická metoda, kterou jsme použili bylo měření kožních řas pomocí kaliperačních kleští BEST II K-501, kde byl k výsledku použit součet deseti kožních řas. Tloušťka kožních řas byla zjišťována na pravé straně těla. Pro odhad zastoupení tělesného tuku dle Pařízkové je měřeno deset kožních řas, na jejichž základě je s použitím regresní rovnice kalkulováno procentuální zastoupení tukové složky (Pařízková, 1962).

4.3 Měření hydratace organismu

Hodnocení stavu hydratace bylo prováděno kategorizací specifické hustoty moči (SpHM). Probandi obdrželi sterilní zkumavky pro záchyt moči a byli poučeni o správné technice odběru středního proudu moči. Jednotlivé vzorky byly vyhodnoceny pomocí manuálního refraktometru (ATAGO SUR-NE, Tokyo, Japan) erudovaným laborantem. Před každým měřením byla prováděna kalibrace přístroje destilovanou vodou. Hodnoty SpHM $\leq 1,020$ byly klasifikovány jako stav euhydratace a hodnoty $> 1,020$ jako stav dehydratace (Kavouras, 2002; Sawka et al., 2007). Hodnota SpHM je vztažená na hustotu vody a je tedy udána bezrozměrným číslem.

4.4 Statistické zpracování dat

Pro každý sledovaný parametr byly vypočteny základní statistické veličiny (aritmetický průměr, směrodatná odchylka, medián, minimální a maximální hodnota). Pro posouzení rozdílů mezi prvním a druhým měřením byl použit Wilcoxonův párový test. Pro hodnocení korelace sledovaných parametrů byla použita Spearmanova korelační analýza. Hladinu významnosti α jsme stanovili u všech testů na úrovni 0,05. Ke statistickému zpracování byl použit počítačový program firmy StatSoft ČR s. r. o. STATISTICA (softwarový systém pro analýzu dat), verze 12.0.

5 VÝSLEDKY

V tabulce 2 jsou zapsány základní statistické charakteristiky vybraných parametrů během prvního a druhého termínu měření

Tabulka 2. Základní statistické charakteristiky vybraných parametrů za stavu dehydratace (první měření) a euhydratace (druhé měření)

N = 22	Průměr	Směrodatná odchylka	Medián	Minimum	Maximum
Věk (roky)	22,272	1,906	22,000	20,000	26,000
Výška (cm)	176,545	5,492	176,000	164,000	185,000
Hmotnost 1	74,581	9,647	74,500	55,200	89,500
Hmotnost 2 (kg)	75,686	9,669	76,800	55,900	91,800
BMI 1	23,881	2,467	23,800	18,400	29,600
BMI 2 (kg/m ²)	24,259	2,458	24,550	18,700	29,400

SpHM 1	1,030	0,004	1,030	1,022	1,035
SpHM 2	1,011	0,005	1,012	1,002	1,019

Vysvětlivky:

- *SpHM 1 – specifická hustota moči při prvním termínu měření (stav dehydratace)*
- *SpHM 2 – specifická hustota moči při druhém termínu měření (stav euhydratace)*

Výzkumný soubor tvořilo 22 mužů ve věku 20–26 let. Průměrná hodnota BMI se nacházela v pásmu normální hmotnosti (23,88 kg/m² za stavu dehydratace a 24,26 kg/m² za stavu euhydratace).

Při prvním měření za stavu dehydratace se specifická hustota moči pohybovala v rozmezí 1,022 – 1,035 přičemž průměrná hodnota byla 1,030, což je stav popisovaný jako stav těžké dehydratace. Všichni probandi splňovali stanovené kritérium pro dehydrataci – SpHM ≥ 1,020.

Za stavu euhydratace se specifická hustota moči pohybovala mezi hodnotami 1,002 – 1,019 s průměrnou hodnotou 1,011, přičemž bylo splněno stanovené kritérium pro stav euhydratace – SpHM < 1,020.

5.1 Hodnocení vybraných parametrů

Tabulka 3 Základní statistické údaje vybraných parametrů naměřené refraktorem, přístrojem InBody 230 a kaliperem BEST II K-501 u dehydratovaných jedinců

	Průměr	Směrodatná odchylka	Medián	Minimum	Maximum
Moč	1,030	0,003	1,030	1,022	1,035
Svalová tkáň (kg)	37,727	5,140	37,000	27,500	48,200
Tuková tkáň (kg)	8,813	3,953	8,250	3,700	22,700
% tuku BIA	11,681	4,343	11,150	5,200	26,000

ICW (kg)	30,459	3,946	29,900	22,600	38,500
ECW (kg)	17,718	2,205	17,600	13,300	21,800
TBW (kg)	48,177	6,134	47,350	35,900	60,300
Kosterní svalstvo (kg)	62,136	7,952	61,050	46,200	78,000
Netuková hmota (kg)	65,768	8,421	64,700	49,000	82,500
% tuku kaliper	10,254	3,497	9,500	5,400	20,400
Suma kaliper (mm)	62,909	20,987	56,500	41,000	135,000

Vysvětlivky:

- *Suma kaliper: součet deseti kožních řas*
- *ICW: intracelulární tekutina*
- *ECW: extracelulární tekutina*
- *TBW: celková tělesná voda*

Tabulka 4. Základní statistické údaje vybraných parametrů naměřené refraktorem, přístrojem InBody 230 a kaliperem BEST II K-501 u jedinců s euhydratací

	Průměr	Směrodatná odchylka	Medián	Minimum	Maximum
Moč	1,010	0,004	1,012	1,002	1,019
Svalová tkáň (kg)	38,354	5,301	37,250	28,300	50,100
Tuková tkáň (kg)	8,886	3,696	7,950	4,900	21,200
% tuku BIA	11,627	4,085	10,500	6,500	24,400
ICW (kg)	30,954	4,067	30,100	23,300	40,000

ECW (kg)	17,977	2,249	17,900	13,700	22,600
TBW (kg)	48,931	6,301	48,000	37,000	62,600
Kosterní svalstvo (kg)	63,104	8,158	61,800	47,600	80,900
Netuková hmota (kg)	66,800	8,657	65,550	50,400	85,500
% tuku kaliper	10,072	3,325	9,400	6,000	20,000
Suma kaliper (mm)	61,500	19,561	56,000	43,000	130,000

Vysvětlivky:

- *Suma kaliper: součet deseti kožních řas*
- *ICW: intracelulární tekutina*
- *ECW: extracelulární tekutina*
- *TBW: celková tělesná voda*

Tabulky 3 a 4 ukazují, že za stavu euhydratace došlo ke zvýšení celkové tělesné vody (o 0,755 kg), intracelulární tekutiny (0,496 kg) a extracelulární tekutiny (o 0,259 kg). Zároveň došlo k nárůstu hodnot celkové tělesné hmotnosti o 1,105 kg, body mass indexu (o 0,378 kg/m²), svalové hmoty (o 0,628 kg), kosterního svalstva (o 0,969 kg) a netukové hmoty (o 1,032 kg)

Tabulka 5. Rozdíly v naměřených hodnotách za stavu dehydratace (1) a za stavu euhydratace (2)

N = 22	Medián	Z	p-hodnota	Průměrný rozdíl
Hmotnost 1	74,500	3,425	0,001	1,105 kg
Hmotnost 2 (kg)	76,800			
BMI 1	23,800	3,328	0,001	0,378 kg/m ²
BMI 2 (kg/m ²)	24,550			
Přístroj InBody 230				
Svalová tkáň 1	37,000	2,989	0,003	0,628 kg
Svalová tkáň 2 (kg)	37,250			

Tuková tkáň 1	8,250			
Tuková tkáň 2 (kg)	7,950	0,330	0,741	0,072 kg
Tuková tkáň 1	11,150			
Tuková tkáň 2 (%)	10,500	0,146	0,884	- 0,055 %
ICW 1	29,900			
ICW 2 (kg)	30,100	2,987	0,003	0,496 kg
ECW 1	17,600			
ECW 2 (kg)	17,900	3,068	0,002	0,259 kg
TBW 1	47,350			
TBW 2 (kg)	48,000	3,052	0,002	0,755 kg
Skeletal LM 1	61,050			
Skeletal LM 2 (kg)	61,800	3,007	0,003	0,969 kg
FFM 1	64,700			
FFM (kg)	65,550	2,971	0,003	1,032 kg
Kaliper BEST II K-501				
Tuková tkáň kaliper 1	9,500			
Tuková tkáň kaliper 2 (%)	9,400	1,681	0,093	- 0,182 %
Suma kaliper 1	56,500			
Suma kaliper 2	56,000	2,199	0,028	- 1,409

Vysvětlivky:

- *BMI: Body mass index*
- *Suma kaliper: součet deseti kožních řas*
- *ICW: intracelulární tekutina*
- *ECW: extracelulární tekutina*
- *TBW: celková tělesná voda*
- *Skeletal LM – Kosterní svalstvo*
- *FFM: Netuková hmota*

Wicoxonův párový test ukazuje statisticky významný rozdíl u hodnot, kde $p < 0,0500$.

Z naměřených údajů můžeme vidět, že významné rozdíly byly zjištěny u hmotnosti, kde za stavu euhydratace vzrostla průměrná hmotnost o 1,105 kg a rovněž body mass index zaznamenal nárůst, a to průměrně o $0,378 \text{ kg/m}^2$.

Přístroj InBody 230 za stavu euhydratace naměřil větší podíl tělesných tekutin než za stavu dehydratace, intracelulární tekutina se zvýšila v průměru o 0,496 kg, extracelulární tekutina o 0,259 kg, což nám celkově zvyšuje celkovou tělesnou tekutinu o 0,755 kg.

Dále InBody 230 ukázalo, že za stavu euhydratace vzrostl podíl svalové hmoty o statisticky významnou hodnotu 0,628 kg. Tuková hmota za stavu euhydratace vzrostla o 0,072 kg, ovšem Wilcoxonův párový test tento rozdíl vyhodnotil jako statisticky nevýznamný. Statistické zpracování dat potvrdilo, že za stavu dehydratace i euhydratace byly hodnoty množství tuku srovnatelné, a to při použití metodiky BIA i kaliperace. Stav zavodnění tedy neměl vliv na množství tukové tkáně

Stav zavodnění měl vliv na hodnoty netukové tkáně, kdy ve stavu euhydratace byly zjištěny rozdíly v hodnotách kosterního svalstva o 0,969 kg a netukové hmoty o 1,032 kg.

statistické zpracování změn tukové tkáně hodnocených dle kaliperace prokázalo nevýznamné změny při měření za stavu euhydratace a dehydratace.

Zpracování dat tedy prokázalo, že množství tukové tkáně za stavu euhydratace a dehydratace bylo srovnatelné při použití metody BIA i kaliperace. Na tyto dvě vybrané metody hodnocení tukové tkáně neměl stav zavodnění vliv.

Tabulka 6. Korelace rozdílů vybraných hodnot za stavu dehydratace a euhydratace naměřených bioelektrickou impedancí

N=22	% tuku BIA_R	Kg tuku BIA_R	Svalová tkáň (kg)_R	Skeletal LM_R	FFM_R
Hmotnost_R	0,1465 p = 0,515	0,2313 p = 0,300	0,6245 p = 0,002	0,6374 p = 0,001	0,6570 p = 0,001
ICW_R	-0,6656 p = 0,001	-0,6051 p = 0,003	0,9957 p < 0,001	0,9911 p < 0,001	0,9897 p < 0,001

ECW_R	-0,5781 p = 0,005	-0,5232 p = 0,012	0,9201 p < 0,001	0,9511 p < 0,001	0,9510 p < 0,001
TBW_R	-0,6459 p = 0,001	-0,5863 p = 0,004	0,9882 p < 0,001	0,9976 p < 0,001	0,9967 p < 0,001

Vysvětlivky:

- *p* – míra statistické signifikace (korelace jsou významné u hodnot $p < 0,0500$)
- *Hmotnost_R* – rozdíl hodnot hmotnosti za stavu dehydratace a euhydratace
- *ICW_R*: rozdíl hodnot intracelulární tekutiny za stavu dehydratace a euhydratace
- *ECW*: rozdíl hodnot extracelulární tekutiny za stavu dehydratace a euhydratace
- *TBW*: rozdíl hodnot celkové tělesné vody za stavu dehydratace a euhydratace
- *Skeletal LM* – rozdíl hodnot kosterního svalstva za stavu dehydratace a euhydratace
- *FFM*: rozdíl hodnot netukové hmoty za stavu dehydratace a euhydratace
- *% tuku BIA_R* – rozdíl hodnot procent tuku naměřených za stavu dehydratace a euhydratace
- *Kg tuku BIA_R* – rozdíl hodnot kilogramů tuku naměřených za stavu dehydratace a euhydratace
- *Svalová tkáň (kg)_R* – rozdíl hodnota svalové tkáně v kilogramech za stavu dehydratace a euhydratace

Tabulka 6 ukazuje, že rozdíly intracelulární, extracelulární a celková tělesná voda neměly významný vliv na hodnoty tělesného tuku, naměřeného na přístroji InBody 230. Lze však říci, že vyšší hodnoty tekutin za stavu euhydratace zvyšovaly hodnoty svalové tkáně, kosterního svalstva a netukové hmoty. Jak bylo uvedeno v přehledu poznatků, voda (obsažená v netukové hmotě a svalstvu) zvyšuje odpor elektrických impulsů přístrojů využívajících metody měření bioelektrické impedance. Bylo zjištěno, že ztráta tělesné tekutiny (při dehydrataci) negativně korelovala se ztrátou tělesného tuku, a naopak pozitivně korelovala s tukuprostou hmotou.

6 DISKUZE

Cílem bakalářské práce bylo určit objektivitu měření složení lidského těla v závislosti na stavu hydratace pomocí bioelektrické impedance. Měření probíhalo na přístroji InBody 230 (Biospace Co., Ltd., Soul, Korea) a dále jsme využili kaliperačních kleští typu BEST II K-501, kterými jsme ověřovali množství tělesného tuku. Jedná se o přístroje jejichž ovládání a práce s nimi jsou nenáročné, poskytují výsledky okamžitě a zjištěné údaje můžeme aplikovat do praxe, ať už sportovní či například výživové. Zda je měření analýzy těla metodou bioelektrické impedance spolehlivé je často diskutovaným problémem, méně se však mluví o objektivitě tohoto měření.

Hlavní roli při analýze složení lidského těla v závislosti na objektivitě měření hrají závislé proměnné jako je tělesná hmotnost, celkové množství tělesného tuku a celkové množství tělesné vody, přičemž nejčastěji monitorovanou proměnnou je změna celkového množství tělesného tuku (Bunc, 2006)

Vliv hydratace organismu byl stěžejním bodem pro interpretaci výsledků naší práce, přičemž jsme předpokládali, že stav dehydratace bude významně zkreslovat údaje o množství tělesného tuku, respektive výsledky naměřené za stavu dehydratace budou ukazovat vyšší hodnoty tělesného tuku než za stavu euhydratace. Rovněž jsme předpokládali, že stav dehydratace kromě množství tělesného tuku, významně zkreslí hodnoty tkání s vyšším obsahem vody (netuková hmota a kosterní svalstvo).

Jednou ze studií, která se zabývala vlivem hydratace organismu, byla práce, kterou zpracovali Hlubik J., Hlubik P., & Lhotska (2010), kde porovnávali přístroj InBody 720 a Tanita MC-180 MA a vliv hydratace organismu na výsledky měření. Měření zaměřené na zjištění vlivu hydratace těla bylo provedeno na patnácti členné skupině, která obdržela 1,3 litru vody. Měření se provedlo před napitím, čtyřicet minut po nabití, poté o třicet minut později a naposledy před odchodem na toaletu. Výsledky studie ukázaly že konzumace 1,3 l vody nemá příliš velký význam na výsledky měření a výsledky naměřené na obou přístrojích jsou srovnatelné.

Limity práce

Pro dosažení lepších výsledků by bylo vhodné zkoumat větší vzorek testovaných, a to nejen mužů, ale i žen a jejich výsledky porovnat. Náš výzkumný soubor tvořili pouze muži, sportovci, ve většině případů s vysportovanou postavou s nízkým zastoupením tělesného tuku, tedy skupina výrazně homogenní. Dále se nabízí možnost zkoumat vliv hydratace organismu i na dalších přístrojích využívající metodu bioelektrické impedance vzhledem k tomu, že podle různých výzkumů, které byly například zmíněny v přehledu poznatků, využívá každý přístroj jiné regresivní rovnice a výsledky některých přístrojů se výrazně liší.

7 ZÁVĚR

Z naměřených údajů vyplívá, že za stavu dehydratace nebyly zjištěny statisticky významně odlišné hodnoty tělesného tuku (jak v kilogramech, tak v procentech) než za stavu euhydratace. Wilcoxonův párový test neukázal statisticky významný rozdíl a lze tedy říci, že u testovaných lidí neměl stav hydratace organismu vliv na výsledky naměřeného tělesného tuku, a to ani přesto, že v rámci prvního měření se úroveň dehydratace pohybovala v hodnotách popisovaných jako stav těžké dehydratace. Rovněž nebyl prokázán statisticky významný rozdíl v procentu tělesného tuku měřeného kaliperací za stavu euhydratace a dehydratace. Při použití obou metod (BIA a kaliperace) neměl tedy stav hydratace vliv na zjištěné hodnoty tukové tkáně. Na co však úroveň hydratace vliv měla, a to statisticky

významný, byla netuková hmota. Netuková hmota a kosterní svalstvo měly v průměru vyšší hodnoty za stavu euhydratace. Jak už bylo zmíněno v syntéze poznatků, tukuprostá hmota je bohatá na vodu a elektrolyty a je tak dobrým vodičem pro elektrické impulzy bioelektrické impedance. Za stavu dehydratace kleslo množství vody a tím i vodivost tělesného komponentu, výsledky tak ukázaly menší hodnoty.

Z naměřených údajů, které jsme získali sice můžeme říci, že stav hydratace organismu neměl výrazný vliv na výsledky měření tukové tkáně, ale byl zjištěn významný rozdíl netukové tkáně mezi stavem dehydratace a euhydratace.

Výzkumný vzorek tvořilo dvacet dva mužů, vykonávající pravidelně pohybovou aktivitu (min. 4x týdně 60 min.). Výzkum by dosáhl kvalitnějších výsledků, pokud by měření proběhlo na větším vzorku osob, různých somatotypů, u obou pohlaví, abychom měli k závěrům a vyhodnocení objektivitu měření bioelektrické impedance více podkladů.

8 SOUHRN

Bakalářská práce se zabývala objektivitou měření metody bioelektrické impedance v závislosti na stavu hydratace organismu. Výzkumný vzorek tvořilo 22 mužů ve věku 20–24 let vykonávající aktivně (min. čtyřikrát týdně po dobu 60 minut) pohybovou aktivitu. Testované subjekty jsme změřili na přístroji InBody 230 a kaliperačních kleštích BEST II K-501 a to ve dvou termínech. Probandi byli poučeni a informováni o podmínkách měření a o pitném režimu, kterým byl důležitý pro výsledky měření.

V syntéze poznatků jsou popsány základní pojmy vztahující se k danému tématu. Jsou zde uvedeny modely tělesného složení, zvláštní pozornost je pak věnována roli vody

v organismu. Rovněž jsou zde uvedeny metody měření složení lidského těla, kde se především zaměřuji na metodu bioelektrické impedance.

V části metodiky pak blíže popisují přístroj InBody 230, který sloužil jako nástroj k měření probandů, využívající metody měření bioelektrické impedance.

Obě měření probíhala za stejných podmínek, tedy ve stejném denním čase a ve stejné laboratoři ovšem s rozdílnými stavy hydratace organismu. Během prvního měření jsme zkoumali složení lidského těla za stavu dehydratace a o týden později za stavu euhydratace. Úroveň stavu hydratace organismu jsme hodnotili za pomoci refraktometru a specifické hodnoty moči. Probandi byli po vyhodnocení úrovně hydratace organismu změřeni na přístroji InBody 230 a poté kaliperem BEST II K-501. Z naměřených výsledků jsme pomocí statistických metod (Wilcoxonův párový test, korelace,...) zjistily, jaký vliv má stav hydratace organismu na tukovou a netukovou tkáň.

Wilcoxonův párový test ukázal, že není statisticky významný rozdíl mezi hodnotou tukové tkáně za stavu dehydratace a euhydratace. Přestože došlo k mírným změnám a hodnota tukové tkáně za stavu euhydratace klesla, nešlo o statisticky významnou změnu.

Naopak byl prokázán významný rozdíl v úrovních netukové hmoty a kosterního svalstva, kde za stavu euhydratace byla úroveň tukuprosté hmoty větší, což je dáno vyšším množstvím vody v tukuprosté hmotě, která slouží jako výborný vodič pro elektrické impulzy, které bioelektrická impedance využívá.

Metoda kaliperačních kleští naopak neukázala žádné významné změny, protože stav hydratace organismu nemá u této metody měření vliv, jelikož kaliper měří pouze kožní řasu bez ohledu na stav vody v organismu.

Pokud porovnáme metodu bioelektrické impedance s metodou měření kaliperačních kleští tak v průměru nižší hodnoty tukové tkáně u obou měření ukazoval kaliper BEST. Jak bylo uvedeno v syntéze poznatků, přístroje využívající metodu měření bioelektrické impedance měří pomocí elektrických impulsů procházející skrze tkáň, kde voda hraje důležitý faktor jako vodič. Stav dehydratace tak zkreslil výsledky měření bioelektrické impedance.

Na základě těchto výsledků můžeme říci, že přístroj InBody 230, respektive metoda bioelektrické impedance je při měření tukové tkáně spolehlivou metodou měření a vliv hydratace organismu nemá na výsledky měření vliv. Významný vliv měla však na hodnoty netukové tkáně. Je však třeba brát v úvahu, že výzkumný vzorek nebyl příliš početný a jednalo se o homogenní skupinu. Navíc, jak už bylo uvedeno v syntéze poznatků, různé přístroje využívající metodu bioelektrické impedance využívají různé regresivní rovnice pro dosažení výsledků měření.

9 SUMMARY

The bachelor thesis deals with the objective of measuring composition of the human body by the bioelectric impedance method depending on the hydration of organism. The research group consisted of 22 men aged 20-24 years who performed physical activity (at least four times a week for 60 minutes). The test subjects were measured on the InBody 230 and the BEST II K-501 caliper in two terms. Test group was instructed and informed about the measurement and drinking conditions that were important for the measurement results.

In the synthesis of the knowledge are described the basic concepts related to the given topic. There are presented models of body composition, special attention is paid to the role of

water in the body. There are also methods of measuring the composition of the human body, where I focus mainly on the bioelectric impedance method.

In the part of the methodology, I describe in detail the InBody 230, which was used as a measuring instrument using bioelectric impedance measurement methods.

Both measurements were carried out under the same conditions, at the same time of day and in the same laboratory, but with different hydration of the organism. During the first measurement, we examined the composition of the human body in the state of dehydration and a week later in the state of euhydration. The level of hydration status of the organism was evaluated using a refractometer and urine specific values. Test group was measured on the InBody 230 instrument and then with the BEST II K-501 caliper after evaluation of the level of hydration of the organism. Based on the statistical methods (Wilcoxon's pair test, correlation, ...), we have determined the effect of the hydration status of the organism on the fat and fat free mass.

The Wilcoxon pair test showed that there were no statistically significant differences between the fat tissue value under dehydration and euhydration. Although there were slight changes and the value of fat tissue decreased in the state of euhydration, it was not a statistically significant change.

On the other hand, there were a significant difference in the levels of lean mass and skeletal muscle, where the level of fat free mass was higher in the state of euhydration, which is due to the higher amount of water in the fat free mass, which serves as an excellent conductor for the electrical impulses used by the bioelectric impedance.

However, the caliper method did not show any significant changes since the hydration status of the organism does not influence this measurement method because the caliper measures only skin algae irrespective of the state of water in the body.

Comparing the bioelectric impedance method with the caliper gauge measurement method, the BEST caliper showed an average lower fat tissue value for both measurements. This is precisely because the InBody 230 also measures the body water level, thus distorting the results of adipose tissue values, although, as has been said, statistically insignificant.

All of these results have been entered into the tables, evaluated and we responded to our research goals. Based on these results, we can say that the InBody 230 or bioelectric impedance method is a reliable measurement method for fatty tissue measurements, and the effect of hydration on the body is not significant. However, it should be borne in mind that the research pattern was not too numerous and it was a homogeneous group. Moreover, as

mentioned in the synthesis of the findings, various devices employing the bioelectric impedance method use different regression equations to achieve measurement results.

10 REFERENČNÍ SEZNAM

- Anonymous (n. d.). Retrieved 15. 3. 2011 from the World Wide Web: <http://www.biospace.cz>
- Armstrong, L. (2005). Hydration Assessment techniques. *Nutrition Reviews*, 63(6), 40-54.
- Armstrong, L. E., (2007) Assessing hydration status: the elusive gold standard. *Journal of the American College of Nutrition*, 26 (5)
- Armstrong, L. E., Herrera Soto, J. A., Hacker, F. T. Jr., Casa, D.J., Kavouras, S. A., Maresh, C. M. (1998). Urinary indices during dehydration, exercise, and rehydration. *International journal of sport nutrition*, 8(4)
- Baron, S., Friedlander, G., Courbebaisse, M., & Lepicard, E. (2015). Assessment of hydration status in a large population. *British Journal Of Nutrition*, 113(1), 147-158

- Cleary, M., Hetzler, R., Wasson, D., Wages, J., Stickley, C., & Kimura, I. (2012). Hydration Behaviors Before and After an Educational and Prescribed Hydration Intervention in Adolescent Athletes. *Journal Of Athletic Training*, 47(3), 273-281.
- Čuta, M., & Bařicová, K. (2016). Srovnání metod pro odhad procenturálního zastoupení tuku u mladých žen z Brna a okolí. *Česká Antropologie*, 66(2), 4-9.
- Francesconi, R. P., Hubbard, R. W., Szlyk, P. C., Schnakenberg, D., Carlson, D., Leva, N., & ... Moore, D. (1987). Urinary and hematologic indexes of hypohydration. *Journal of Applied Physiology*, 62(3), 1271.
- Fosbøl, M. Ø., & Zerahn, B. (2015). Contemporary methods of body composition measurement. *Clinical Physiology & Functional Imaging*, 35(2), 81-97.
- Grandjean, A. (2004). *Water Requirements, Impinging Factors, and Recommended Intakes*. World Health Organization. Retrived 15. 4. 2017 from the World Wide Web: http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/nutwaterrequir.pdf
- Grant, M. M., & Kubo, W. M. (1975). Assessing a Patient's Hydration Status. *The American Journal of Nursing*, (8), 1306.
- Haladová, E., & Nechvátalová, L. (2010). *Vyšetřovací metody hybného systému* (Vyd. 3., nezměn.). Brno: Národní centrum ošetrovatelství a nelékařských zdravotnických oborů.
- Heyward, V. H., & Wagner, D. L. (2004). *Applied body composition assessment*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Hlubik, J., Hlubik, P., & Lhotska, L. (2010). Bioimpedance in medicine: Measuring hydration influence. *Journal Of Physics: Convergence Series*, 224(1), 1
- Cheng, M., Chen, Y., Jang, T., Lin, W., Chen, J., & Hsieh, K. (2016). Total body composition estimated by standing – posture 8-electrode bioelectrical impedance analysis in male wrestlers. *Biology Of Sport*, 33(4), 399-405.
- Chevront, S., Ely, B., Kenefick, R., & Sawka, M. (2010). Biological variation and diagnostic accuracy of dehydration assessment markers. *American Journal Of Clinical Nutrition*, 92(3), 565-573.
- Institute of Medicine (U. S., 2005x;) a Panel on dietary reference intakes for electrolytes an water. DRI, *dietary reference intakes for water, potassium, sodium, chloride, and sulfate/ Dietary reference intakes for water, potassium, sodium, chloride, and sulfate*.
- InBody 230, 2017 Retrieved 23.3.2017 from the World Wide Web: <http://www.nutricentrum.cz/diagnostika-inbody.php>

- Klementa, J., Machová, J., Malá, H., & Dostál, P. (1981). *Somatologie a antropologie*. Praha: Státní pedagogické nakladatelství.
- Kopecký, M. (2010). *Somatologie*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci.
- Kopecký, M., Cymek, L., Matejovičová, B., & Charamza, J. (2013). *Základy fyzické antropologie*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci.
- Kudlová, E. (2009). *Hygienu výživy a nutriční epidemiologie*. Praha: Karolinum.
- Kutáč, P. (2014). The effect of intake of water on the final values of body composition parameters in active athletes using two different bioimpedance analyzers. *Acta Gymnica*, 44(2), 107-116.
- Lee, L., Liao, Y., Lu, H., Hsiao, P., Chen, Y., Chi, C., & Hsieh, K. (2017). Validation of two portable bioelectrical impedance analyses for the assessment of body composition in school age children. *Plos ONE*, 12(2), 1-14.
- Logan-Sprenger, H., & Spriet, L. (2013). The acute effects of fluid intake on urine specific gravity and fluid retention in a mildly dehydrated state. *Journal Of Strength And Conditioning Research*, 27(4), 1002-1008.
- Mandelová, L., & Hrnčířiková, I. (2007). *Základy výživy ve sportu*. Brno: Masarykova univerzita.
- Marček, T., Dzurenková, D., Bohuš, B., Gulán, L., Hájková, M., Hostýn, V., Meško, D., & Novotná, E. (2007). *Telovýchovné lékařstvo*. Bratislava: Vydavateľstvo Univerzity Komenského.
- Maresh, C. M., Gabaree-Boulant, C. L., Armstrong, L. E., Judelson, D. A., Hoffman, J. R., Castellani, J. W., & ... Casa, D. J. (2004). Effect of hydration status on thirst, drinking, and related hormonal responses during low-intensity exercise in the heat. *Journal Of Applied Physiology (Bethesda, Md.: 1985)*, 97(1), 39-44.
- McRae, M. (2010). Male and female differences in variability with estimating body fat composition using skinfold calipers. *Journal Of Chiropractic Medicine*, 9(4), 157-161.
- Osterberg, K. L., Horswill, C. A., & Baker, L. B. (2009). Pregame Urine Specific Gravity and Fluid Intake by National Basketball Association Players During Competition. *Journal Of Athletic Training (National Athletic Trainers' Association)*, 44(1), 53-57.
- Riegerová, J., Přidalová, M., & Ulbrichová, M. (1998). *Aplikace fyzické antropologie v tělesné výchově a sportu*. Olomouc: Vydavatelství Univerzity Palackého.
- Riegerová, J., Přidalová, M., & Ulbrichová, M. (2006). *Aplikace fyzické antropologie v tělesné výchově a sportu*. Olomouc: Hanex.
- Rokyta, R. (2016). *Fyziologie* (Třetí, přepracované vydání). Praha: Galén.

- Soukup, V. (2011). *Antropologie: Teorie člověka a kultury*. Praha: Portál.
- Suchý, J. (1975). *Jak se mění člověk: základy vývojové antropologie*. Praha: Státní pedagogické nakladatelství.
- Thomas, J.R., Nelson, J. K., & Silverman, S.J. (2005). *Research methods in physical activity*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Verney, J., Metz, L., Chhaplais, E., Cardenoux, C., Pereira, B., & Thivel, D. (2016). Original Research: Bioelectrical impedance is an accurate method to assess body composition in obese but not severely obese adolescents. *Nutrition Research*, 36663-36670
- Vilikus, Z., Brandejský, P., & Novotný, V. (2004). *Tělovýchovné lékařství*. Praha: Karolinum.
- Weber, A. F., Mihalik, J. P., Register-Mihalik, J. K., Mays, S., Prentice, W. E., & Guskiewicz, K. M. (2013). Dehydration and Performance on Clinical Concussion Measures in Collegiate Wrestlers. *Journal Of Athletic Training (Allen Press)*, 48(2), 153-160.