

Univerzita Karlova v Praze  
Fakulta tělesné výchovy a sportu

## **DISERTAČNÍ PRÁCE**

Mgr. Dominika Petrů

### **Distribuce tukové tkáně u dětí předškolního věku- srovnávací studie.**

Katedra Biomechaniky a Anatomie

Vedoucí disertační práce: Prof. MUDr. Ivan Dylevský, DrSc.

Studijní program: Biomechanika

Studijní forma: kombinovaná

Praha, 2014

Chtěla bych poděkovat především vedoucímu školiteli Prof. MUDr. I. Dylevskému, DrSc., který se mě snažil navést na správný směr vědeckého úmyslu a svému otci Prof. MUDr. L. Pyšnému, CSc., MPH, který mi byl psychickou i odbornou oporou a konzultantem na Katedře tělesné výchovy a sportu Pedagogické fakulty domovské Univerzity Jana Evangelisty Purkyně v Ústí nad Labem.

Dále děkuji kolegovi Mgr. D. Cihláři za pomoc při výběru statistického ošetření dat, Mgr. R. Seifertovi za konzultaci a pomoc při kalibraci techniky v laboratoři Fyziky při PF UJEP v Ústí nad Labem a dalším odborným konzultantům při UK FTVS v Praze, Ing. P. Kubovému, Doc. PaedDr. K. Jelenovi, CSc. a Mgr. M. Musálkovi, PhD.

Prohlašuji, že jsem disertační práci vypracovala samostatně a výhradně s použitím citovaných zdrojů.

Beru na vědomí, že se na práci vztahují práva a povinnosti, vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorského zákona v platném znění, zejména skutečnost, že Karlova Univerzita v Praze má právo na uzavření licenční smlouvy o užití práce jako školního díla v podle § 60 odst. 1 autorského zákona.

V Praze dne 13.6. 2014

.....  
Mgr. Dominika Petřů

### **Abstrakt**

Disertační práce poskytuje podklady o distribuci subkutánní tukové tkáně u dětí v předškolním /5- 6 let, n=141/ a mladším školním věku /8- 9 let, n=137/ v Ústeckém kraji. Popisuje a hodnotí dětské tělo vybranými antropometrickými parametry, kaliperací, bioelektrickou impedanční analýzou /BIA/ a selektivní vzorek /n=31/ ultrasonografií /UZ/. Zjistili jsme zvýšenou distribuci tukové tkáně u staršího souboru s koncentrací v oblasti abdominální a vyšší reliabilitu kaliperační techniky oproti BIA vzhledem k referenčnímu UZ vyšetření.

**Klíčová slova:** subkutánní tuk, kaliperace, bioelektrická impedanční analýza, ultrasonografie

### **Abstract**

The dissertation provides information about the distribution of subcutaneous adipose tissue in preschool-aged /5-6 years, n=141/ and younger school-aged children /8-9 years, n=137/ in the Ústí region. In this review, we describe and evaluate the child's body with anthropometric parameters, skinfold, bioelectrical impedance analysis and selected sample /n=31/ with ultrasonography. We found an increased distribution of adipose tissue in older file with a concentration in the abdominal area and a higher reliability of skinfold than the BIA, considering the ultrasound examination.

**Key words:** subcutaneous fat, skinfold, bioelectrical impedance analysis, ultrasonography

## OBSAH

SEZNAM TABULEK.....	8
SEZNAM OBRÁZKŮ.....	9
ÚVOD.....	11
1 METABOLISMUS.....	14
1.1 Energetické zdroje.....	15
1.1.1 Lipidy.....	16
1.1.2 Sacharidy.....	17
1.1.3 Proteiny.....	18
1.2 Přeměna látek a energií.....	19
1.3 Energetická bilance.....	21
1.4 Doporučený energetický příjem u dětí.....	23
2 TUKOVÁ TKÁŇ.....	25
2.1 Bílá tuková tkáň.....	25
2.2 Hnědá tuková tkáň.....	28
3 DISTRIBUCE TUKOVÉ TKÁNĚ.....	31
3.1 Celková distribuce tuku u dětí.....	31
3.2 Segmentální rozložení tělesného tuku.....	34
4 ELASTO-MECHANICKÉ VLASTNOSTI MĚKKÉ TKÁNĚ.....	37
4.1 Elasto-mechanické vlastnosti více-vrstevnatých modelů.....	40
4.2 Elasto-mechanické vlastnosti subkutánního tuku.....	42
5 METODY HODNOCENÍ TUKOVÉ TKÁNĚ.....	46
5.1 Základní antropometrie.....	46
5.1.1 Kaliperace.....	48
5.1.2 Faktory ovlivňující měření.....	50
5.2 Bioelektrická impedanční analýza.....	50
5.2.1 Princip BIA.....	54
5.2.2 Faktory ovlivňující měření.....	60
5.3 Ultrasonografie.....	64
5.3.1 Princip ultrasonografie.....	71
5.3.2 Faktory ovlivňující měření.....	73

6	CÍLE, VĚDECKÁ OTÁZKA A ÚKOLY PRÁCE.....	74
7	HYPOTÉZY.....	75
8	METODIKA.....	77
	8.1 Specifika výběru souborů.....	77
	8.2 Charakteristika souboru.....	78
	8.3 Charakteristika metod.....	79
	8.3.1 Referenční údaje a základní antropometrie.....	80
	8.3.2 Kaliperace.....	82
	8.3.3 Bioelektrická impedanční analýza.....	83
	8.3.4 Ultrasonografie.....	86
	8.4 Charakteristika šetření, sběru a analýzy dat.....	89
9	VÝSLEDKY.....	90
	9.1 Referenční údaje a základní antropometrie.....	90
	9.2 Kaliperace.....	94
	9.3 Bioelektrická impedanční analýza.....	100
	9.4 Vzájemná závislost sledovaných ukazatelů.....	105
	9.5 Ultrasonografie.....	106
	9.6 Reliabilita vybraných metod.....	109
10	DISKUZE.....	113
11	ZÁVĚRY.....	119
	REFERENCE.....	121
	PŘÍLOHY.....	143

## SEZNAM TABULEK

Tab. 1	Energetický výdej a množství uvolněného tepla při práci u dospělého muže ve vybraných pracovních polohách	15
Tab. 2	Množství energie jednotlivých živin	16
Tab. 3	Výpočet potřebných hodnot energie basálního metabolismu na den	23
Tab. 4	Doporučený energetický příjem dětí	24
Tab. 5	Oblasti výskytu hnědého tuku	30
Tab. 6	Hodnocení celkové distribuce tuku (BMI v kg/m <sup>2</sup> ) pro dívky	32
Tab. 7	Hodnocení celkové distribuce tuku (BMI v kg/m <sup>2</sup> ) pro chlapce	32
Tab. 8	Referenční údaje a tělesné složení u dětí	33
Tab. 9	Množství celkové distribuce tuku u dětí bioelektrickou impedanční analýzou	34
Tab. 10	Kompozitní složení a jejich elastické vlastnosti u měkkých tkání	40
Tab. 11	Vybrané mechanické parametry tukové tkáně	44
Tab. 12	Bioimpedance vybraných tkání při $f= 100$ kHz	56
Tab. 13	Frekvence a příznačná vlnová délka při UZ šetření	66
Tab. 14	Rychlost šíření ultrazvukového vlnění	67
Tab. 15	Přehled vybraných biofyzikálních parametrů	70
Tab. 16	Přehled vybraných lokalit šetření	77
Tab. 17	Vybrané věkové kategorie a četnosti	79
Tab. 18	Výběr hodnocených parametrů a metodik dle věkových kategorií	80
Tab. 19	Referenční údaje a základní antropometrické parametry u dětí předškolního věku	90
Tab. 20	Referenční údaje a základní antropometrické parametry u dětí mladšího školního věku	91
Tab. 21	Hodnoty BMI vlastního šetření ve srovnání s celostátním a světovým standardem	93
Tab. 22	Srovnání vybraných obvodových parametrů s celostátním standardem	93
Tab. 23	Tloušťka vybraných kožních řas hodnocených prostřednictvím kaliperace u předškolních dětí	94
Tab. 24	Tloušťka vybraných kožních řas hodnocených prostřednictvím kaliperace u školních dětí	95
Tab. 25	Srovnání tloušťky kožních řas s celostátním standardem	99
Tab. 26	Srovnání celkového množství tuku dle kaliperace a BIA	101
Tab. 27	Nejvyšší naměřené hodnoty celkového tělesného tuku	104
Tab. 28	Srovnání celkového množství tuku hodnocené BIA	105
Tab. 29	Charakteristiky souboru se zaměřením na hodnocení tělesného tuku	106

Tab. 30	Měření tloušťky subkutánního tuku v abdominální oblasti při tlakovém působení	107
Tab. 31	Přehled vybraných ukazatelů distribuce tuku u selektivního souboru	108
Tab. 32	Proměnné vybraných subjektů mateřské školy pro srovnání hodnot BIA, kaliperace a UZ	109
Tab. 33	Výsledky hodnocení reliability BIA opakovaným měření	110



## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1	Adipocyty bílé tukové tkáně zpevněné retikulinem u bazální Membrány	25
Obr. 2	Kolagenová septa tukové tkáně	27
Obr. 3	Adipocyty hnědé tukové tkáně	28
Obr. 4	Destruktivní a nedestruktivní chování měkké tkáně	38
Obr. 5	Průřezový model kůže	41
Obr. 6	Přehled základních antropometrických bodů	47
Obr. 7	Základní lokality pro snímání tloušťky kožních řas	49
Obr. 8	Tok proudu organickou tkání závislý na frekvenci	53
Obr. 9	Grafické znázornění vztahu proměnných BIA	54
Obr. 10	Elektronický model buňky	55
Obr. 11	Základní principy systému umístění elektrod	57
Obr. 12	Model válce	58
Obr. 13	Vybrané hodnoty lokální impedance [ $\Omega$ ]	60
Obr. 14	Aplikace toku proudu na orientaci svalových vláken	62
Obr. 15	Schematické vyjádření postupu a odrazu ultrazvukového vlnění	69
Obr. 16	Harmonické šíření ultrazvukových vln tkáněmi	72
Obr. 17	Fotodokumentace měření vybraných tělesných obvodů	81
Obr. 18	Kaliper typu Best	82
Obr. 19	Fotodokumentace měření tloušťky kožních řas	83
Obr. 20	Bodystat 1500 MDD	84
Obr. 21	Tetrapolární umístění elektrod	85
Obr. 22	Experimentální konstrukce siloměru	87
Obr. 23	Zobrazení distance epidermis-fascie tricipitální kožní řasy	88
Obr. 24	Vývoj BMI u chlapců	92
Obr. 25	Vývoj BMI u dívek	92
Obr. 26	Vývoj suprailiacální kožní řasy u chlapců	96
Obr. 27	Vývoj suprailiacální kožní řasy u dívek	96
Obr. 28	Vývoj subscapulární kožní řasy u chlapců	97
Obr. 29	Vývoj subscapulární kožní řasy u dívek	97
Obr. 30	Vývoj tricipitální kožní řasy u chlapců	98
Obr. 31	Vývoj tricipitální kožní řasy u dívek	98
Obr. 32	Procentuální množství celkového tělesného tuku u předškolních dětí	102
Obr. 33	Procentuální množství celkového tělesného tuku u dětí mladšího školního věku	103
Obr. 34	Z- transformace vybraných metodik u dětí předškolního věku	111
Obr. 35	Z- transformace vybraných metodik u dětí mladšího školního věku	112

## ÚVOD

Vzhledem k závažnosti problematiky nadváhy a obezity, která se týká především států s rozvinutou tržní ekonomikou, jsme se rozhodli poskytnout materiál o distribuci tukové tkáně se zaměřením na věkovou kategorii předškolních dětí. Nadváha a obezita se dle Světové zdravotnické organizace /World Health Organization, WHO/ rozšiřuje a týká se čím dál častěji mladších věkových skupin. Dokládají to také české antropologické výzkumy. Adipozita se objevuje již v předškolním věku a proto je potřeba přispět k řešení této problematiky a zaměřit se na dostupné metodiky hodnocení. Adipozita u dětí je podmíněna nejen geneticky, ale především nesprávným životním stylem /dietní chyby, hypokinéza, ad./. V některých případech přetrvává do období mladšího, staršího školního věku a dospělosti. Kromě psychického dopadu /sebepojetí, sebevědomí/ má také zdravotní důsledky. Jedinci s nadváhou a obezitou zatěžují především kardiovaskulární systém a pohybový aparát. Odpovědí na vyšší koncentraci tuků ve stravě a v lidském těle mohou být aterosklerotické a metabolické změny, osteoporóza a mnoho dalších onemocnění (Griffin, 2013; Hainer et al., 2011; Prado et al., 2012; Žák et al., 2011). Proto bychom měli klást důraz na včasnou detekci problému a možná preventivní opatření.

Práce vychází z podkladů multidisciplinárního rázu, s důrazem na poznatky z oblastí biomedicíny, biotermodynamiky a biomechaniky. V práci se dle kapitol zaměřujeme na problematiku metabolismu, přeměny látek a energií, charakteristikou tukové tkáně a elasto-mechanických vlastností dle dostupných studií. Práce přibližuje distribuci tukové tkáně u dětí předškolního věku a výsledky ve srovnání s dětmi mladšího školního věku. U skupiny dětí mladšího školního věku působí mnoho faktorů, které mají vliv na celkovou tělesnou morfologii a morfologii jednotlivých segmentů (Bunc, 2005). Dochází k zásadním změnám pohybového režimu během dne, které jsou dány především institucionálně. Organizovaná aktivita během školní docházky zahrnuje pohybovou aktivitu minimálně. Dalším význačným faktorem jsou proporcionální změny podmíněné tělesným růstem a rozvojem svalových skupin (Campos et al., 2012).

Metod, hodnotících morfologické změny a distribuci tuku, je celá řada (Kokaisl, 2011; Preedy, 2012). Základními a uznávanými standardy pro hodnocení růstu a vývoje dětí jsou percentilové grafy, vytvořené na základě Celostátního antropo-

logického výzkumu (Vignerová & Bláha, 2001). Předkládají základní antropometrické charakteristiky dětí /tělesná výška, tělesná hmotnost, výškově-váhový index, tělesné obvody/ a také hodnocení distribuce tuku a odhadu celkového množství prostřednictvím měření tloušťky kožních řas, kaliperace (Kokaisl, 2011; Pařízková, 1977). Poslední dobou se dostávají do popředí novější, vyvíjející se moderní techniky, které jsme se rozhodli využít. Jedná se o bioelektrickou impedanční analýzu /BIA/, která se stala hojně užívaným nástrojem nejen biomedicínského prostředí především k hodnocení procentuálního množství tukové tkáně a tukuprosté hmoty. Odborný materiál poskytuje biofyzikální podklady, informace o principech, instrumentaci a faktorech, které by mohly mít vliv na výsledky bioimpedance. Validitou a reliabilitou BIA se zabývá mnoho autorů, kteří ji vztahují také k referenčním metodám, např. dual-energy rentgenová absorpciometrie /DEXA/ (Aanststad, Holtberget, Hageberg, Holme, & Anderssen, 2014; Vicente-Rodríguez et al., 2012, ad.). Tato metoda je přesná, ale finančně náročná a neposkytuje terénní formu šetření. V posledních několika letech jsme se setkali se specifickou formou ultrasonografického hodnocení distribuce tuku, v oblasti intra-abdominální (př. Rolfe et al., 2013; Prado et al., 2012), jako prediktoru možných kardiovaskulárních patofyziologických jevů. Ultrasonografickou metodu jsme pro šetření zvolili jako „zlatý standard“ pro ověření reliability kaliperace a bioelektrické impedanční analýzy.

Následný odborný materiál poskytuje ucelený pohled, vyplývající ze současných odborných názorů s následnou implementací a má posloužit laické i odborné veřejnosti přispěním k problematice hodnocení celkové i lokální distribuce tuku u dětí. Výsledky šetření přispějí k omezenému množství dostupných odborných podkladů o distribuci tuku především u kategorie dětí předškolního věku. Distribuce, především ve smyslu tělesného rozložení, je v dostupných zdrojích velice sporá. Odborný text čerpá z původních starších, platných a uznávaných výstupů se syntetizujícími informacemi nejnovějších dostupných recenzovaných článků a monografií, popř. elektronických stránek celosvětových organizací. Pro formální úpravu a členění naší práce jsme vycházeli z norem ČSN ISO 7144 Dokumentace- Formální úprava disertací a podobných dokumentů (Český normalizační institut, 1996), ČSN 01 6910 Úprava písemností zpracovaných textovými editory (ČNI, 2007) a doporučení Americké psychologické společnosti

(American Psychological Association, 2010). Při práci s informačními zdroji jsme vycházeli z normy APA /6<sup>th</sup> edition/ (APA, 2010).

## 1 METABOLISMUS

Metabolismus je definován jako souhrn všech biofyzikálních a biochemických dějů, které slouží k získávání energie a tvorbě látek potřebných pro správné fungování organismu (Vokurka & Hugo, 2009). Výsledná hodnota může kolísat s ohledem na zdravotní stav jedince (Agha & El Wahsh, 2013; Bogdanov, Bogdanov, & Kotov, 2013).

Metabolismus lze členit na úroveň buněčnou a celkovou, dle intenzity na bazální, klidový a pracovní. Základní metabolismus /bazální/ kryje energetickou potřebu orgánů, které zajišťují základní životní funkce /respirace, srdeční činnost, ad./. Hodnota klidového metabolismu zahrnuje další energii potřebnou pro klidový stav organismu /např. držení těla/. Tzv. pracovní metabolismus využívá navíc energii potřebnou při svalové práci  $W$ .

Pro vyjádření základní myšlenky využíváme 1. termodynamický zákon:

$$Q = \Delta U + W,$$

kde  $\Delta U$  značí změnu vnitřní energie,  $W$  svalovou práci a  $Q$  teplo. V souladu s tímto zákonem je v organismu zajištěna výměna energie ve dvou formách  $W$ ,  $Q$ . Rovnováha tělesné teploty závisí na tvorbě, příjmu a výdeje tepla  $Q$  (Gmehling, Kolbe, Kleiber, & Rarey, 2012; Rosina, Vránová, Kolářová, & Stanek, 2013). Přeměna tepla při tlakové konstanci se nazývá změna entalpie  $\Delta H$ , která je při exotermních reakcích /uvolňování energie/ negativní a při endotermních reakcích /příjem tepla/ pozitivní (Silbernagl & Despopoulos, 2004). Pokud bychom chtěli zjistit množství volného  $\Delta H$  /volná změna entalpie  $\Delta G$ / využíváme 2. termodynamický zákon, popsany v kapitole 1.2 Přeměna látek a energií.

Okolní prostředí po většinu roku nabízí teplotu nižší než je tělesná, proto dochází k vyššímu teplotnímu výdeji. Tabulka 1 uvádí množství uvolněného tepla při různých pracovních polohách těla.

Tab. 1

Energetický výdej a množství uvolněného tepla při práci u dospělého muže ve vybraných pracovních polohách

<b>Výchozí poloha těla</b>	<b>Energetický výdej [kJ/min]</b>	<b>Množství uvolněného tepla [W/m<sup>2</sup>]</b>
<b>Leh</b>	0,4-1,3	10
<b>Sed</b>	0,8-1,7	10
<b>Klek</b>	1,3-2,1	20
<b>Dřep</b>	1,3-2,5	20
<b>Stoj</b>	1,3-2,9	25
<b>Předklon</b>	1,7-2,9	30

*Note.* From „Základů aplikované ergonomie,“ at J. Marek, & P., Skřehot, 2009, p. 14.

### 1.1 Energetické zdroje

Lidský organismus potřebuje k životu zdroj energie. Energeticky nejvýhodnější formu tvoří makronutrienty, které poskytují potřebné množství energie. Řadíme mezi ně především: sacharidy, lipidy, proteiny, popř.: alkohol. Vedle těchto přijímáme také mikronutrienty /vitamíny a minerály/, které považujeme z hlediska energetického za bezvýznamné, avšak tolik potřebné pro správné fungování lidského organismu (Máček & Radvanský, 2011). Ze zprávy Food and agriculture organization [FAO] (2004) a dle Máčka & Radvanského (2011) konstatujeme, že sacharidy a bílkoviny mají téměř shodnou energetickou hodnotu a lipidy představují pro organismus nejkonzentrovější zdroj energie. Tabulka 2 nabízí vhled do hodnot fyzikálního spalného tepla u makronutrientů. Hodnota spalného tepla se liší podtypem makronutrientu. Vyjádření jednotek je v souladu s International System of Units (2008) a používáme tuto oporu v celé práci. Zaměřujeme se ve spisu na tuky jako podstatný makronutrient, ale také na tuky jako součást adipocytů lidského těla. Uvádíme doporučené denní množství makronutrientů pro věkovou skupinu a v kapitole 1.2 rozvádíme reakce v organismu, které vedou k bytlnění tukové tkáně, popř. vzniku adipozity.

Tab. 2

Množství energie jednotlivých živin

<b>Makronutrient</b>	<b>Spalné teplo [kJ/g]</b>
<b>Sacharidy</b>	16,7
<b>Bílkoviny</b>	16,7
<b>Lipidy</b>	37,7
<b>Alkohol</b>	29,3

*Note.* From „*Human energy requirements*,“ at FAO, 2004.

### 1.1.1 Lipidy

Tuky jsou význačné pro své mechanické /pružnost, deformace/ a tepelné vlastnosti. Špatná vodivost materiálu brání úniku tepla a slouží tělu jako tepelný izolant. Oxidací mastných kyselin v hnědém tuku navíc vzniká výhradně tepelná energie, která chrání především novorozence (Hainer et al., 2011). V posledních letech se pohlíží na nejvýznamnější hodnocení množství tuků v krevní plazmě. Některé studie poukazují na významnou korelaci některých cirkulujících lipoproteinů se vznikem aterosklerotických projevů a rizik (Elmadbouh et al., 2013; Rolin & Maghazachi, 2014; ad.). Kromě energetické funkce mají lipidy také význam regulační a trofický. Lipidy transportuje plazma ve formě složitých komplexů jako alfa- či beta-lipoproteiny. Proteinovou složku lipoproteinů nazýváme apoprotein. Existuje několik tříd apoproteinů. Můžeme zmínit např. neesterifikované mastné kyseliny, které při frakci poskytují celou řadu nenasycených mastných kyselin (Trojan et al., 2003). Nejdůležitější roli hrají v metabolismu triacylglyceroly /TAG/, lipoproteidy o nízké denzitě /VLDL/, které jsou uloženy v adipocytech a patří do skupiny beta-lipoproteinů (Guo et al., 2012; Holeček, 2006; Trojan et al., 2003). Působením enzymů se VLDL v konečné fázi mění na lipoprotein o nízké denzitě /LDL/. Mezi skupinu alfa-proteinů patří lipoproteiny o vysoké denzitě /HDL/, které jsou schopné vázat cholesterol a odvádět ho z těla. Pro zachování lidského zdraví ve smyslu snížení rizika vzniku aterosklerotických onemocnění je doporučen vyšší podíl HDL oproti LDL (Jeukendrup & Gleeson, 2010).

Příjem tuků by měl dle doporučení presidia a autorského kolektivu Společnosti pro výživu (2012) činit 25- 30 % celkového energetického příjmu dospělých a dětí se středně namáhavým denním režimem. Množství nasycených mastných kyselin by nemělo překonat hranici 10% z celkového příjmu, vzhledem k riziku vzniku aterosklerotických změn (Jeukendrup & Gleeson, 2010; SV, 2012; Trojan et al., 2003). Doporučená denní dávka cholesterolu pro děti v předškolním věku je 130-170 mg (Kejvalová, 2010).

### 1.1.2 Sacharidy

Rozlišujeme dle počtu cukerných jednotek tyto základní druhy sacharidů: monosacharidy, oligosacharidy a polysacharidy /škroby/. Nejrozšířenějším a fyziologicky nejlépe rozpustným monosacharidem v lidském těle je glukóza, která poskytuje výhradní zdroj energie pro mozek a v klidovém stavu poskytuje palivo pro všechny ostatní tkáně. Glukóza však může být přeměněna i na jiné formy energie, např. lipidy (cholesterol, steroid, mastné kyseliny aj.) a aminokyseliny. Kromě vitamínů, esenciálních aminokyselin a esenciálních mastných kyselin mohou být všechny metabolity syntetizovány z glukózy. Dle Gua et al. (2012) vzniká glykogen degradací glukózy a patří mezi sacharidy živočišného původu, opět s přímým energetickým vstupem. Vyskytuje se ve všech buňkách lidského těla. Nejvyšší koncentraci zaznamenáváme v jaterních /hepatocytech/ a svalových buňkách /myocytech/. Množství glykogenu v játrech činí asi 2- 4 % a jeli využito, pokrývá energetickou potřebu až na 20 hodin. Kosterní sval poskytuje rozmezí 0,4-0,6 % glykogenu a je určen výhradně pro lokální kontrakci. Glykogenové zásoby u zdravého dospělého člověka činí asi 300 g. Díky jeho vysoké molekulární hmotnosti nedochází k ohrožení buňky hypertonií, jako by tomu bylo u glukózy. Z polysacharidů jsou dle Wraihtha (2012) velmi významné mukopolysacharidy s dlouhým uhlíkatým řetězcem, které tvoří význačnou složku pojivového tkaniva.

Energetická potřeba sacharidů by měla z celkového příjmu činit 50-55 %. Žádoucí je vyšší podíl polysacharidů ve stravě. Škroboviny zajišťují v těle potřebné minerální látky, vitamíny a vlákninu. Přítomnost vlákniny ovlivňuje proces trávení tím, že podporuje střevní motilitu a sekreci (Hainer et al., 2011). U předškolní věkové



kategorie je doporučena dávka 10-12 g sacharidů/kg tělesné hmotnosti za den (Kejvalová, 2010; Pánek, 2002).

### 1.1.3 Proteiny

Pro rozlišení jednotlivých struktur bílkovin používáme z hlediska hierarchie následnou posloupnost. Primární struktura bílkovin je určena pořadím aminokyselin v řetězci, sekundární struktura jejich uspořádáním. Terciární vzniká uspořádáním stabilizovaných sekundárních struktur v prostoru a je důsledkem kontaktů vzdálenějších míst řetězce. Tvoří je např. kolem sebe stočené šroubovice kolagenu či keratinu. Kvartérní struktura vzniká seskupením dvou a více řetězců v prostoru (Žídek, 2013).

Na proteiny je vázána veškerá forma života, tvoří základ všech enzymů, některých hormonů, hemoglobinu, myoglobinu a mnoha dalších látek (Hainer et al., 2011). Degradace proteinů probíhá se vznikem aminokyselin. Nadbytečné aminokyseliny nejsou oproti sacharidům a lipidům skladovány formou zásob. Slouží v intermedieárním metabolismu a přebytečný dusík tělo vylučuje ureou (Holeček, 2006). Mezi základní funkce bílkovin tedy patří: biokatalytické procesy, transport, skladování, ochrana a obrana, stavba, pohyb. Strukturální proteiny se podílejí na mechanické podpoře buněk a tkání, př. elastin a kolagen. Dalším příkladem funkce proteinů je jejich prostorová proměnlivost, významná při navázání látky /princip svalového stahu/. Hlavičky myosinového vlákna na sebe váží primární energetický zdroj adenositriřofát /ATP/, potřebný pro svalovou kontrakci (Žídek, 2013).

Proteiny kryjí celkovou energetickou potřebu člověka asi z 15-20 % (Hainer et al., 2011). Pro děti předškolního věku je vhodné podávat bílkoviny živočišného i rostlinného původu stejného poměru, v celkové denní dávce 12-15 % /1,5 g na kg hmotnosti/ (Kejvalová, 2010).

## 1.2 Přeměna látek a energií

Metabolismus na buněčné úrovni lze prezentovat následně. Buňky jsou chápány jako otevřené systémy /tok látek, energie/, ve kterých dochází k dynamické rovnováze, ustálenému bioenergetickému stavu. Pro člověka je základním předpokladem metabolismu a bioenergetiky respirace (Institute of Molecular Genetics /IMG/, n.d.; Glaser, 2012).

Pro buněčný metabolismus vycházíme dle Silbernagl & Despopoulos (2004) z:

1. věty *termodynamické* /zákon zachování energie/, kterou popisujeme v kap. 1.1 a sděluje tezi o výměně energie v uzavřeném systému /nikoliv látek/ a proto celkové množství energie zůstává konstantní a
2. věty *termodynamické* /v otevřeném systému roste entalpie, v uzavřeném roste entropie/, kterou vyjadřujeme Gibbsovou volnou energií, uplatnitelnou pro otevřený systém za konstantních podmínek.

$$\Delta G = \Delta H - T \cdot \Delta S,$$

kde  $G$ - Gibbsova energie,  $H$ - entalpie,  $T$ - termodynamická teplota,  $\Delta S$ - změna entropie.

Energie [J, cal] je schopnost buněčného systému vykonávat práci  $W$  [J] a předpokladem pro práci je existence tzv. potencionálního rozdílu. U chemických reakcí se podílí na potencionálním rozdílu změna tzv. volné entalpie  $\Delta G$  [J. mol<sup>-1</sup>], kde mol vyjadřuje množství látky potřebné k práci (Glaser, 2012; Silbernagl & Despopoulos, 2004). Chemické látky člověk potřebuje k energetickému krytí všech dějů, které v organismu probíhají.

$\Delta G$  závisí na koncentraci a můžeme ji vypočíst z hodnoty volné standardní entalpie  $\Delta G^0$  a koncentrace zúčastněných látek, pokud jde např. o tuto reakci:



kde  $A$  je edukt a  $B$ ,  $C$  reakční produkty.  $\Delta G^0$  se přemění na  $\Delta G$  za předpokladu koncentrace reakčních složek 1 mol/l, pH= 7,0,  $T= 298$  K a tlaku  $p= 1013$  hPa dle formule:

$$\Delta G = \Delta G^0 + R \cdot T \cdot \ln \frac{[B] \cdot [C]}{[A]},$$

nebo při 37° /310 K/:

$$\Delta G = \Delta G^0 + 8,31 \cdot 310 \cdot 2,3 \cdot \text{Log} \frac{[B] \cdot [C]}{[A]}$$

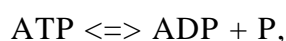
Je-li výsledná hodnota  $\Delta G^0$  např.  $+5 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ , bude  $\Delta G < 0$  a jedná se o exergonickou reakci, pokud by  $\Delta G > 0$ , označujeme děj jako exergonický. Dle  $\Delta G$  se určuje směřování reakce a jak velká je odchylka od rovnovážného stavu. Je závislá na koncentraci látek, a pokud by probíhala v otevřeném systému byla by při neustálém odstraňování produktů reakce negativnější. Jen velice málo procesů v buněčném a celkovém organismu však dosahuje rovnovážného energetického stavu /př. reakce  $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{HCO}_3^- + \text{H}^+$ /. Převažuje tzv. dynamická rovnováha /př. potenciál buňky/, pro kterou je zásadní rychlost přeměny energie, která umožňuje regulaci funkcí v organismu. Některé reakce jsou velice pomalé a enzymy ani koncentrace látek nedostačují vzniku cílené přeměny. V tomto případě musí být dodána energie další, například aktivací eduktu, který je přeměňován na edukt vyšší třídy (Silbernagl & Despopoulos, 2004).

Přímým zdrojem energie organismu jsou makroergní vazby kyseliny fosforečné s dalšími organickými látkami. Jednou z forem primární energie lidského organismu, téměř universálním nosičem a přenašečem volné entalpie v organismu je z makronutrientů transformovaný adensintrifosfát /ATP/ (Guo et al., 2012; Silbernagl & Despopoulos, 2004).

proteiny	→	aminokyseliny	→	(citrátový cyklus)	(oxidativní fosforylace)
sacharidy	→	glukóza	→	Acetyl-CoA	→ NADH → ATP
lipidy	→	glycerol	→	mastné kyseliny	

Upraveno dle Holeček (2006).

V menším poměru se vyskytují např. kreatinfosfát /CP/, fosfoenolpyruvát ad. Energie se z vazby ATP uvolňuje štěpením ve formě tepla, za vzniku adenosindifosfátu /ADP/ Jedná se o produkt vzniklý oxidací biologických molekul, např. glukózy. Oxidace značí odebrání elektronů na elektrony redukováného sacharidu a probíhá na mnoha stupních, aby mohl vzniknout ATP. Konečné produkty této reakce jsou  $\text{CO}_2$  a  $\text{H}_2\text{O}$  (Holeček, 2006; Silbernagl & Despopoulos, 2004). Volná standardní entalpie hydrolýzy ATP:



činí  $-30,5 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$  a  $\Delta G$  reakce roste, když klesá poměr  $(\text{ADP}\cdot\text{P})/(\text{ATP})$ .  $\Delta G$  se poté projevuje reálnými hodnotami  $-46$  až  $-54 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$  ATP v buňkách. CP je pak substancí s vyšším  $\Delta G$   $-43 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$  pro hydrolýzu než ATP (Silbernagl & Despopoulos, 2004). V jedné buňce nalezneme přibližně 1 bilion molekul ATP, které mají životnost asi 1 minutu. Více než polovina energie při následné degradaci je uvolněna ve formě tepla a polovina připadá na energii potřebnou např. při svalové práci (Máček & Radvanský, 2011). Skutečná potřeba ATP však kryje v organismu stovky reakcí. Můžeme zmínit aktivní transport látek membránami, syntézu bílkovin. Z termodynamického hlediska považujeme vznik energie všech reakcí za pořádek v buňkách a celém organismu. Život všech organismů je vyznačován trvalým snižováním entropie a nárůstem entropie okolního prostředí.

### 1.3 Energetická bilance

Energetická bilance lidského těla jako homeostatického systému je dána poměrem energie, uvolněné během metabolických pochodů. Vzniklá energie pokrývá veškeré probíhající děje v organismu. Množství tělesného tuku v lidském organismu je dáno poměrem energetického příjmu a výdeje. Energetická bilance je důležitá pro zachování stálého podílu tukové tkáně. Narušením této bilance dochází k dynamice množství tělesného tuku. Výrazné snížení či zvýšení množství této tkáně může ohrozit zdraví jedince. Energetický výdej je závislý primárně na svalové práci, sekundárně na metabolických dějích ve svalech, játrech, mozku, tukové tkáni, ad.

Při svalové práci se uvolňuje energie ve formě tepla, která se podílí na celkovém energetickém obratu organismu především (Hainer et al., 2011; Prokšová, Duršpek, Jindra, & Kielbusová, 2009). Podstatu svalového výkonu, výkonovou bilanci, prezentuje při zavedení konstant úměrnosti následná, Hillova rovnice:

$$(F + a)v = (F - F)b,$$

kde  $F$ - síla ve svalu,  $a, b$ - konstanty (Čulík, n.d.; Kompendium, 2000).

Množství vydané energie [kJ] u dvou rozdílných jedinců však závisí na několika faktorech: somatických parametrech /např. tělesná výška, tělesná hmotnost/, hladině hormonů /adrenalin, noradrenalin, thyroxin/, teplotě okolního prostředí při tělesné práci, ad. (Máček & Radvanský, 2011; Prokšová, et al., 2009). Kvantifikovat množství vydané energie za standardizovaných podmínek lze prostřednictvím výpočtů spotřeby atmosférického kyslíku / $O_2$ / v ml/kg či monitorováním tepové frekvence v průběhu dne (Máček & Radvanský, 2011).

Krátkodobě působící pozitivní energetická bilance aktivuje u zdravých jedinců fyziologické regulační mechanismy, které brání zvýšení hmotnosti. U jedinců s určitou genetickou dispozicí jsou tyto regulační mechanismy porušeny. Dlouhodobá pozitivní energetická bilance však vede k hromadění tukových zásob a vzestupu hmotnosti i u jedinců, kteří nemají predispozice pro rozvoj obezity (Kytarová, 2002; Máček & Radvanský, 2011). Metaanalýzy však zdůrazňují výši celkového energetického výdeje jako další rozhodující faktor hromadění triglyceridů v adipocytech či vznik nových adipocytů a bytnění tukové tkáně bez ohledu na stravovací vyhranění, př. laktoovovegetariánství (Hainer et al., 2011).

Dlouhodobá negativní energetická bilance vede k redukci tukové tkáně v organismu. K aktivaci a uvolnění triglyceridů pro kontraktilní element svalové práce dochází, pokud tepová frekvence dosahuje nízkého až středního pásma. Organismus setrvává k zóně aerobní, za přístupu kyslíku. Kyslík má zásadní roli při dodávce tohoto paliva. Tato vytrvalostní aktivita musí být dlouhodobá. K uvolnění lipidů pro metabolismus dochází mezi 20 až 30 minutami pohybové aktivity. U dospělého jedince ve věku kolem 25 let se udávají hodnoty pro aerobní zónu asi 130- 150 tepů/min. Aerobní zóna odvozená z maximální tepové frekvence se u dětí posouvá výše.

## 1.4 Doporučený energetický příjem u dětí

Celkový energetický příjem dětí i dospělých je přímo závislý na jeho výdeji. Hlavní roli hrají aktivity rozdílné energetické náročnosti během dne. Energetická potřeba dětí se zvyšuje v období růstových spurtů, kdy se kladná energetická bilance na podílu tukové tkáně příliš neprojevuje. Hodnotu celkového energetického příjmu lze vypočítat dle doporučujícího materiálu FAO (1991). Existují dvě varianty výpočtu. Hodnotu v kcal/24 hod. lze zjistit dle skutečného energetického příjmu a dle fyziologické potřeby.

Výpočet dle skutečného energetického příjmu bere v úvahu potřebu energie dětí ve vyspělých státech, s běžně dostupnou stravou a je navýšen o 5 %, dle předpokládané dávky pohybové aktivity. Vychází také z průměrných růstových a hmotnostních standardů. Za předpokladu následujícího režimu:

„9,5 hodin spánek (tj. 40 % z denní doby) tj. f. 0,4 a 14,5 hodin lehká aktivita tj. f. 0,6):  $0,4 \times BM \text{ (doba spánku)} + 0,6 \times BM \times 1,5 \text{ (doba aktivity)} + 5 \times 5,5 \text{ (růst)} = \text{energie [kcal/24 hod.]}$ “,

kde *BM* značí energii bazálního metabolismu a *f* uvedené konstanty.

Následná tabulka 3 předkládá základní výpočty BM vzhledem s možným využitím hmotnostních standardů dle věku.

Tab. 3

Výpočet potřebných hodnot energie basálního metabolismu na den

Věk /roky/	Průměrná těl. hmotnost <i>m</i> [kg]		Vzorec pro výpočet BM		BM [kcal]	
	Chlapci	Dívky	Chlapci	Dívky	Chlapci	Dívky
3	14,6	14,1			827	817
4	16,7	16,0	$22,7 \cdot m + 495$	$22,5 \cdot m + 499$	874	859
5	18,7	17,7	(±62)	(±63)	919	897
6	20,7	19,5			965	938

Note. ± směrodatná odchylka, *m*= tělesná hmotnost, BM= potřeba basálního metabolismu. From „Energy and Protein Requirements,“ at FAO, 1991.

Na základě výše uvedených propočtů, je prezentována doporučující tabulka 4.

Tab. 4

Doporučený energetický příjem dětí

<b>Věk /roky/</b>	<b>Chlapci [kcal]</b>	<b>Dívky [kcal]</b>
<b>3</b>	1 074	1 061
<b>4</b>	1 136	1 117
<b>5</b>	1 195	1 166
<b>6</b>	1 254	1 219

*Note.* From „*Energy and Protein Requirements*,“ at FAO, 1991.

Novější publikace FAO (2001, p. 21) uvádí jednodušší vzorec pro získání reálné hodnoty celkového energetického příjmu a přímou závislostí na hmotnosti  $m$  dítěte:

Pro chlapce rovnice ve tvaru:

$$310,2 + 63,3 \cdot m - 0,263 \cdot m^2 = \text{celková energetická potřeba [kcal/den]}$$

Pro dívky ve tvaru:

$$263,4 + 65,3 \cdot m - 0,454 \cdot m^2 = \text{celková energetická potřeba [kcal/den]}$$

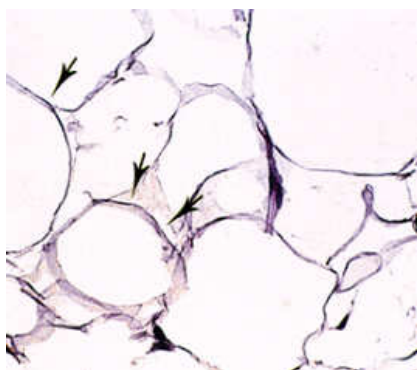
Ve zvolených publikacích FAO (1991) a FAO (2001) jsme nenalezli komentář k faktoru termického účinku, ale doufáme, že ho výpočet již zahrnuje. Pokud by na něj materiál nepoukazoval, je potřeba zvýšit potřebu o 8 % dle Wolfa (1985) a především zohlednit případnou změnu pohybového režimu /intenzita, frekvence/. Výpočet dle fyziologické potřeby se zakládá na hodnotě bazálního metabolismu. Ve studii Lazzer, Patrizi, De Col, Saezza, & Sartorio (2014) je uváděna změna energetické potřeby BM u dětí trpících nadváhou či obezitou a u dětí při intenzivním tělesném růst. Popis predikčních rovnic vychází z hodnocení tělesného složení Bodystatem, tedy z měření celkové bioimpedance. Vyšší příjem energie provází také zvýšení termického účinku (Binns, Gray, & Di Bremzo, 2014) a tím i vlastní hodnotu bazálního metabolismu (Duggan, Watkins, & Walker 2008). Lazzer et al. (2014), Duggan et al. (2008) a Samour & King (2013) dále uvádějí, že hodnota BM je závislá kromě věku, pohlaví a pohybovém režimu, také na etnicitě.

## 2 TUKOVÁ TKÁŇ

Obecně rozlišujeme dva základní typy tukové tkáně: hnědou a bílou. Tyto typy tukové tkáně mají určité buněčné diference, specifické funkce a rozložení v lidském těle. Blíže specifikujeme jednotlivé typy tkáně v následujících kapitolách /2.1, 2.2/.

### 2.1 Bílá tuková tkáň

Bílá tuková tkáň je žlutě zabarvená homogenní tkáň s mastně lesklou texturou na povrchu a dělená tenkými septy. Vlastní buňky /adipocyty/ jsou sférického tvaru s velkými lipidovými vakuolami /obr. 1/. Triglyceroly adipocytů slouží jako zásoba tuku (Brooks & Perosio, 2007; Stejskal, 2009). Jádro adipocytu bílé tukové hmoty je poloměsíčitého tvaru a povětšinou vytlačeno kapénkou tuku k buněčné membráně (Fruhbeck & Gomez-Ambrosi, 2005). Adipocyt bílé tukové hmoty patří k největším buňkám lidského těla s udávanou průměrnou velikostí 50  $\mu\text{m}$ , dle Brooks & Perosio (2007) až 120  $\mu\text{m}$  v průměru. Studie Avrama, Avrama, & Jamese (2005) udává rozměr 30-70  $\mu\text{m}$  v závislosti na umístění v lidském těle. Vzhledem k obsahu tukových kapének jsou adipocyty schopny měnit svůj průměr asi dvacetkrát a objem až tisíckrát. Maximální kapacita, kterou mohou adipocyty pojmout, je až 1000 pikolitrů (Fruhbeck & Gomez – Ambrosi, 2005; Hainer et al., 2011; Stejskal, 2009). U zdravé dospělé populace je poměr zralých adipocytů pouze jedna třetina (Avram et al., 2005).

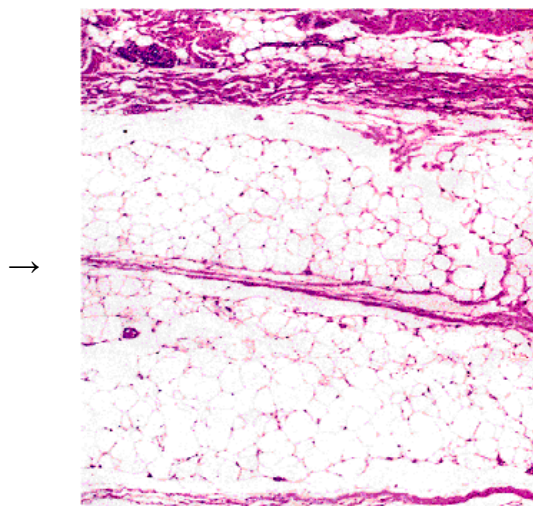


*Obr. 1* Adipocyty bílé tukové tkáně zpevněné retikulinem u bazální membrány (Brooks & Perosio, 2007, p. 171)



Spolu s adipocyty patří k bílé tukové tkáni také preadipocyty, mikrofégy, stromální buňky, endoteliální buňky, fibroblasty a leukocyty. Tukovou tkáň můžeme tedy považovat v novějším pojetí za endokrinní orgán produkující řadu působků, zejména adipokinů /bílkoviny produkované bílou tukovou tkání/, které ovlivňují většinu funkcí v organismu (Fruhbeck & Gomez-Ambrosi, 2005; Hainer et al., 2011; Stejskal, 2009).

Dle obrázku 1 i 2 můžeme pozorovat výskyt přepážek, tzv. sept, které jsou tvořeny více-vrstevnatým kolagenem. Tyto tenké pláty zpevňují lokalitu a podporují efektivitu mechanické ochrany.



Obr. 2 Kolagenová septa tukové tkáně (Brooks & Perosio, 2007, p. 172)

Vzhledem k úvaze tukové tkáně jako endokrinního orgánu, schopného vyrábět biologicky účinné látky, bereme v úvahu jeho roli v regulaci energetického metabolismu. Základními metabolickými aktivitami jsou lipogeneze /syntéza mastných kyselin a ukládání/ a lipolýza /mobilizace a hydrolýza triglyceridů/. Oba mechanismy probíhají za účasti endokrinního a nervového systému a zajišťují relativní stálost podílu tělesného tuku. Adipogeneze probíhá v průběhu celého života. Nové adipocyty bývají dokonce nahrazovány staršími, ty umírají a jsou postupně odstraněny z tkáně. Odhaduje se až 30% nezralých či diferencovaných adipocytů /pradipocytů, prekursorů apod./, které jsou schopné přeměny na zralé adipocyty se specifickými fyziologickými a morfologickými vlastnostmi (Proença et al., 2014).

Při negativní energetické bilanci dochází k degradaci lipidů, triacylglycerolů v adipocytech za vzniku glycerolu a mastných kyselin. Glycerol je transportován do jater, kde dochází k další případné fosforylaci, k syntéze glukózy a lipidů. Mastné kyseliny /MK/ putují krví jako zdroj energie pro kosterní svalstvo a myokard. K jejich další degradaci dochází v mitochondriích. K aktivaci MK je zapotřebí převedení na Acetyl-CoA a přítomnost ATP, Koenzym A /CoA/ a enzymu acyl-CoA-synthetasa (Guo et al., 2012; Griffin, 2013).

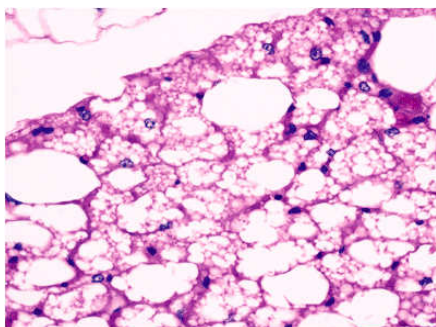
Další význam této tkáně v tradičním pojetí je tepelně- izolační, mechanické ochrany, orgánů především, a již zmíněná funkce energetické rezervy. Adipocyty se vyskytují u dospělého jedince v počtu 35 bilionů. Obsahuje triglyceridy o hmotnosti 0,4- 0,6  $\mu\text{g}$  a jeho výsledná energetická hodnota je 130000 kcal. Extrémně obézní jedinci disponují až 140 biliony adipocytů o hmotnosti až 0,8- 1,2  $\mu\text{g}$  a celkové energetické rezervě až 1 milion kcal (Hall et al., 2012).

Méně známá je konverze některých hormonálních prekurzorů na aktivní hormony. Příkladem může být zvýšená produkce kortizolu z viscerálního tuku u obézních jedinců, který putuje portálním oběhem do jater, kde dochází ke sledu reakcí za vzniku glukózy z nesacharidových zdrojů. Norma hladiny glykémie je takto přímo ovlivněna. Dalšími funkcemi jsou např. zdroj estrogenů u postmenopauzálních žen či zvýšená kumulace toxických látek při užívání léků. Při masivním úbytku tukové tkáně tedy může docházet k uvolnění těchto toxických látek do organismu a ovlivnění dalších systémových procesů (Haluzík, 2008).

## **2.2 Hnědá tuková tkáň**

Tento typ tukové tkáně uvádíme z důvodu jeho významu pro mladší jedince a možný podíl v celkovém množství tukové tkáně. Adipocyty hnědé tukové tkáně mají polygonální tvar. Obsahují značné množství cytoplasmy a pojmají velký počet drobných malých kapének tuku /obr. 3/. Jádro adipocytů má kulatý tvar a je situováno v centrální části buňky. V řídké oblasti je bohatý na krevní vlásečnice a hluboce inervován. Tuk se snáze uvolňuje při ner-vových podnětech, energeticky

není tak pohotový jako tuk bílý, ale má rychlejší reakce na hormonální změny (Trojan et al., 2003).



Obr. 3 Adipocyty hnědé tukové tkáně (Brooks & Perosio, 2007, p. 174)

Depozit hnědého tuku /HT/ v těle novorozenců je poměrně velký oproti dospělosti, vyskytuje se ve více než 5% (Austgen & Bowen, 2002; Carter & Schucany, 2008). Je známo, že v dospělosti bývá značně redukován a částečně se stává součástí bílé tukové tkáně. Jeho podíl v dospělosti stanovujeme na 1,8% (Hong-Je et al., 2008) a méně. Hlavní funkcí hnědého tuku je termoregulace a termogeneze. Barva této tkáně se pohybuje od žlutohnědé až po tmavě červenou či hnědou, způsobuje ji bohaté prokrvení, četné množství mitochondrií i obsah cytochromu C v buněčných membránách. Nejčastějšími místy uložení jsou mezilopatková krajina, dorsální část hrudi a částečně také okolí aorty a ledvin (Trojan et al., 2003).

HT hraje nepatrnou roli při kontrole tělesné hmotnosti. Vznikla i hypotéza, že slouží k odbourávání nadbytečného příjmu tuků a tak regulaci tělesné hmotnosti. Přesněji, proteiny mitochondrií mohou být jedněmi z faktorů ovlivňující rozvoj obezity (Himms-Hagen, 1989). Některé zdroje uvádějí, že dysfunkce těchto buněk může vyvolat jisté patologické jevy, např. onemocnění CNS (Janský, 1995).

Hnědá tuková tkáň je významným zdrojem termogeneze všech savců. Tento proces vzniku energie ve formě tepla je ovlivněn chladovou adaptací organismu, nadměrným příjmem potravy a množstvím tělesného tuku. Maximálně stimulovaná hnědá tuková tkáň dokáže vytvořit 300 Wattů/ kg (Nuutila, 2013; Symonds, 2013).

Buněčné mitochondrie hnědého tuku mají schopnost procesem oxidativní fosforylace syntetizovat adenosintrifosfát /ATP/ z adenosindifosfátu /ADP/, tento proces je stimulován sympatickými nervy hypotalamu (Murray, 2012). Vyplavování noradrenalinu aktivuje termogenezi. Dochází ke štěpení buněk /lipolýze/ a oxidaci mastných kyselin /MK/ v mitochondriích, energie protonového gradientu se uvolňuje formou tepla bez významnější produkce ATP (Janský, 1995). Přenosu protonů přes membránu mitochondrie napomáhá termogenin- UCP1, tato izoforma se vyskytuje jen v buňkách HT (Canon & Nedergaard, 2004). MK jsou hlavním substrátem pro výskyt termogeneze v hnědém tuku, neboť obsahují acetyl-CoA, který reaguje s UCP1 přímo, funguje jako signál ke spuštění termogeneze (Bianco, Maia, Da Silva, & Christoffolete 2005). Některé hormony mohou stimulovat expresi UCP1 /např. leptin/ (Minikoshi et al., 2002).

V dětství dochází k rozsáhlé distribuci aktivního hnědého tuku ve všech částech lidského těla. V dospělosti se přesouvá do hlubších vrstev těla, převážně do okolí orgánů. Vyšší riziko vzniku hypotermie lidského těla nastává tedy u nejstarší věkové kategorie (Heaton, 1972). Největší distribuci nalezneme u dětí, v dospělosti převážně u žen než u mužů a závisí na geografické poloze a ročním období v dané oblasti (Cohade, Osman, Pannu, & Wahl, 2003; Truong et al., 2004).

Původní studie J. M. Heatona (1972) uvádí komplexní výčet 18 možných oblastí výskytu hnědé tukové tkáně /tab. 5/. Gelfand, O'Hara, Curtwright, & MacLean (2005) popisují nejčastější místo výskytu této tkáně v laterální části krku, laterální a horní oblasti plíce, méně pak mezi žebry a obratli, mezi plícemi. Interskapulární HT a HT v oblastech 15-18 je identifikován především v první dekádě života. Oblasti výskytu HT 2-4 sílí v druhé dekádě života, oblasti 3-4 i ve třetí dekádě života a jsou zachovány v organismu nejdéle. Jeho přítomnost je velmi variabilní a po třicítce je prakticky redukována. HT pankreasu a sleziny se ztrácí až v poproduktivním věku /50-60 let/.

Přítomnost HT ve všech jmenovaných oblastech 1-18 je prokázána do 30 let /tab. 5/ (Heaton, 1972). Tyto lokality potvrzují některé nové studie (Brooks & Perosio, 2007; Sacks & Symonds, 2013, ad.).

Tab. 5

## Oblasti výskytu hnědého tuku

1. Interskapulární obl.	10. Okolí aorty
2. Okolí krkavice	11. Pankreas
3. Mezi svaly krku	12. Slezinný hilus
4. Pod klíční kostí a v podpaží	13. Okolí ledviny
5. Cévy v okolí mezižebří	14. Oblast nadledvin
6. Okolí vnitřních hrudních cév	15. Oblast tračnicku
7. Oblast mezi průdušnicí	16. Břišní oblast
8. Perikard	17. Třísla
9. Plicní hilus	18. Přední břišní stěna

*Note.* From „The distribution of brown adipose tissue in the human,“ at J. M. Heaton, 1972, *Journal of Anatomy*, 112(1); from „Anatomical locations of human brown adipose tissue,“ at H. Sacks & M. E. Symonds, 2013, *Diabetes*, 62 (6).

V minulosti přetrvával názor, že dospělý člověk ztrácí funkční hnědý tuk, avšak některé novější studie tento názor vyvrací (Symonds, 2013; Truong et al., 2004). Truong et al. (2004) uvádí výsledky retrospektivní studie, která prokázala výskyt hnědého tuku u 15 dospělých jedinců v průměrném podílu 1,8%. U všech byl lokalizován v oblasti paratracheální, prevaskulární, perikardiální a v okolí jícnu. U dvou třetin zkoumaných našli tuto tukovou tkáň také na hrudi, šíji a břiše. Korejská studie, která proběhla v letech 2005-7 dokazuje, že množství hnědé tukové tkáně přetrvává až do stáří, i když ve velmi malé míře. Měření dokázalo závislost množství HT v organismu na věku, pohlaví a ročním období měření. Celkem bylo hodnoceno 104 korejců všech věkových skupin. Průměrně se hnědá tuková tkáň podílela v poměru 1,1% v organismu: 0,4% u žen a 1,7% u mužů (Hong-Je et al., 2008).

### 3 DISTRIBUCE TUKOVÉ TKÁNĚ

Nadměrná distribuce a bytnění tukové hmoty v lidském organismu je multifaktoriálním problémem. Dochází k ní primárně prostřednictvím pozitivní energetické bilance, která dnes patří mezi nejčastější metabolické poruchy. Významný podíl na zvýšené distribuci tuku má hypokinéza a nesprávný stravovací režim /dietní chyby/. Tyto snižují kvalitu života dnešní populace a předurčují jisté zdravotní komplikace. Jedná se především o patofyziologické jevy oběhového systému /diabetes, aterosklerotické změny, hypertenze, ischemická choroba srdeční/, které se objevují převážně u jedinců s abdominální distribucí tuku. Dále adipozitu doprovázejí onemocnění pohybového aparátu /např. osteoporóza, dna, patologické postavení těla a jeho částí/. Hainer et al. (2011) uvádí, že některé patologické jevy mohou na základě genetických dispozic zapříčinit, objevit se souběžně, popř. následně, s výskytem nadváhy a obezity. Optimální distribuce tukové tkáně u dětí poukazuje také na jejich budoucí zdravotní stav.

Problematika adipozity se týká stále většího počtu jedinců a stále mladších věkových skupin. WHO (2008) uvádí 44 % mužů a 49 % žen za hranicí nadváhy a obezity. Situaci u dětí blíže popisují následující kapitoly /3.1, 3.2/.

#### 3.1 Celková distribuce tuku u dětí

Průměrné celkové množství tuku u dětí závisí především na věku. Dochází k výrazným změnám množství této tkáně během růstu dětí. Blíže specifikují celkovou distribuci následující standardy.

Děti předškolního věku zůstávají méně prozkoumanou skupinou zájmu, i přes rozšiřující se problematiku. Nadváhu a obezitu detekujeme u stále mladších dětí. Pro hodnocení dětí je používán nejčastěji Body Mass Index /BMI/. U dětí prostřednictvím BMI hodnotíme jejich aktuální tučnost a vývoj. BMI standardizovala i International Obesity Task Force /IOTF/, WHO či World Obesity Federation /WOF/. Důkazem vzestupu množství dětí s vyšší než normální distribucí tuku může být hodnocení na celosvětové úrovni /tab. 6, 7/. U dětí mladších 5 let se

dle WHO (2013) výskyt nadváhy a obezity v roce 2011 potvrdil u více než 40 miliónů. Výsledky pro Evropskou Unii udávají v roce 2006 17 miliónů dětí za hranicí nadváhy a 5 miliónů dětí za hranicí obezity (Hainer et al., 2011). Specifické informace o situaci u dětí v České republice dle BMI poskytuje „*World map of obesity*“ (WOF, 2014), která udává 23,9% obézních mužů a 22,3% obézních žen pro rok 2008 a 16,9% dívek a překvapivě 24,6% chlapců s nadváhou a obezitou ve věkovém rozpětí 5-18 let pro rok 2005.

Tab. 6

Hodnocení celkové distribuce tuku (BMI v kg/m<sup>2</sup>) pro dívky

<b>Věk [roky]</b>	<b>Podvýživa &lt; -3SD</b>	<b>Hubenost &lt; -2SD</b>	<b>Normální hmotnost /medián/</b>	<b>Nadváha &gt;+1SD</b>	<b>Obezita &gt;+2SD</b>
<b>5,5</b>	11,7	12,7	15,2	16,9	19,0
<b>6,5</b>	11,7	12,7	15,3	17,1	19,5
<b>7,5</b>	11,8	12,8	15,5	17,5	20,1
<b>8,5</b>	12,0	13,0	15,9	18,0	21,0
<b>9,5</b>	12,2	13,3	16,3	18,7	22,0

Note. SD= směrodatná odchylka. From „*BMI-for-age (5-19 years)*,“ at WHO, 2007.

Tab. 7

Hodnocení celkové distribuce tuku (BMI v kg/m<sup>2</sup>) pro chlapce

<b>Věk [roky]</b>	<b>Podvýživa &lt; -3SD</b>	<b>Hubenost &lt; -2SD</b>	<b>Normální hmotnost medián</b>	<b>Nadváha &gt;+1SD</b>	<b>Obezita &gt;+2SD</b>
<b>5,5</b>	12,1	13,0	15,3	16,7	18,4
<b>6,5</b>	12,2	13,1	15,4	16,9	18,7
<b>7,5</b>	12,3	13,2	15,6	17,2	19,3
<b>8,5</b>	12,5	13,4	15,9	17,7	20,1
<b>9,5</b>	12,7	13,6	16,2	18,2	20,9

Note. SD= směrodatná odchylka. From „*BMI-for-age (5-19 years)*,“ at WHO, 2007.

Podle americké studie Duggana, Watkinse, & Walkera (2008) je průměrné množství tuku u narozených dětí /o hmotnosti 3,5 kg/ 13,4 %, u ročních /10 kg/ 22,4 %. Rychlý nárůst této tkáně je dán hyperplazií a hypertrofií adipocytů. Následuje období poklesu množství tukové hmoty v závislosti na věku. Nejnižší množství zaznamenáváme v hodnotě 12,8 % u sedmiletých chlapců a 16,4 % u šestiletých dívek s následným růstem tohoto množství dle tabulky 8. Uvedené hodnoty jsou vzhledem k českým standardům velice nízké a není známa metodika získání výsledných průměrných hodnot.

Tab. 8

Referenční údaje a tělesné složení u dětí

<b>Chlapci-věk</b> <i>/roky/</i>	<b>Průměrná</b> <b>tělesná</b> <b>výška [cm]</b>	<b>Průměrná</b> <b>tělesná</b> <b>hmotnost [kg]</b>	<b>Průměrné</b> <b>množství</b> <b>tuku [%]</b>	<b>Průměrné</b> <b>množství</b> <b>vody [%]</b>
<b>2</b>	87,6	12,5	25,4	58,1
<b>5</b>	109,9	18,7	14,6	65,4
<b>10</b>	137,5	31,4	13,7	64,8
<b>Dívky-věk</b>				
<b>Dívky-věk</b> <i>/roky/</i>				
<b>2</b>	87,7	12,0	25,4	57,7
<b>5</b>	108,4	17,7	16,7	64,6
<b>10</b>	138,3	32,6	19,4	62,0

*Note.* From „*Nutrition in pediatrics 4. Basic science, clinical applications,*“ at Ch. Duggan et al., 2008.

Brooks & Perosio (2007) také potvrzují genderový rozdíl distribuce tuků a uvádějí vyšší procento u dívek.

Nejnovější české standardy vytvořili autoři Vignerová & Bláha (2001). Navazovali na předchozí šetření, které probíhalo jednou za deset let. Na pokračující výzkum však nedošlo a proto je tento výstup považován za nejrozsáhlejší a aktuální. Autoři vytvořili normy nejen procentuálního podílu tukové složky na základě součtu čtyř kožních řas, hodnocené kaliperem typu Harpenden. Standard pro chlapce v předškolním věku 3 let je 27 %, 5 let 25 %, 6 let už jen 23 % a 22 % u 7letých



s následným vzestupem, převyšující průměry 5- 6 letých. Standard pro dívky v předškolním věku 3 let je 27,5 %, 5 let 27 % a mezi 6. a 7. rokem 25 % průměrného množství tuku, opět s následnou vzestupnou tendencí, převyšující průměry 5- 6 letých (SZÚ, 2008). Opora o normy postrádá přesnější hodnocení celkové distribuce tuku.

Hodnocení množství tělesného tuku v ČR probíhá masivněji u dětí starších 6 let, vzhledem k dostupnosti metodiky bioelektrické impedanční analýzy a vytvoření regresních rovnic pro děti od 6 let. Výsledky studie u českých dětí potvrzují snižující se průměrnou hodnotu celkového množství tuku u obou pohlaví, avšak na úkor podílu jedinců s nadváhou a obezitou dle tabulky 9.

Tab. 9

Množství celkové distribuce tuku u dětí bioelektrickou impedanční analýzou

	<b>6 let</b>	<b>7 let</b>	<b>8 let</b>	<b>9 let</b>
<b>Dívky</b>	<b>/n=143/</b>	<b>/n=144/</b>	<b>/n=141/</b>	<b>/n=146/</b>
<b>Průměr</b>	24,5± 4,0	23,1±3,8	22,8±3,9	22,3±3,6
<b>Nadváha</b>	16,0±2,1	16,4±2,1	16,8±2,2	17,0±2,4
<b>Obezita</b>	8,0±1,5	8,3±1,4	8,7±1,6	9,6±2,0
<b>Chlapci</b>	<b>/n=160/</b>	<b>/n=168/</b>	<b>/n=166/</b>	<b>/n=162/</b>
<b>Průměr</b>	22,4±4,1	21,4±3,8	20,4±4,4	20,1±3,6
<b>Nadváha</b>	15,0±3,1	15,6±2,5	16,2±2,6	16,8±3,1
<b>Obezita</b>	8,0±1,0	8,3±1,1	8,6±1,2	9,4±1,0

*Note.* ± směrodatná odchylka. Z „Aerobic fitness, body composition and physical performance in Czech children,“ at V. Bunc, 2005, *Sport in Europa*, p. 101.

Prezentovaná data o situaci českých dětí hodnocených různými rovnicemi a metodikami vypovídají převážně o zvyšující se celkové distribuci tělesného tuku při přechodu do povinné školní docházky a je zásadní tedy podpořit další výzkum v této oblasti.

### 3.2 Segmentální rozložení tělesného tuku

Rozložení tukové tkáně v organismu hodnotíme obecně jako symetrické a nesymetrické /dysplastické/. Dle hloubky rozlišujeme viscerální /orgánové/ a subkutánní /podkožní/ uložení. Dle Žáka et al. (2011) má viscerální tuk podíl okolo 6-20 % z celkového množství s ohledem na věk. Zbytek připadá na masu podkožní tukové tkáně. Viscerální tuk má vysoký metabolický obrat triacylglycerolů /okolo 3 měsíců/ je významně kratší ve srovnání s abdominálním /6 měsíců/ či gluteofemorálním podkožním tukem /8 měsíců/.

Lokalita zvýšené distribuce tuku je dána především geneticky. Hodnotíme dva základní typy zvýšené distribuce tuku u dospělých. Oblast abdominální je typickou variantou pro mužské pohlaví, ale objevuje se také u ženské populace. Je dána bytněním tkáně v oblasti břicha, hrudníku, ale i zad. Gluteofemorální ukládání je typické pro ženy. Zvýšená koncentrace tuku se objevuje v oblasti hýždí a stehien. Abdominální zvýšená distribuce tuku /adipozita/ je nebezpečná zejména pro riziko vzniku kardiovaskulárních onemocnění. Kardiovaskulární choroby /zejména ischemická choroba srdeční a infarkt myokardu spolu s další patofyziologií hemodynamických ukazatelů/ totiž tvoří dle Ústavu zdravotnických informací a statistiky České republiky (ÚZIS ČR, 2013) nadpoloviční podíl všech ambulantně přijatých pacientů a patří mezi nejzávažnější civilizační choroby ohrožující lidský život. V roce 2011 bylo přijato ambulantně přes 21 tisíc pacientů /přes 15 tisíc mužů/.

U dětí, které jsou ohroženy zvýšenou distribucí tuku, se sledují základní antropometrické parametry, které se vztahují k aktuálním percentilovým grafům (Vignerová & Bláha, 2001). Měření rozložení tělesného tuku se provádí prostřednictvím vybraných obvodových parametrů či méně často moderních technik a přístrojů, které už povětšinou vyžadují návštěvu specializovaného pracoviště.

Distribuce tuku dle Státního zdravotnického ústavu (SZÚ, 2008) je rozložena u předškolních dětí /3- 6 let/ následně: kožní řasa nad tri-cepsem nabývá standardních hodnot 8-12 mm, subskapulární řasa 5-6 mm, suprailiackální 4-5 mm.

Vývoj těchto řas je u dětí mladšího školního věku /specificky 8- 9 let/ pro triceps přibližně 9 mm u chlapců a 11 mm u dívek, subskapulární řasa 5-6 mm a suprailiackální řasa také 5- 6 mm s lehkým genderovým rozdílem. Na základě těchto norem lze konstatovat rovnoměrnější rozložení tuku a menší dynamiku s přibývajícím věkem. Hodnoty jsou závislé na pohlaví, chlapci převážně u nižší hranice tloušťky a dívky u vyššího udaného rozmezí. Standardy jsou stanoveny na základě měření kaliperem typu Harpenden a umožňují nám vytvořit si představu o rozložení tuku na vybraných lokalitách dětského těla. Obecně lze udat, že hodnoty mají klesající tendenci k věkové hranici nástupu dětí do povinné školní docházky a vzestupnou tendenci následně.

#### 4 ELASTO-MECHANICKÉ VLASTNOSTI MĚKKÉ TKÁNĚ

Elasto-mechanické vlastnosti se podílejí na hodnocení subkutánní tukové vrstvy, např. u vybrané metodiky, kaliperace. Měkké tkáně jsou tvořeny ze 75 % kolagenem, dále také elastinem, retikulinem a hy-drofilní rosolovitou mezibuněčnou hmotou. Např. Maurel (1998) se ve své práci věnoval zejména kvalitativním vlastnostem měkkých tkání, jejich složením a strukturou. Z odborného výstupu vyplývá, že z hlediska mechanických vlastností, je celková struktura měkkých tkání význačnější, nežli relativní podíl stavebních prvků.

Kolagenní tkáň je základním komponentem měkkých tkání a lidského organismu. Zahrnuje šlachy, vazy a kůži s podkožím. Jak jsme již zmínili, tyto tkáně jsou tvořeny těmito typy vláken: kolagen, elastin a retikulin v kombinaci s nevláknitým prostředím. Kolagenní vlákna činí tkáň silnou a pevnou a elastická pružnou, roztažnou (Kisner & Colby, 2012). Retikulinová vlákna poskytují objem. Základ tvoří gelová hmota, která je z převážné části formována vodou a redukuje tření mezi jednotlivými vláknitými strukturami. Mechanické chování šlach, vazů či kůže s podkožím je tak determinováno strukturální organizací vláken, jejich vlastnostmi a rozměry. Stejně jako každý jiný vláknitý materiál, efektivnost kolagenní tkáně je pouze při deformaci tahem. Vlákna šlach jsou uspořádána vždy paralelně, podobně je tomu u pokožky. Ligamenta, včetně kloubního pouzdra a fascie, jsou sestavena odlišně. Čím více jsou kloubní vazy vystavovány zatížení v určitém směru, v tomto směru mají paralelnější postavení. Vlákna šlach jsou uspořádána paralelně k zátěži, proto mají schopnost odolávat velkému nákladu. Nemnoho vláken pokožky je orientováno podélně k tahu a proto je tato struktura daleko křehčí (Kisner & Colby, 2012; Korhonen & Saarakkala, 2011).

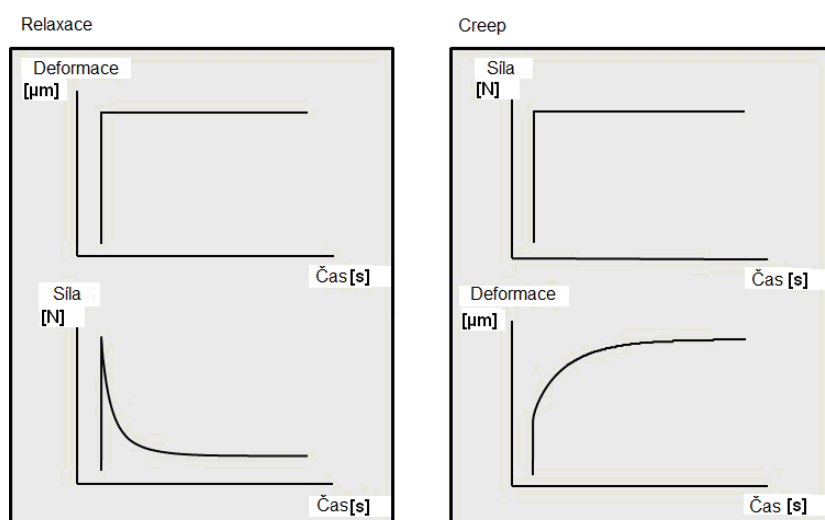
Kolagen a elastin se chovají při fyzické námaze odlišně. Kolagen vydrží déletrvající lehké zatížení. Pokud však zátěž roste, hmota tuhne a neplní již zcela svou dosavadní funkci. Naproti tomu vlákna elastinu mají velký podíl v dalším prodloužení dosavadní výdrže, ale selhávají náhle bez deformace při velkém zatížení. Kolagenní vlákna jsou pětikrát silnější spolu s elastinovými vlákny (Kisner & Colby, 2012).

## Nelineární pružnost

Patří mezi základní vlastnosti měkkých tkání. Vlivem tahu, paralelně vrstvená kolagenní tkáň vykazuje nelineární deformační chování. Vyznačuje se nízkým počátečním napětím tkáň se středně silným tahem, má vzestupnou tendenci a v maximu zůstává relativně konstantní, než dojde k prasknutí tkáň. Nízké napětí tkáň v klidu, je na počátku přičítáno zvlněnému uspořádání kolagenových vláken (Eskandari, Salcudean, Rohling, & Ohayon, 2008; Maurel, 1998). Před dosažením maximálního tahu má deformační křivka obvykle lineární charakter.

## Viskoelasticita

Měkké tkáň disponují také viskózními vlastnosti, které elastickému chování přidávají vazkost. Pokud tkáň není v rovnovážném stavu, pak je pružnost ovlivněna také předchozím působení, četnosti deformací. Dle Obr. 4 u měkké tkáň dochází vlivem deformace k visko-elastickému jevu, kterému se říká relaxace /tečení, creep/. Po náhlém natažení a setrvání tkáň v tomto stavu nastává pokles potřebné zátěžné síly pro udržení počáteční deformace (Eskandari et al., 2008; Kisner & Colby, 2012; Korhonen & Saarakkala, 2011).



Obr. 4 Destruktivní a nedestruktivní chování měkké tkáň (upraveno dle Korhonen & Saarakkala, 2011)

Při náhlém a udržovaném tahu se rychlost prodlužování tkáně postupně zmenšuje, dokud nenastane rovnovážný stav a hystereze. U které začíná, po opakovaném zatěžování a uvolňování, křivka reprezentující vztah mezi přetvořením a napětím vykazovat dvě rozdílné trajektorie (Kisner & Colby, 2012; Maurel, 1998).

Maurel (1998) dále uvádí, že měkké tkáně jsou téměř nestlačitelné a jejich specifické složení je nehomogenního /ve smyslu směru deformace/ a anizotropního charakteru. Jsou tvořeny převážně vodou, která zachovává stálý objem. Jejich elasticita je nelineární a vykazují také dočasné či trvalé plastické vlastnosti (Kisner & Colby, 2012). Množství vody se u dětí objevuje ve vyšší míře, celkově cca o 7 %, než je tomu u dvouletých a až o 15 % oproti dospělým jedincům (Duggan et al., 2008). Tato skutečnost může mít vliv na mechanické chování tkáně. Domníváme se, že při odečtu kožní řasy kaliperem, se podílí nejen obsah adipocytu, ale především pružnost fosfolipidové dvojvrstvy a přenos zatížení do vnějších struktur na výsledné deformaci.

#### *Youngův model pružnosti*

Youngův model pružnosti  $E$  charakterizuje tuhost a pružnost biomateriálu, jejíž hodnota dosahuje v období dětského věku nižších hodnot. Nižší hodnoty jsou charakteristické menší tuhostí a větší možné deformace počínající na povrchových vrstvách kůže. Prokázaná šetření bývají ovlivněna faktory převážně vnějšího prostředí /např. kinetika působícího napětí a amplituda, tloušťka kůže a podkoží, povrchové změny, počáteční napětí povrchu, ad/. (Diridillou et al., 2001). Tyto odchylky jsou individuální pro testovanou osobu a podléhají i změnám v čase.

#### *Počáteční napětí*

Počáteční napětí  $\sigma$  se zdvojnásobuje během dětství a pubescence kvůli růstu. Nejvyšších hodnot nabývá v rozmezí 10- 15 let u dívek a u chlapců mezi 15- 20 lety. Zpožděné období nástupu maximálního napětí je u chlapců způsobeno pravděpodobně pozdějším nástupem pubescence (Diridillou et al., 2001).

## Neobnovitelný podíl energie

Index s označením *UER* souvisí s kožní elasticitou. Nižších hodnot elasticity kůže nabývá až do období pubescence, kdy startuje vzestupná fáze těchto hodnot. Zvýšená hodnota indexu až o 60 % je typická pro seniory ve věku 80- 90 let a souvisí se stárnutím, konkrétně se snižující se hladinou glykosaminoglykanů. Energie je použita na viskózní deformace kůže a ztrácí se také prouděním intersticiální tekutiny při tahovém napětí (Diridillou et al., 2001).

Nejnovější materiál Korhonen & Saarakkala (2011) uvádí následné kompozitní parametry a elastické vlastnosti vybraných vazů a šlach *in vivo* v tabulce 10.

Tab. 10

Kompozitní složení a jejich elastické vlastnosti u měkkých tkání

	<b>Kolagen</b>	<b>Proteoglykan</b>	<b>Tekutiny</b>	<b>Youngův modul <i>E</i></b>
	<i>/%/</i>	<i>/%/</i>	<i>/%/</i>	<b>[MPa]</b>
<b>Kloubní chrupavka</b>	10- 20	5- 10	68- 85	~0.5 /komprese/
<b>Ligamenta</b>	20-30	pod 5	60- 70	">100 /tenze/
<b>Šlachy</b>	více než 30	méně než u ligament	60- 70	">1000 /tenze/

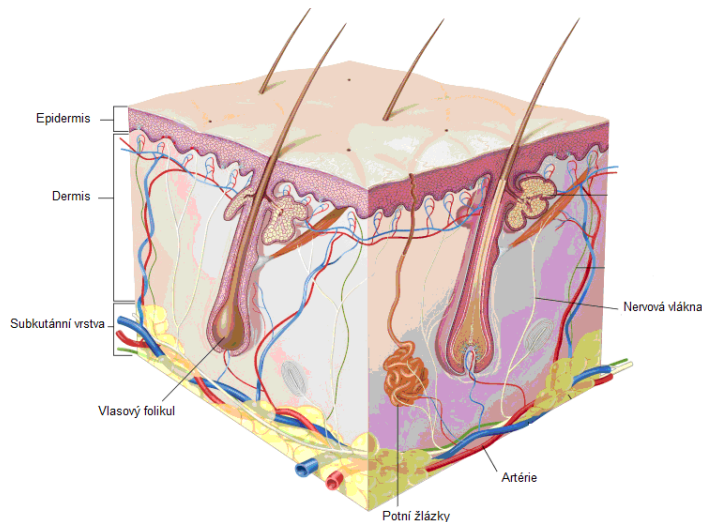
*Note.* From „Biomechanics and Modeling of Skeletal Soft Tissues,“ at R. K. Korhonen, & S. Saarakkala, 2011. *Theoretical Biomechanics.*

### 4.1 Elasto-mechanické vlastnosti více-vrstevnatých modelů

Pokud mluvíme o významu tukové tkáně jako mechanické obrany, tuková vrstva spolu s přilehlými vrstvami hraje zásadní roli při přenosu zatížení (Diridollou et al., 2001; Shergold & Fleck 2004; ad.). Rádi bychom přiblížili vlastnosti subkutánního tuku a sousedícího endokrinního orgánu z hlediska složení jako více-vrstevnatého modelu.

Přilehlé vrstvy kůže /obr. 5/, mají své specifické vlastnosti. Kůže je dělena do dvou membrán: poměrně tenkého vrstevnatého epitelu /epidermis/ a silnější vrstvy vláken kolagenu a elastinu /dermis/. Vlákná mají vliv na napětí tohoto orgánu. Kolagenní

vlákna jsou uspořádána zvlněně a jsou poddajnější. V tahu reverzibilně přesáhnou i 100 % původní délky a propojují i adipocyty subkutánního tuku, svalové fascie a další vrstvy. Odolnější vnější vrstvy chrání před mechanickým poškozením. Obecně se kolagen vyznačuje značnou tuhostí a pevností v tahu a elastin schopností pružné deformace v rozsahu až 150% (Kisner & Colby, 2012; Kompendium, 2000).



Obr. 5 Průřezový model kůže (upraveno dle PubMed Health, 2014)

Modelová šetření prozatím neukazují na specifické mechanické parametry, jejich dostupnost je velice omezená a prochází výrazným spurtem. Výjimku tvoří literární opora výzkumu s názvem „*Mechanics of skin layers*“ od M. Geerligse (2006), který popisuje mechanické parametry pro svrchní vrstvy životaschopné kůže od stratum corneum po dermis s hodnotou  $E = 9,4$  kPa, pro stratum corneum pouze 0,66 kPa.

Vybrané vlastnosti kůže spolu s hlubšími vrstvami *in vivo* byly měřeny ve vybrané studii Diridollou et al. (2000) na předloktí u rozsáhlého souboru 206 probandů ve věku od 6 měsíců do 90 let. Výsledky ukazují na významný vliv věku na zmíněné a další parametry. Byla zjištěna rostoucí tloušťka kůže u žen nad 50 let.  $E$  [kPa] se s věkem lineárně zvyšuje a  $\sigma_0$  se zvyšuje až do dospělosti, s vyšším věkem následně klesá. Hodnoty  $UER$  mají do období puberty vzestupnou a poté klesající tendenci. Udané průměrné hodnoty +/- směrodatná odchylka jsou následující.

$$E = 129 \pm 88 \text{ kPa,}$$

$$\sigma_0 = 13,5 \pm 5,$$

$$UER = 0,42 \pm 0,04$$



Hodnoty především u modulu pružnosti se velice liší /dle směrodatné odchylky/ a shrnout můžeme vliv mnoha faktorů: individuální rozdíly /věk, hydratace/, tloušťka, hloubka a lokalita hodnoceného lalůčku subkutánního tuku. Např. tukové polštářky na dlani ruky a plosce nohy jsou považovány za odlišné, protože obsahují mnohem vyšší poměr nenasycených proti nasycené mastné kyseliny, a proto jsou i morfologicky odlišné. Relativně malé rozdíly v tkáňovém složení existují také na jiných místech těla. Podstatné je, zda vybraný vzorek je odebrán biopsií či zkoumán na živém subjektu *in vivo* (př. Williams, Ji, Howell, & Canatser, 2007). Velikost okolní tkáně totiž poskytuje oporu a výsledné hodnoty prokazují reálné možnosti tkáně.

#### **4.2 Elasto-mechanické vlastnosti subkutánního tuku**

Mechanické chování podkožní tukové tkáně jako samostatné vrstvy je v literatuře rozsáhle ignorováno. Je známo, že tuhost subkutánního tuku je menší než kůže a s ostatními povrchovými vrstvami musí umožňovat volný pohyb svalových skupin. Mechanické vlastnosti jsou specifické také s ohledem na hloubku, rozložení /abdominální a gluteofemorální uložení tuku/ a lokalitu vzorku (Diridollou et al., 2000; Smith et al., 2001). Problematika viskoelastického chování podkožní tukové tkáně se objevuje výjimečně v některých studiích až v posledních letech (Geerligs, Peters, Ackermans, Oomens, & Baaijens, 2008) a povětšinou se nestává součástí studia spolu s přidruženými tkáněmi. Dostupné mechanické parametry jsou velice omezené, případně nejsou konzistentní vzhledem k tloušťce subkutánní tukové vrstvy a dalším proměnným.

Známa je nižší denzita tukové než beztukové hmoty a určujeme ji např. pomocí hydrodenzitometrie. Hodnota denzity tukové hmoty se pohybuje okolo  $0,9007 \text{ g/cm}^3$  a beztukové okolo  $1,100 \text{ g/cm}^3$ . Celková tělesná denzita je přímo úměrná podílu těchto dvou kompartmentů a blíží se hodnotě  $1 \text{ g/cm}^3$  (Hainer et al., 2011). Mez pevnosti tukové tkáně se u dospělého jedince pohybuje v rozmezí 42 MPa- 210 MPa (Karas & Otáhal, 1991). Monografie Lakes (2009, p. 243) uvádí hodnotu smykového modulu pružnosti  $E = 1,8 - 3,4 \text{ kPa}$  do  $50 \text{ rad/s}^{-1}$  platnou pro abdominální podkožní tuk.

## Vybrané studie mechanických parametrů tukové tkáně

Existují sporé zdroje, které charakterizují mechanické chování zvířecí tukové tkáně. Lidská tuková tkáň je z tohoto hlediska charakterizována v ještě menším měřítku, proto uvádíme příklady všech dostupných studií, počínaje charakteristickými vlastnostmi pro tvorbu vrstevnatých modelů.

Comley & Fleck (2010) popisuje mikromechanický model tukové tkáně prasat pro měření závislosti celkového efektivního modulu na moduly strukturních jednotek. Rastrovací elektronová mikroskopie a konfokální mikroskopie ukazují, že kolagenová síť kolem každého adipocytu se podobá struktuře s uzavřenými buňkami a relativní hustotou  $\rho_m = 0,1$ , zatímco kolagen interlobulárního septa se chová jako otevřená buněčná struktura relativní hustoty  $\rho_s = 3 \times 10^{-4}$ . Naměřená viskozita lipidu v adi-pocytu je  $\eta = 36,8$  mPa při teplotě 37 °C, což je málo na to, aby byl brán jako ideální nestlačitelný fluid. Modul tukové tkáně je dán tedy především kolagenovou sítí, která obklopuje adipocyty.

Geerligts, et al. (2008), se zaměřili se na hodnocení 70 vzorků této tkáně *ex vivo* u potkanů a výsledkem je Youngův model o průměrné hodnotě 3,71 kPa (primárně citováno v Samani & Plewes, 2004).

Většinu studií nelze srovnávat mezi sebou, protože metodiky, aplikované mechanické parametry se liší. Dalšími faktory neporovnatelnosti jsou použité odlišné velikosti vzorku *ex vivo* či působení na podkožní tkáň různých lokalit u subjektů *in vivo* (př. studie Alkhouli et al., 2013) různých individuálních charakteristik, které mají vliv na výsledné mechanické parametry. Uvádíme příklady dostupných recenzovaných materiálů, které poskytují potřebné mechanické parametry platné pro lidský tuk.

Na prsní tukové tkáni Van Houten, Doyley, Kennedy, Paulsen, & Weaver (2003) zjistili rozmezí modelu pružnosti  $E = 17-23$  kPa. Hodnota byla získána z parciálních diferenciálních rovnic popisující odhadové vlastnosti elastického média. Přesnou technologii MR Elastografie se získáním absolutních kvantitativních parametrů použil Weaver et al. (2005). Udává hodnotu modulu pružnosti ve smyku u subkutánního

tuku paty 8 kPa. Následná tabulka 11 sumarizuje poznatky vybraných mechanických parametrů u různých oblastí studia v převaze lidské tukové tkáně.

Tab. 11

Vybrané mechanické parametry tukové tkáně

<b>Metoda</b>	<b>Tělesná lokalita</b>	<b>Vlastnost [kPa]</b>	<b>Reference</b>
<b>Reologie</b> <i>in vitro</i>	Dorsum u prasete	$G' = 80-110$ $G'' = 20-30$	Geerligs (2005)
	Abdomen	$G' \sim 20-30$	Patel, Smith, & Patrick (2005)
<b>Ultrasonografie</b> <i>in vivo</i>	Palm. č. předloktí	$E = 6 \cdot C_{10} = 0,12$	Hendriks et al. (2006)
	Předloktí	$G = 3,10-9,68$	Gennison et al. (2006)
<b>MR Elastografie</b> <i>in vivo</i>	Pata	$G \sim 8$	Weaver et al. (2005)
	Prsní tkáň	$E = 17 \pm 3$ až $23 \pm 4$	Van Houten et al. (2003)
	Prsní tkáň	$E = 18 \pm 7$ až $22 \pm 12$	Krouskop, Wheeler, Kallel, Gara, & Hall (1998)
	Prsní tkáň	$E = 5-50$	Sarvazyan, Skovoroda, & Emelianov (1995)

*Note.*  $\pm$  = směrodatná odchylka. From „A literature review of the mechanical behavior of the stratum corneum, the living epidermis and the subcutaneous tissue,“ at M. Geerligs, 2006, p. 27.

Reologické hodnocení Geerligse (2005) proběhlo za použití rotačního reometru. Získané deformační křivka poskytují výchozí odhady pro vlastní kompresní měření, které lze rozvinout studiem modulů s časovým odstupem. Z uvedených hodnot je zřejmé, že měkká prsní tkáň má podobné mechanické parametry Youngova modulu pružnosti.  $E$  kolísá v rozmezí 0,12 až 50 kPa působením smyku. Vybrané studie prezentují hodnoty maximálně do 100 kPa a byly aplikovány na více než šesti vzorcích tkáně.

Význam těchto typů měření lze předesíť podle typu vybraných výzkumů. Do popředí zájmu se dostává např.: sledování podkožní tkáně prsu kvůli včasné detekci případného zhoubného nádoru (Samani, Zubovit, & Plewes, 2007) pro obory plastická a rekonstrukční chirurgie (Sommer et al., 2013) či v boji proti nadváze a obezitě studiem možných regulací adipogeneze (Young, Choi, Engler, & Christman, 2013), ad.

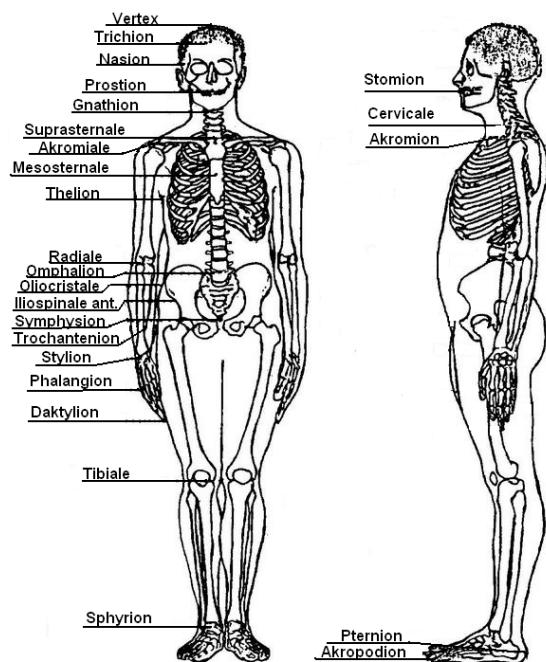
## 5 METODY HODNOCENÍ DISTRIBUCE TUKOVÉ TKÁNĚ

Existují četné metodiky, kterými lze hodnotit distribuci bílé tukové tkáně. Mezi základní metody patří antropometrie, somatometrie. Specifické metody zahrnují měření pomocí moderních přístrojů, hojně užívaných ve zdravotnictví. Cílem bývá převážně hodnocení rozložení subkutánního a viscerálního tuku, se zaměřením na centrální distribuci z hlediska zdravotního. V odborných studiích se setkáváme nejčastěji s prezentací dat za použití metod „zlatého standardu“ nebo hodnocení reliability a validity základních se specifickými. Hnědá tuková tkáň se vyšetřuje odlišnými metodami (Pyšná & Pyšný, 2010) než poskytuje vlastní spis.

### 5.1 Základní antropometrie

Obor antropometrie je součástí funkční antropologie a „zabývá se měřením, popisem a rozborem tělesných znaků charakterizujících růst či stavbu těla“. Zaměřuje se na morfologickou variabilitu komponent těla v různých fázích lidského života (Kohlíková, 2006; Novotný, Hrazdira, Bernacikova, Sebera, & Chaloupecká, 2003). Faktory podílející se na rozvoji sledovaných parametrů jsou zejména genetické faktory, životní styl a pokles či nárůst pohybové aktivity člověka.

Sledují se délkové, šířkové a obvodové parametry s přesností na 0,5 cm a tělesná hmotnost s přesností na 0,1 kg (Kohlíková, 2006; Novotný et al., 2003). Tělesné charakteristiky jsou hodnoceny s ohledem na vývojová stádia u dětí /prenatální, postnatální, atd./. Selekcce a vlastní měření tělesných parametrů koresponduje s možnou fyziologickou odchylkou, typickou pro vývojová stádia dětské populace. Pro zajištění standardizace a možného srovnávání s normami využíváme přehled antropometrických bodů /obr. 6/ a přesný popis měření.



Obr. 6 Přehled základních antropometrických bodů (upraveno dle Riegerová & Ulbrichová, 1998)

Pro hodnocení nutričního stavu, růstu a vývoje dětské kategorie se nejčastěji používá antropometrický obvod s označením M65- střední obvod paže, srovnatelný s tabelárními hodnotami a grafy české i světové populace. Tento obvod vyměřujeme ve střední vzdálenosti mezi akromiale a olecranon ulny (Kohlíková, 2006). Determinuje průměr humeru a rozvoj měkkých tkání /musculus triceps brachii, musculus biceps brachii a tělesného tuku/. Tělesných obvodů existuje celá řada, ale populační norma pro děti uvádí pouze některé.

Další možností je využití některých antropometrických parametrů pro stanovení tzv. výškovo-váhových indexů, např. Brocův či hojně užívaný Body Mass Index, ad. Tyto indexy jsou hojně užívány a pro standardně tělesně rostlé jedince uplatnitelné. Výjimku tvoří jedinci s nestandardně rozličným podílem složek aktivní tělesné hmoty, např: tělesné vody /otoky/ či svalové hmoty /vzpěrači, kulturisté/.

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

Mezi nejznámější poměry tělesných obvodů patří Waist-hip Ratio /WHR/:

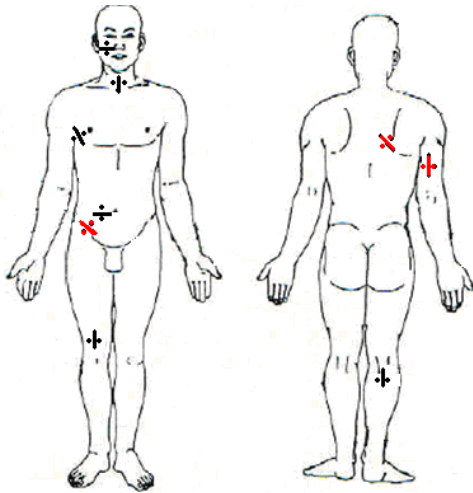
$$\text{WHR} = \frac{\text{Obvod pasu [cm]}}{\text{Obvod boků [cm]}}$$

Uvedený index centrální obezity WHR ukazuje na rizikovost vzniku kardio-vaskulárních, aj. onemocnění a není použitelný pro jedince s velmi nízkým množstvím tukové hmoty.

### 5.1.1 Kaliperace

Pro stanovení relativní hmotnosti depotní tukové tkáně  $/m_t/$ , zahrnující veškerý mobilizovatelný tuk, využíváme normalizovanou metodu Prof. Pařízkové (např. Pařízková, 1977), kaliperaci. Jedná se o neinvazivní, rychlou a relativně nenákladnou metodu. Hodnocení množství tuku probíhá lokálně či součtem řas dle standardizovaných rovnic na odhad celkového množství tuku v % původně v Durninovi & Womersley (1974), Jackson & Pollock (1978), Petroski (2003) ad., či nově v monografii Samour & King (2013). Rutinní praxe slouží k hodnocení a sledování nutričního stavu dětí a dospělých. Tloušťka kožních řas se zjišťuje na 1-99 lokalitách lidského těla. Výhodou je možnost srovnání distribuce tuku v různých kompartmentech těla u různých věkových kategorií. Normy jsou dostupné pro dětské kategorie 0-3 roky dle Prader, Largo, Molinari, & Issler (1989) a 3-18 let dle Vignero-rová & Bláha (2001).

Tloušťku podkožní vrstvy měříme mezi dvěma hroty kaliperu o konstantním průměru, které jsou v okamžiku odečtení k sobě přitlačovány silou, např. 2 Newtony /200 g/ u kaliperu typu Best. Přesnost přítlačku ověřujeme v poloze „ryska proti rysce“. Z obrázku 7 lze odečíst správný směr uchycení a vytažení kožní řasy na 10 lokalitách lidského těla.



Obr. 7 Základní lokality pro snímání tloušťky kožních řas (upraveno dle Kohlíková, 2006)

Množství hodnocených řas je velice důležité pro zajištění přesnosti celkového tělesného tuku. Nejčastěji se však hodnotí pouze 3 základní kožní řasy, červeně, dle obrázku 7 frontálně suprailiacální, dorsálně tricipitální a subscapulární kožní řasa, které tvoří bázi pro procentuální odhad množství celkového tuku. Obecně se hodnocení tloušťky subscapulární a tricipitální řasy používají k hodnocení trunkálního tuku. Tricipitální kožní řasa obvykle vysoce koreluje s celkovým množstvím tělesného a je velice dobrým ukazatelem končetinového tuku. Výjimku tvoří jedinci s asymetrií ukládání. Suprailiacální řasa se měří těsně nad crista iliaca anterior (Krásničanová, 1998) a je ukazatelem tuku v oblasti abdominální, který se s věkem až několikanásobně zvyšuje.

Metodika obnáší použití vybraného typu kaliperu, které nejsou na českém trhu dostupné. Nejčastěji je však používán český Bestův, britský Harpenden či švýcarský typ Holtain. Principiálně se jedná o dvojí možné přiložení hrotů, rozevřením a povelím /typ Harpenden/ či sevřením ramen /typ Best/. Uchopení a vytažení kožní řasy nelze provést u vyšších stupňů obezity. U morbidně obézních můžeme tuto metodu zcela vyloučit. Nadměrná tuková vrstva výrazně přiléhá ke spodním vrstvám a je obtížné ji oddělit od spodních struktur.



### **5.1.1.1 Faktory ovlivňující měření**

Zajištění validity a reliability měření probíhá při dodržování pravidelné údržby, kontrolou standardizovaného přítlaku. Kaliper by měl být v příslušenství vybaven kalibračním závažím. Pokud používáme šroubovatelný typ z pevného materiálu, lze upravovat případnou „únavu“ přítlačného pera. Testující by se měl vyvarovat použití finančně dostupnějších kaliperů z měkkého materiálu s vůlí ramen. Tyto typy nejsou schopny zaručit přesnost měření z důvodu deformace materiálu již při nízkém působení tlaku.

Validitu a reliabilitu metody lze ovlivnit také technikou testujícího, který by měl být schopen dle Novotného (2013) zajistit určitý tah kožní řasy dle subkutánního vrstvení /lomivosti kůže/ a posoudit tloušťku kožní řasy do 2- 3 sekund. Vyšetřující by měl mít rozšířené zkušenosti ověřené předchozími měřeními. Opakované měření či delší komprese řasy by mohla vést k falešně nižším odečteným hodnotám dle Datového Standardu Ministerstva Zdravotnictví České republiky (DS MZČR, n.d.). Příčinou může být deformace buněk a vytlačování tělesné vody od hrotů kaliperu.

## **5.2 Bioelektrická impedanční analýza**

BIA patří mezi metody využívající moderní přístrojové vybavení. Je prostředkem hojně užívaným zejména výživovými poradci, trenéry fitness, ale také lékaři k detekci podílu komponentů v těle. Predikční rovnice, které vyjadřují podíl tělesných kompozit, vycházejí ze standardů antropometrických měření. Radíme ji mezi finančně dostupné speciální metody, které jsou vhodné pro svou terénní využitelnost. K dalším speciálním metodám patří např. ultrasonografie /UZ/, hydrodenzitometrie, DEXA, počítačová tomografie /CT/ ad. (Samour & King, 2013). Ty jsou označovány jako referenční metody s vysokou validitou a reliabilitou. Níže popisujeme fyzikální proměnné BIA a základní informace k instrumentaci v následné kap. 5.2.1.

## Bioimpedance

BIA vychází z impedance  $Z$  [ohm,  $\Omega$ ], kterou vyjadřujeme dle Ohmova zákona:

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

kde  $U$  = napětí [V] a  $I$  = proud [A]. Impedance odporu /rezistence/  $R$  odpovídá vztahu:

$$Z = R$$

V závislosti na faktorech upřesňujeme rovnici dle Preedyho (2012):

$$Z = \frac{U(t) = v_{max} \sin(\omega t + \varphi_v)}{I(t) = i_{max} \sin(\omega t + \varphi_I)}$$

kde  $t$  = čas,  $\varphi$  = fázový úhel,  $\omega$  = úhlová frekvence,  $I$  = proud a  $U$  = napětí.

Impedance se nejčastěji vyjadřuje rezistencí  $R$  a imaginární složkou reaktancí  $X_c$ .

$$Z = R + jX_c$$

Tento vztah Preedy (2012), primárně Cole & Cole (1941), rozvádí o složitou řadu impedancí  $R + jX_c$  s jednou časovou konstantou. Děj je řízen v tkáňovém prostředí dle následující rovnice.

$$Z = R + \frac{R_0 - R_\infty}{1 + (j\omega\tau_0)^\alpha}$$

kde  $Z$  = impedance,  $R_0$  rezistence na  $f = 0$ ,  $R_\infty$  rezistence při  $f = \infty$ ,  $\tau$  časová konstanta.

Cole & Cole (1941) uvádějí, že formule je platná za předpokladu uplatnění poloměru v půlkruhu  $(R_0 - R_\infty)/2$ , přičemž reálný  $R_e$  a imaginární složka  $Im$  jsou neznámé.

Za předpokladu aplikace metody na tkáň se středem  $Im=0$  a  $Re=(R_0 - R)/2$  vychází následující vztah pro reálnou praxi primárně dle Schwana & Kaye (1957).

$$Z_f = R_\infty + \frac{R_0 - R_\infty}{1 + j\omega\tau_0^{(1-\alpha)}}$$

kde  $Z_f$  = impedance určité frekvence.

### *Permitivita, kapacita, vodivost*

Extracelulární prostor disponuje relativní permitivitou  $\epsilon_r=80$ . Díky i výše zmíněným parametrům můžeme buněčnou hmotu pokládat za roztok o měrné vodivosti  $y_n$  /měrném odporu  $\rho_n$ / a permitivitě  $\epsilon_n$  /index  $n$  označuje rozdílnost parametrů intracelulární a extracelulární tekutiny s buněčnou membránou/. Tkáň o měrné vodivosti  $y$  a permitivitě  $\epsilon$  lze modelovat paralelním RC obvodem, kde je odpor  $R$  úměrný převrácené hodnotě měrné vodivosti  $\acute{z}$  a kapacita je úměrná permitivitě  $\epsilon$ . Permitivita, ve shodě se svým fyzikálním rozměrem F/m, má tedy především význam měrné kapacity. Nadále vzniká proud  $I$  [A] vyjádřen vztahem,

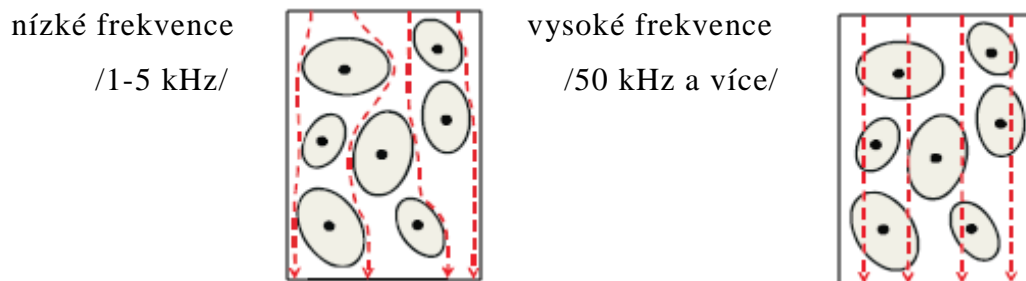
$$I = (G + j\omega C) \cdot U,$$

kde  $G$  je vodivost [S],  $\omega = 2\pi f$ ,  $f$  je frekvence harmonického napětí,  $C$  je kapacita [F] a  $U$  je napětí [V]. Rovnice vyjadřuje tekoucí proud dvěma paralelně spojenými větvemi. Jedna větev představuje rezistor s vodivostí  $G$  a druhá kapacitor o kapacitě  $C$  (Hrazdira, 2008; Hrazdira, Mornstein, & Škorpíková, 2006).

### *Frekvence*

Tok proudu je také ovlivněn jeho frekvencí /obr. 8/. Dle Stablové, Skorocké, & Bunce (2012) nízké frekvence /1-5 kHz/ procházejí extracelulárním prostorem a vysoké frekvence /např. 50, 100 Hz a více/ snižují odpor kondenzátorů a odtok proudu

následuje intracelulární prostor. Tkáň jako masa buněk a mezibuněčného prostoru má kapacitní vlastnosti. Čím vyšší frekvence, tím nižší impedance (Grimnes & Martinsen, 2006).



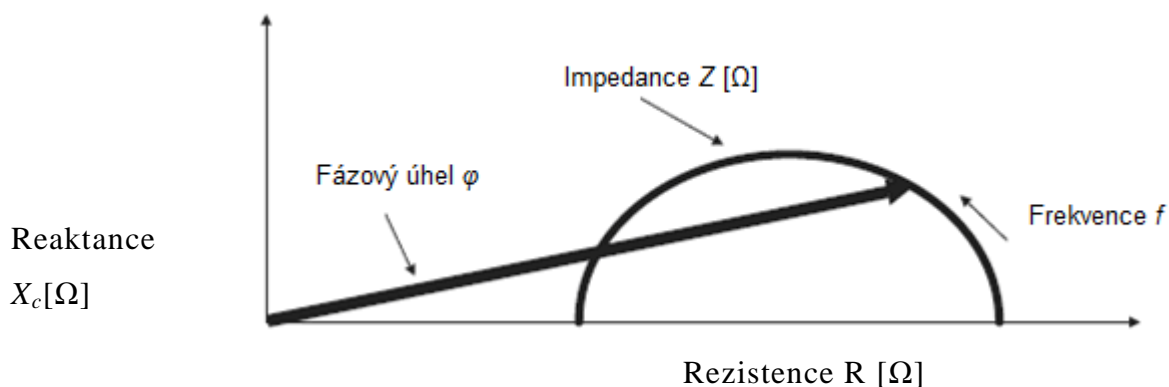
Obr. 8 Tok proudu organickou tkání závislý na frekvenci (upraveno dle Weyer, Röthlinshöfer, Walter, & Leonhardt, 2012)

### *Fázový úhel*

Při znalosti obou složek  $R$  a  $X_c$  dosáhneme hodnoty impedance a fázového úhlu  $\varphi$  pomocí tangenty (Preedy, 2012):

$$\arctg\varphi = \frac{X_c}{R}$$

S odporem toku proudu u živé hmoty se fázový úhel posouvá s ohledem na proud v čase. Úhel sinusoidní vlny střídavého proudu měříme ve stupních /obr. 9/. Za předpokladu, že lidské tělo tvoří jen buněčné membrány, by měl mít fázový úhel velikost  $90^\circ$ , čistá voda má příkladem úhel  $0^\circ$ . Závisí tedy na množství buněčných membrán a mase intra- a extracelulární hmoty. Nízký fázový úhel značí nízkou reaktanci, nezpůsobilost buněk skladovat energii či porušení buněk v oblasti selektivní permeability membrán. Vysoký fázový úhel odpovídá vysoké reaktanci, která indikuje velké množství neporušených buněčných membrán a masy tělních buněk (Grimnes & Martinsen, 2008; Kyle et al., 2004).



Obr. 9 Grafické znázornění vztahu proměnných BIA (upraveno dle Kyle et al., 2004), kde  $Z$ = impedance,  $R$ = rezistence,  $X_c$ = reaktance,  $\varphi$ = fázový úhel.

### Admittance

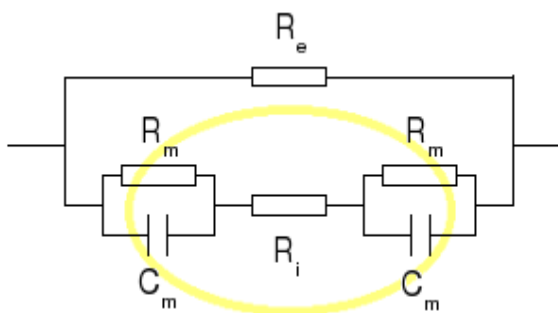
U některých impedančních elektrických schémat lze brát v úvahu admitanční verzi. Admittance  $Y$  [Siemens, S] je dána převrácenou hodnotou impedance.

$$Y = \frac{I}{U} = \frac{I}{Z} = G + jB,$$

kde  $Z$  značí impedanci součástek,  $G$  představuje reálnou složku admitance  $Y$  konduktanci a imaginární složka  $B$  značí susceptanci.

#### 5.2.1 Princip BIA

Pro pochopení základních principů je zásadní znalost základní jednotky lidského těla, buňky. Buňka je tvořena skupinou organel v buněčném prostoru uzavřená dvojitou vrstvou lipidů a proteiny v plazmatické membráně. Membrána má povahu kondenzátoru s odporem  $100 \Omega \cdot \text{cm}$  stejně jako intracelulární prostor s ionty. Extracelulární prostor disponuje nižší impedancí,  $60 \Omega \cdot \text{cm}$  /obr. 10/ (Webster, 1998). Pro příklad uvádíme měrnou vodivost cytoplasmy a extracelulárního prostoru =  $0,2-1,0 \text{ s/m}$  a buněčných membrán  $10^{-6}-10^{-8} \text{ s/m}$  (Uhrová, n.d.).



Obr. 10 Elektronický model buňky (převzato z Tabuenca (2009), kde  $R_m$  a  $C_m$  představují impedanci membránovou,  $R_e$  externí odpor kapaliny, a  $R_i$  intracelulární odpor.

Žlutá elipsa označuje hranici vnitřního a vnějšího prostoru buňky. Tento model představuje určitou buňku v lidském těle. Buňka příslušné tkáně má však rozdílnou velikost a také elektrický potenciál na základě rozpuštěných iontových solí (Tabuenca, 2009). Živá buňka či tkáň je specifická svými mechanismy, obsahem elektrolytů v každé buňce a oproti mrtvému materiálu se odlišně podílí i na vedení elektrického signálu.

Celkovou impedanci všech tělesných lokalit tvoří již soubory buněk s okolním prostředím. Závisí na složení biomateriálu /v našem případě organické tkáně/, který netvoří homogenní strukturu. Je složitou konstrukcí různých typů tkání, s rozličnými vlastnostmi a rozložením. Hodnota impedance je pro každou buňku či tkáň odlišná. Příkladem vodivé tělesné složky je krev. Disponuje malým počtem elementů, nacházejících se v plasmě, prostředí bohatém na ionty, které usnadňuje šíření elektrického signálu. Naproti tomu kostní tkáň je tvořena „suchými“ a pevnými kostními buňkami s velkým odporem /tab. 12/.

Tab. 12

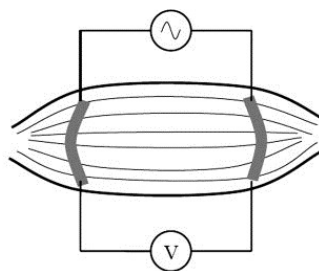
Bioimpedance vybraných tkání při  $f= 100\text{kHz}$ 

<b>Tkáň</b>	<b>Impedance Z [<math>\Omega \cdot \text{cm}</math>]</b>
<b>Krev</b>	142
<b>Kosterní sval</b>	125 /podélně/ 1800 /transversálně/
<b>Srdeční sval</b>	160 /podélně/ 424 /transversálně/
<b>Tuk</b>	4097
<b>Kost</b>	16600

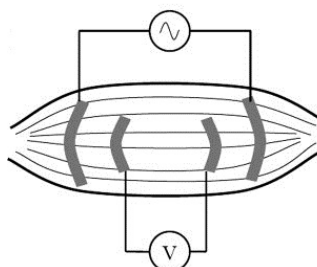
*Note.* From „*Bioimpedance & bioelectricity, basics,*“  
at S. Grimnes & Ø.G. Martinsen, 2008.

Bioelektrická metoda je neinvazivní technikou, použitelnou také při terénním šetření. Nejčastěji jsou používány Bodystaty bipedální či bimanuální, které určují podíly jednotlivých komponent těla v oblasti dolní části a horní části těla zvlášť. Přesnější je použití obou těchto analýz pro hodnocení celkového tělesného složení (Hainer a kol., 2011). Další typy dělíme dle počtu a využití elektrod. Bipolární měření zahrnuje 2 elektrody, kterými proudí elektrický signál do těla a také ho přijímají /obr. 11/. Volba bipolárního typu měření není vhodná. Rozložení iontů a jejich pohyb velmi výrazně ovlivňuje výsledek měření. Při použití tetrapolárních elektrod je článek rozdělen na elektrochemický a elektrolytický. Elektrody vysílající elektrický signál nejsou totožné s přijímajícími, a proto nedochází k poklesu elektrického proudu při průchodu biomateriálem a impedance elektrody nemá vliv na měřené napětí  $U$  (Grimnes & Martinsen, 2007; Šulc, 2008).

bipolární princip měření



tetrapolární princip měření



Obr. 11 Základní principy systému umístění elektrod (upraveno dle Rutkove, 2009)

Monofrekvenční typy přístrojů využívají elektrický proud o určité velikosti  $I$  [A] a frekvenci nejčastěji  $f= 50$  kHz. S využitím jediného elektrického signálu jediné frekvence však může docházet k zavádějícím výsledným hodnotám, zejména poměru celkové vody /popř. podílu intracelulární a extracelulární/. Multifrekvenční přístroje využívají vedení více elektrických signálů různých frekvencí /nejčastěji 0, 1, 5, 10, 50, 100, 200 a 500 kHz/, proudících do veškerého buněčného prostředí a jsou přesnější variantou měření tukové a beztukové složky organismu. Dle Patela, Petersona, Silvermana, & Zarowitza (1996) v některých případech dochází k nepřesnostem u zmíněných okrajových hodnot elektrických signálů s frekvencemi pod 5 kHz a nad 200 kHz, zejména u kriticky nemocných pacientů. Predikční rovnice jsou stanoveny na základě hodnot získaných u zdravé populace.

### *Elektrody a přenos toku proudu*

Elektrody tvoří rozhraní mezi tělem a elektronickým zařízením, které měří aktuální hodnotu bioimpedance. Elektrický signál proudící do těla je veden po iontové dráze, zatímco Bodystat vysílá a zachycuje proud prostřednictvím elektronů a vyhodnocuje bioimpedanci. Konverze závisí především na poločlankové reakci, oxidačně-redukční. Elektrický signál je vysílán přes kovové články přístroje, to způsobuje oxidačně-redukční reakci, při které dochází k odebrání kationů v elektrolytu. Podílející se anionty reagují obdobně. Jakmile se dostanou k povrchu elektrody, jsou



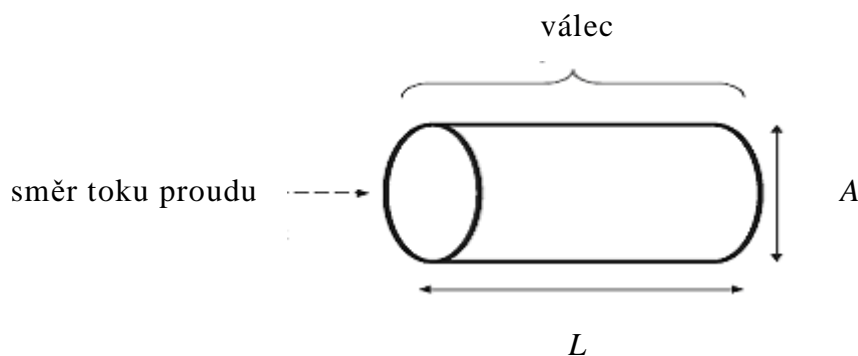
oxidovány a neutralizovány. Pokud se podíl kladně nabitých částic sníží, sníží se také počet záporně nabitých. Jakákoliv změna odporu vnitřního prostředí může ovlivnit poločlánkovou reakci (Růbal, 2012; Webster, 1998) a tím i stanovení poměru jednotlivých komponent těla. Dle Preedy (2012) odpor elektrody s frekvencí klesá spolu s potenciálem poločlánku.



Starší zdroje Patentscope (1996) a Heyward & Wagner (2004) uvádějí konstantní proud o velikosti  $0,8 \mu\text{A}$ . Dle novějších odborných výstupů elektrický signál kolísá v rozmezí  $0,4- 0,8 \mu\text{A}$  (Stablová et al., 2012) u tetrapolárního uspořádání elektrod, či dokonce v rozmezí  $0,2- 0,8 \mu\text{A}$  dle Preedy (2012). Velikost kontaktního povrchu pro umístění elektrody a přenos signálu by vzhledem k možné variance velikosti proudu neměla být menší než  $4 \text{ cm}^2$ . Přechodový odpor mezi elektrodou a povrchem kůže pro zachování standardizace není menší než  $250 \text{ Ohmů}$  (Stablová et al., 2012).

### *Tělesný model*

Pro detekci impedance tělesných složek je využíván model válce /obr. 12/, který představuje tělesný segment o délce  $L$ , jednotném příčném průřezu  $A$  a hustotě  $\rho$ .



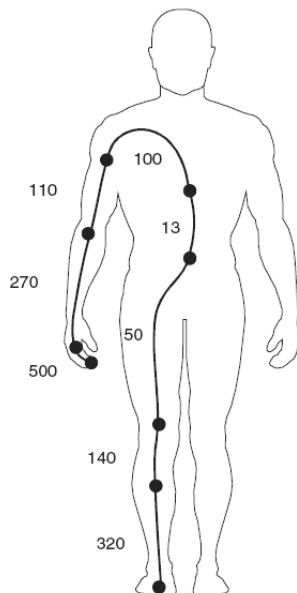
Obr. 12 Model válce

Základní vztah dle Preedy (2012) je dán formulí:

$$R = \rho \cdot \frac{L}{A}$$

I když tělo netvoří jednotné válce a obsah vody v jednotlivých tkáních není konstantní, existuje empirický vztah mezi impedančním kvocientem  $L^2/R$  a objemem vody obsahující elektrolyty, umožňující tok proudu. Jednotlivé tělesné segmenty lze hodnotit na základě znalosti tělesné výšky a hmotnosti testovaného, který může vykazovat anatomické odchylky, např. různé tvarové variace těla či jednotlivých segmentů (Kyle et al., 2004; Preedy, 2012).

Trup je specifickým tělesným segmentem, který je v rámci BIA hodnocen nejčastěji v závislosti na riziku nadměrné distribuce tuku. Ukazatel impedance thoraxu je nejnižší, udávané hodnoty dle Preedy (2012) jsou  $60 \Omega$ . Je to dáno velikostí průřezu  $A$  a výslednou impedanci mohutně ovlivňují také hemodynamické parametry. Nejvyšších hodnot bioimpedance dosahují tělesná zakončení /např. články prstů ruky/. Nejvyšších hodnot dosahují dle Preedy (2012) segmenty malleolus-genu a carpus-cubitus. Prstová tělesná zakončení /digitus/ nespádají do celkové impedance. Elektrický signál běžně teče do elektrody umístěné do lokalit malleolus- carpus. Orientační hodnoty impedance vybraných tělesných segmentů je znázorněna na Obr. 13. Přesnost technologií považujeme za zásadní. U odchylek bioimpedance trupu by měly 2-3  $\Omega$  výrazný vliv na výsledky analýzy.



Obr. 13 Vybrané hodnoty lokální impedance [ $\Omega$ ] (převzato z Grimnese & Martinsena, 2006)

Je výhodné vycházet z hodnot výsledné impedance i znalostí elektrického schématu, aby byly výsledné hodnoty, popř. diagnostický závěr co nejpřesnější. Na základě výsledných hodnot můžeme konstatovat některé morfologické zvláštnosti, které mohou mít vliv na funkci měřeného tělesného segmentu.

### 5.2.2 Faktory ovlivňující měření

Dochází k množství situací kromě těch nedetekovatelných přístrojovou chybou, při kterých Bodystat udává „*výsledky mohou být nepřesné*“. Výsledné hodnoty převážně ukazují na odchylku v hodnotách bioimpedance. V druhém případě může docházet k chybě měření /„*error*“/. Na základě toho výsledky přístroj nezobrazuje, případně doporučuje kontrolu, např. upevnění elektrod. Příčinu těchto označení však přístroj neupřesňuje. Dle Bunce, Kellera, Zahálky, Dlouhé, & Moravcové (1999) se přesnost stanovení procentuálního zastoupení tuku pomocí predikčních rovnic pohybuje s odchylkou v rozmezí 0,8- 1,8 % z naměřené hodnoty.

V první řadě je nutné kalibrovat přístroj pro zajištění přesnosti měření dle manuálu. Další faktory, které mohou ovlivnit nejen chyby měření, ale především validitu a reliabilitu zvolené metodiky, zmiňujeme rozsáhleji níže s vlastními domněnkami.

#### *Hydratace a kožní impedance*

Vedení elektrického proudu v tkáních zajišťují ionty a jakákoliv změna v iontové koncentraci ovlivňuje výslednou bioimpedanci. Zásadní je tedy optimální hodnota tkáňová hydratace. Testovaný jedinec by měl zachovat přirozenou hydrataci pokožky a neovlivňovat celkovou hydrataci organismu. Před samotným vyšetřením by se měl vyhnout použití tělového mléka, sprchování, příjmu tekutin i stravy, intenzivnímu tělesnému cvičení atd.

Rozdíly vybraných proměnných závisí na také na hydrataci svrchních vrstev kůže. Samotný povrch pokožky- epidermis, má vysoký odpor, avšak při nedodrženém doporučení či proměnlivých podmínkách prostředí může docházet k odchýlkám měrného odporu a procházejícího proudu. Hodnoty kožní impedance mohou kolísat

s ohledem na faktory, které působí na rozhraní dvou prostředí. Vlastní kožní impedance je závislá na měřeném místě a podléhá změnám v čase, podmíněné fyziologicky i patologicky /např. periodické změny kožního odporu, lokální změny kožního odporu tzv. Headovy zóny, kožně galvanický reflex, ad/. Proměnné faktory se snažíme eliminovat a stabilizovat podmínky, abychom předešli možným nepřesnostem. K největšímu ovlivnění dochází při působení tlaku měřících elektrod na povrch kůže /především elektrod s menším průměrem/. Existují elektrody, které mají nastavitelnou hodnotu tlaku a měřené hodnoty odečítáme až po určitém časovém úseku od přiložení. Jejich průměr by měl být při každém měření stejný. Velikost proudu je závislá na kožní impedanci také. Nelinearita odporu kůže může nepřímo ovlivnit velikost procházejícího proudu dle Grimnese & Martinsena (2008). Při některých šetřeních se používají speciální gely či jiné suspenze, jejichž použitím se desinfikuje povrch kůže. Kožní povrch může obsahovat mikrokapénky potu /vyšší obsah iontů=> nižší výchozí velikost proudu/. Formalin dokonce tlumí činnost potných žlázek před měřením. Pro specifickou diagnostiku může být použito můstkové měření, tzv. dermatoohmetrií či elektrodermatometrií.

### *Tělesná teplota*

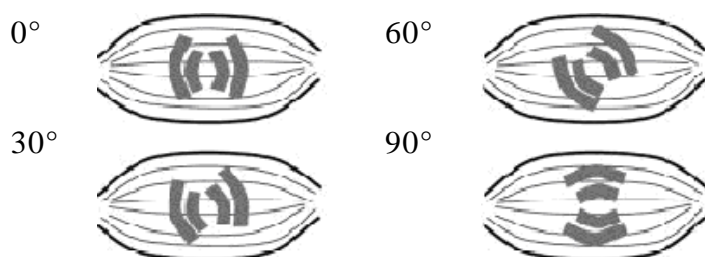
Zvýšená tělesná teplota snižuje bioimpedanci a usnadňuje tok proudu iontovým prostředím a zkracuje relaxační časy spolu s přírůstkem permitivity dle Grimnese & Martinsena (2008). Toto lze brát v úvahu pouze při ztrátě konstance teploty živé tkáně nebo při měřeních na tkáni ex vivo, která je charakteristická teplotou dle okolního prostředí či nižší.

### *Elektrické vlastnosti vlastního biomateriálu*

Jedinečné složení buněk a tkání může ovlivnit permitivitu tkání /vztah intenzity elektrického pole a elektrické indukce/. Dle Grimnese & Martinsena (2008) v okamžiku průchodu proudu tkání na určité frekvenci dochází k polarizaci a repolarizaci oblasti. Při vyšších frekvencích se některé typy buněk ocitají v tzv. relaxaci a nestíhají se vrátit do depolarizovaného stavu. Jedná se např. o složité struktury proteinů, které zůstávají déle ve stavu polarizace. Opakovaným měřením v krátkém časovém intervalu tak může dojít k odchýlkám.

### *Tkáňové struktury*

Anizotropní chování některých tkání, např. příčně pruhovaného svalstva a kostní tkáně, je založeno na odlišných biofyzikálních vlastnostech v různém směru. Anizotropie tedy ovlivňuje tok proudu vyšší frekvence extracelulárním prostorem a tedy i výslednou bioimpedanci, např. odpor kosterního svalstva je několikanásobně větší v podélném směru dle Obr. 14 než v příčném.



*Obr. 14* Aplikace toku proudu na orientaci svalových vláken (upraveno dle Rutkove, 2009)

### *Hemodynamické parametry*

Měřicí systémy impedance využívají konstantní velikost proudu procházejícího jednotlivými segmenty těla. Bioimpedance proudu v segmentu vytváří rozdíl napětí na jednotlivých segmentech těla. Amplituda napětí elektrické vodivosti segmentů se mění v důsledku změn krevního objemu, rychlosti průtoku krve ad., které se stávají měničem impedance (Grimnes, Martinsen, 2008). Dalo by se tvrdit, že zvýšený průtok krve i po zklidnění probanda, může být dán i jeho psychickým vypětím, které nemůžeme při klidovém měření více ovlivnit. Přístroj nezohledňuje možné změny průtoku krve v jednotlivých segmentech, což by bylo zásadní především u segmentální analýzy trupu, kde se výrazně podílejí na impedanci hemodynamické parametry, především tepový objem břišní aorty, myokardu atd. Další změny průtoku krve nastávají u po-ruch prokrvení některých částí těla /např. dolních končetin/. Tento případ naopak bioimpedanci nedokrevných segmentů zvyšuje.

### *Atmosférické podmínky*

Atmosférické podmínky by měly být konstantní při porovnávání dvou výsledných hodnot s časovým odstupem. Aktuální vlhkost vzduchu v místnosti může ovlivnit vlhkost pokožky rovněž. Měla by být zachována standardní atmosférická vlhkost. Měření v prostorách s vysokou vlhkostí /plavecká hala, sušárna, laboratoř s otevřenou místností po sprchování/ a teplotou vzduchu /nadměrné pocení probanda/ proto není vhodné kvůli klesajícímu odporu povrchu pokožky.

### *Možné odchylky přístrojového nastavení*

Detektory bioimpedance mají několik po sobě jdoucích úrovní zesilovačů obvodů a každý z nich nežádoucím způsobem přidává na odstavu přenosu informace a přístroj tak zvyšuje hodnotu proudu /také v závislosti na kožní impedanci/. Dle Holdera (2005) se mohou objevit náhodné impedance kapacitoru, artefakty, které mohou mít nízké hodnoty, ale při vyšších frekvencích také snižují vstupní hodnotu impedance. Nemluvíme tedy o konstantním proudu, ale o rozmezí, které např. Stablová et al. (2012) uvádí rozmezí 0,4- 0,8  $\mu\text{A}$ , Preedy (2012) dokonce 0,2- 0,8  $\mu\text{A}$ . Mezní hodnota proudu je přístrojem nastavena na maximum 1  $\mu\text{A}$  ze zdravotních důvodů.

Šíření elektrických signálů s různou frekvencí u multifrekvenčních přístrojů funguje z jednoho místa. Přístroj poté vyhodnocuje neznámý tok proudu tělem. Bioimpedance se přístrojem vyhodnocována až po výstupu tělem, její hodnoty při průchodu jsou kolísavé a závisí na mnoha proměnných (Preedy, 2012). Přesnější vyhodnocení se nabízí při použití více nezávislých zdrojů a použití referenční elektrody pro každý elektrický signál určité frekvence.

### 5.3 Ultrasonografie

Ultrasonografie patří mezi neinvazivní zobrazovací metody. Prostřednictvím ultrazvukového vlnění můžeme sledovat vybrané komponenty těla do nastavitelné hloubky s velkou přesností /na tisíce mm/. V současné medicíně se užívá v odborných ambulancích, pohotovostech a dalších specializovaných střediscích. Jeho využití je široké, odhaluje tkáňové struktury, pohyblivost či funkci orgánů, tkání i mikrostruktur, př. endotelovou dysfunkci aterosklerotických změn žilního systému. Pro potřeby našeho výzkumu poskytne informace potřebné ke studiu a měření podkožních struktur těla dítěte. Pro úvod vycházíme ze základních biofyzikálních parametrů.

#### *Ultrazvukové vlnění, odraz, lom*

Ultrazvukem /UZ/ rozumíme mechanický kmitavý pohyb v pružném prostředí, který nazýváme vlnění. Ultrazvukové vlnění přímo závisí na elastických vlastnostech /modulu pružnosti  $E$ / a hustotě prostředí  $\rho$ . Dle Hařata & Laugiera (2011) se drobné odchylky lineárního šíření tkáňovými rozhraními ve výsledném zobrazení neprojeví, prostředí působí stacionárně. Pouze tekutiny, nevykazující vazkové vlastnosti, podporují kompresní charakter toku elastických vln v médiu s rozdílnou hustotou ve směru šíření i ve směru podélném s určitým časovým posunem. Jsou charakteristické také silnými vazbami umožňujícími hladký přenos. Navíc vlnění prochází také pevnými látkami určité frekvence. Měkké tkáně působí při aplikaci ultrazvuku jako visko-elastické pevné látky, ve kterých se tzv. *smykové vlnění* šíří oběma směry. K odrazu a lomu dochází za předpokladu větší velikosti tkáňových rozhraní, než vlnové délky  $\lambda$ . Při porovnatelných hodnotách tkáňového rozhraní a vlnové délky doprovází lom ohyb /difrakce/. Poměr amplitudy UZ vlny po odrazu a amplitudy UZ vlny před dopadem na rozhraní, od kterého se odráží, označujeme amplitudovým reflexním kvocientem  $r_a$ :

$$r_a = \frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2}$$

Kde impedance s číselným označením  $Z_1, Z_2$ , vyjadřuje impedanci dvou rozdílných prostředí a úhel lomu  $\alpha_t$  je závislý na rychlosti šíření UZ vlny v obou prostředích.

Poměr úhlu dopadu a lomu je dán Snellovým zákonem,

$$\frac{\sin \alpha_i}{\sin \alpha_t} = \frac{c_1}{c_2} = n_{1,2}$$

a definuje ho tzv. index lomu UZ vlny  $n$ .

Za pevnou strukturou zpravidla dochází k výskytu tzv. akustického stínu. Kost má velice odlišnou strukturu od měkké tkáně a vytváří velmi silný odraz, za který se vlnění určitých frekvencí již nešíří (Beneš et al., 2005). Přesná kvantitativní metoda detekce odrazivosti jednotlivých tkáňových struktur nebyla prozatím v ultrasonografii prezentována. Možným řešením je použití tzv. histogramů odrazivosti ve zvolené lokalitě vyšetření, které umožňují náhled intenzit v průřezu (Hrazdira, 2008).

#### *Frekvence, vlnová délka*

Frekvence  $f$  [Hz] je využívána v hodnotách vyšších než 20 kHz, čili přesahující mez slyšitelnosti lidským uchem. Pro diagnostický ultrazvuk je standardní rozmezí dle Haiat & Laugier (2011) 2- 15 MHz. Hrazdira (2008) uvádí rozmezí 7- 18 MHz. Vše závisí na selekci tělesného segmentu a jeho vlastnostech. Moderní ultrasonografické přístroje nastavují frekvenci právě na základě uvedeného. Rozsah frekvence 5- 10 MHz je vhodný pro hodnocení měkkých tkání. Pro diagnostiku kostní tkáně, např. hodnocení osteoporotických změn je využívána frekvence nižší 250 kHz až 1,25 MHz. Proměnné lze charakterizovat vztahem:

$$\lambda = \frac{c}{f} = c \cdot T$$

kde  $\lambda$  [mm] označuje vlnovou délku,  $c$  rychlost šíření vln a  $T$  čas.



Pro přesnou diagnostiku využíváme vlnové délky k detekci vzdáleností mezi zvolenými strukturami, které leží v ose oscilace. Vyjadřuje dosažitelnou limitní prostorové zobrazení, rozlišující cílovou oblast. Pro tkáňovou strukturu s průměrnou rychlostí šíření  $1540 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  je rozlišovací schopnost  $0,8 \text{ mm}$  (Drastich, 1990; Haïat & Laugier, 2011). Závislost frekvence  $f$  na vlnové délce  $\lambda$  potvrzuje tabulka 13.

Tab. 13

Frekvence a příznačná vlnová délka při UZ šetření

<b>Frekvence <math>f</math> [MHz]</b>	<b>Vlnová délka <math>\lambda</math> [mm]</b>
<b>2</b>	0,77
<b>3</b>	0,51
<b>5</b>	0,31
<b>8</b>	0,19
<b>10</b>	0,15
<b>15</b>	0,10

*Note.* From „*The Physics and Technology of Diagnostic Ultrasound: A Practitioners Guide*,“ at R. Gill, 2012.

#### *Fázová rychlost*

Rychlost  $c$  [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ], je nezávislá na frekvenci, pro měkké tkáně platí vztah

$$c = \frac{K}{\rho},$$

kde  $K$ = modul objemové pružnosti,  $\rho$ = hustota.

Nejrychleji se vlnění šíří v oblasti s vysokou denzitou, např. kostní tkáň dosahuje rychlost až  $4000 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  (Beneš et al., 2005; Haïat & Laugier, 2011). Ve vodním prostředí probíhá rychlostí  $1482 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  při teplotě  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ . S nárůstem teploty stoupá také  $c$  o  $2,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}\cdot^\circ\text{C}$ , proto vysoce hydratované měkké tkáně dosahují rychlost  $1440$  až  $1540 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  (Haïat & Laugier, 2011; Powers & Kremkau 2011). Není tedy divu, že měkké tkáně dosahují takto vysokých hodnot. Drastich (1990) uvádí fázovou rychlost vybraných médií v tabulce 14 následovně.

Tab. 14

Rychlost šíření ultrazvukového vlnění

<b>Médium</b>	<b>Rychlost <math>c</math> [<math>\text{m}\cdot\text{s}^{-1}</math>]</b>
<b>Destilovaná voda</b>	1530
<b>Krev</b>	1570
<b>Kosti</b>	2500- 4700
<b>Ledviny</b>	1560
<b>Tuk</b>	1450
<b>Svalovina</b>	1590

*Note.* From „Zobrazovací systémy v lékařství,“ at A. Drastich, 1990; from „Medical ultrasound systems,“ at J. Powers & F. Kremkau, 2011, *Interface Focus*, 1(4); from „Základy lékařské biofyziky,“ at J. Beneš et al., 2005.

### *Akustický výkon, akustická impedance*

Ultrazvuková vlna vzniká na základě dodávky energie sondou. Je potřeba vyjádřit výkon za jednotku času. Ultrazvukové pole pak charakterizuje hodnota akustického výkonu  $N$  [W] a jeho útlum  $I$  [ $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ ] předloženým vztahem (Gill, 2012; Powers & Kremkau, 2011),

$$N = I \cdot S,$$

kde  $S$  značí plochu, na kterou ultrazvuk působí.

Na základě rozdílů v akustické impedanci tkání  $Z$  [ $\text{Pa}\cdot\text{s}^{-1}$ ], akustického vlnového odporu, vznikají různě intenzivní odrazy akustického vlnění, které jsou na výsledném zobrazení profilu výrazně odlišena /stupni šedi/. Ultrazvukový vlnový odpor čili akustickou impedanci  $Z$  můžeme pro rovinnou ultrazvukovou vlnu vyjádřit vztahem (Gill, 2012; Powers & Kremkau, 2011),

$$Z = \rho \cdot c$$

kde  $c$  = rychlost vlny,  $\rho$  = měrná hmotnost.

Z akustického hlediska je důležité brát v úvahu všechny uvedené parametry: rychlost šíření prostředím  $c$  [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ], /tzv. fázová rychlost/, akustickou impedanci  $Z$  a útlum  $I$ , popsany níže. Akustická energie se odráží v akustickém rozhraní rozdílných

bioimpedancí jednotlivých tkáňových struktur. Výsledná data jsou získána zachycením, zpracováním a zobrazením ultrazvukových signálů, které se od rozhraní odrážejí. U tukové hmoty byla hodnota  $Z$  vyčíslena na  $1,35 \cdot 10^6 \text{ Pa} \cdot \text{s}^{-1}$  a kostní tkáň v rozmezí  $3,75 \cdot 10^6$  až  $7,38 \cdot 10^6 \text{ Pa} \cdot \text{s}^{-1}$  (Hrazdira, 2008).

### *Útlum*

Bioprostředím prochází vlna, která dodává lokalitě vlastní energii. Tento jev se nazývá útlum  $I$  (Hrazdira, 2008). Tendenci k útlumu mají především pružná prostředí a je závislý přímo-úměrně na frekvenci vlnění. Při tloušťce útlumové vrstvy  $x$ , zjišťujeme  $I_x$  oproti intenzitě  $I_o$ . Platí pro něj vztah:

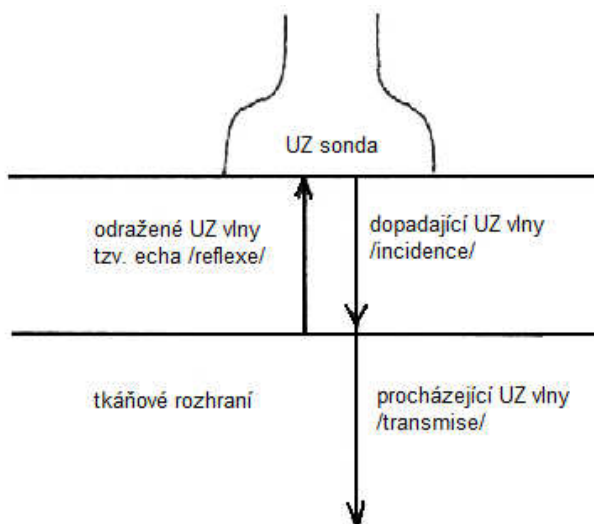
$$I_x = I_o \cdot e^{-2ax},$$

kde  $a$  značí lineární koeficient útlumu [dB] (Dvořák, n.d.).

Parametr útlumu hraje roli při výběru frekvence  $f$ , kterou nastavuje přístroj při diagnostice biostruktur. Nicméně dle Hrazdira (2008) hrají v mechanismu útlumu roli dvě složky: rozptyl a absorpce /disperze/. Při disperzi se snižuje intenzita akustické energie při přeměně v energii tepelnou.

### *Odraz a lom ultrazvukového vlnění*

Z obrázku 15 můžeme pozorovat, jak část kolmého vlnění prochází tkání s návratností a část vlnění pokračuje prostředím dále. Vlnění prochází a odráží se na základě fyzikálních vlastností tkáně, především na tkáňových rozhraních, kde mění směr, pokud nejde o kolmý dopad a dochází k lomu.



Obr. 15 Schematické vyjádření postupu a odrazu ultrazvukového vlnění (upraveno dle Musila, Hermana, & Hofírka, 2008)

Úhel lomu odraženého vlnění závisí na struktuře tkáně, anizotropii. K odrazu a lomu dochází za předpokladu větší velikosti tkáňových rozhraní, než vlnové délky  $\lambda$ . Při porovnatelných hodnotách tkáňového rozhraní a vlnové délky doprovází lom ohyb /difrakce/.

### *Rozptyl*

Rozptyl /disperze/ způsobuje také snižování intenzity při odrazu, ohybu a lomu vlnění v prostředí nehomogenních biomateriálů. Nicméně absorpce i rozptyl se uplatňují v biostrukturách souběžně. S rozptylem se setkáváme v prostředí rozptýlených částic s geometrickými rozměry, př. Erytrocyty, které jsou schopné část ultrazvukové energie absorbovat a znovu ji generovat do všech směrů a vytvářet tzv. sférické pole. Tento mechanismus označujeme jako „*Rayleighův rozptyl*“, který nezávisí na změnách akustické impedance a velikosti rozptylujících částic. Se zvyšující se frekvencí však dochází k mohutnější disperzi (Gill, 2012; Hrazdira, 2008; Musil et al., 2008).

Dostupné orientační parametry cílených biostruktur získané prostřednictvím ultrasonografie předkládá tabulka 15. Stejně jako u BIA rychlost šíření UZ vln závisí na anizotropních vlastnostech svalu. U měkkých tkání disponuje nejvyšší rychlostí šíření myokard a kůže, která má nejvyšší měrnou hmotnost. Kostní tkáň

vyniká svým složením /vysoký obsah minerálních látek/, a proto převyšuje hodnotami jiný uvedený biomateriál. Prezentované hodnoty jsou platné při laboratorní teplotě dle Rozman (1980), pouze akustická impedance ukazuje výsledky při teplotě tělesné dle Haïat & Laugier (2011). Aplikace na živou tkáň by prokázala zvýšení rychlosti šíření UZ vln (Drastich, 1990; Haïat & Laugier, 2011; Powers & Kremkau, 2011).

Tab. 15

Přehled vybraných biofyzikálních parametrů

<b>Tkáň</b> <b>při <math>T= 20- 37</math> °C</b>	<b><math>C</math></b> <b>[<math>m \cdot s^{-1}</math>]</b>	<b><math>P</math></b> <b>[<math>kg \cdot m^{-3}</math>]</b>	<b><math>Pc</math></b> <b>[<math>Pa \cdot s \cdot m^{-1}</math>]</b>	<b><math>a/f</math></b> <b>[<math>dB \cdot cm^{-1} \cdot MHz</math>]</b>	<b><math>Z</math></b> <b>[<math>kg \cdot s^{-1} \cdot m^{-2}</math>]</b>
<b>Kůže</b>	1615	1090	1,76	0,18	$1,7 \cdot 10^6$
<b>Tuk</b>	1450	970	1,40	0,63	$1,38 \cdot 10^6$
<b>Sval</b> /sagitálně/	1568	1060	1,66	1,30	—
<b>Sval</b> /transversálně/	1585	1070	1,69	3,30	$1,65- 1,74 \cdot 10^6$
<b>Myokard</b>	1620	1082	1,75	1,82	—
<b>Kost</b> /medián/	3380	1700	5,74	13,00	$4-8 \cdot 10^6$
<b>Krev</b>	1570	1059	1,66	0,18	$1,65 \cdot 10^6$

*Note.* From „Introduction to the physics of ultrasound,“ at G. Haïat & P. Laugier, 2011; from „*Ultrazvuková technika v lékařství, diagnostické systémy,*“ at J. Rozman, 1980; from „*Basics of ultrasound systems,*“ at V. Chan & A. Perlas, 2011.

Další vlastnosti, které lze ultrasonografickým vyšetřením získat, jsou elastické vlastnosti sledované struktury. Ultrazvukový přístroj však neposkytuje kvantitativní data, ale pouze sporou škálu hodnocení elasticity /nízká, střední, vysoká/.

### 5.3.1 Princip ultrazvuku

Následující kapitola rozšiřuje předchozí s upřesněním některých instrumentálních informací.

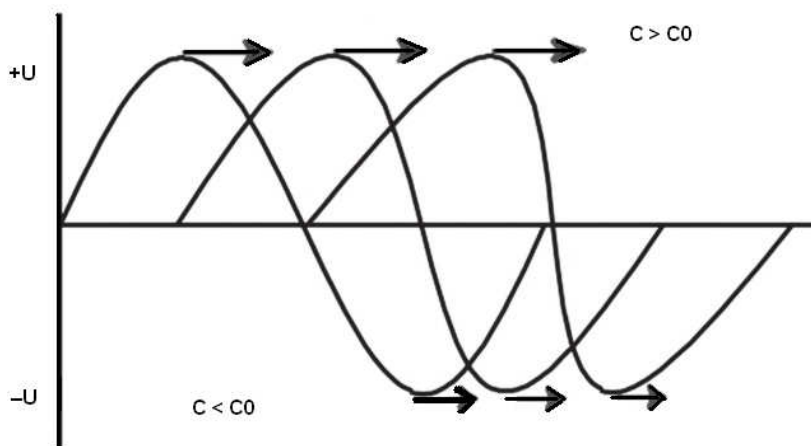
#### *Zobrazení, zpracování obrazu*

Mechanické kmity, které působí na zvolenou oblast lidského těla, se šíří pružným prostředím formou vlnění. Množství odražené akustické energie závisí na uvedených fyzikálních vlastnostech tkání, které vytváří výsledný obraz v široké škále stupňů šedi /standardně 128- 256 stupňů/. V dnešním medicínském prostředí se téměř výhradně používá tzv. „zobrazení *B dynamického typu*“. Tento typ umožňuje rychlý přenos nekonečného obrazu a poskytuje zásadní informace pro studium morfologie, funkce a pohybu lokality (Krška et al., 2011).

Zpracování odrazu funguje analogově, odraz UZ signálu je zpracován počítačovými technologiemi. UZ signál vzniká buzením pizelektrického měniče a výchozí odraz přeměněn na elektrický signál. Analogově digitální převodník převede tento signál do numerické hodnoty a zpracován. Výsledkem je zobrazení, které lze zachycovat, upravovat a ukládat či posílat přes internetovou síť. Moderní ultrasonografické přístroje umožňují modifikaci parametrů s ohledem na zvolenou oblast vyšetření (Gill, 2012; Hrazdira, 2008; Powers & Kremkau, 2011).

#### *Harmonické zobrazení*

Jedním z principů přesného zobrazení je harmonické ultrazvukové šíření tkáněmi /obr. 16/. K harmonickému šíření dochází při cíleném zvyšování akustického výkonu, např. z důvodu individuálních odlišností, které poskytují nedostatečné zobrazení /některé špatně detekovatelné patologické projevy/. Tato technologie je aplikována v praxi až v posledních letech. V zásadě dochází k signifikantnímu zvýšení kvality obrazu zvýšením kontrastního rozlišení. Biofyzikálně vyjádřeno, zvyšujeme nedostačující základní  $f_0$  za vzniku harmonických kmitů s frekvencí  $2f_0$ . Energie, která vzniká u harmonického působení, je však velmi nízká. Efektivita přenosu obrazu spočívá v zesílení vysílaného impulzu potlačením reálného odrazu výchozí frekvence  $f_0$  a použitím měničů s vysokou citlivostí zachycení (Uppal, 2010).



Obr. 16 Harmonické šíření ultrazvukových vln tkáněmi (upraveno dle Powers & Kremkau, 2011)

#### *UZ Sonda*

Vedle sektorové a konvexní sondy se využívá pro měkké tkáně sonda lineární, která pracuje ve vyšším frekvenčním rozsahu 5-10 MHz. Poskytuje velmi dobré rozlišení na malou i větší distanci. Ostatní typy sond využívají nižší frekvenční pásma s lepším rozlišením hlouběji uložených orgánů a horším rozlišením pro povrchové struktury (Krška et al, 2011; Špínar & Ludka, 2013).

V diagnostice používáme kapalný můstek, který zajišťuje vhodný průchod vlnění sondou ke tkáni a nazpět. Dle Kršky et al. (2011, p. 42) má vzduch velmi vysokou impedanci a neposkytuje žádoucí přechod vlnění do struktur s vysokým obsahem vody.

Sonografické zobrazení distribuce tukové tkáně bylo již prezentováno v mnoha výzkumných šetřeních (např. Iacobellis, Corradi, & Sharma, 2005; Stolk, Meijer, Mali, Grobee, & van der Graaf, 2003; Liu, Chan, Chan, Kong, Kong, & Chan, 2003; ad.), které jsou však vždy ryze lékařského zaměření a hodnotí vztahy především viscerálního tuku např. vzhledem k výskytu civilizačních onemocnění, méně často hodnotí podíl podkožní vrstvy a korelaci s viscerální vrstvou. V odborných výstupech z oboru biomechaniky jich mnoho nenalezneme, příkladem mohou být Vlachos, Hatzioannou, Perelas, & Perrea (2007).

### 5.3.2 Faktory ovlivňující měření

Ultrasonografie je považována za referenční metodu (Wittoek et al, 2011, ad.) a nejsou známy faktory zpochybňující přesnost a spolehlivost metody. Proto jmenujeme pouze faktory, které ovlivňují skutečnou tloušťku podkožních vrstev. Uvádíme lidský faktor možného působení síly použitou sondou na snímanou lokalitu, který způsobuje deformaci podkoží a následně výslednou tloušťku povrchových vrstev. Minimální tlak ponechává naopak přirozenou /reálnou/ tloušťku tkáně, při které nedochází k neúčelnému vytlačování tkáňové tekutiny. Problematika vlivu tlaku na subkutánní vrstvy není dostupná ve světových databázích, a proto bychom chtěli touto pilotní studií /v rámci dílčího cíle/ přispět k metodice hodnocení subkutánních vrstev pomocí ultrasonografie.



## 6 CÍLE, VĚDECKÁ OTÁZKA, ÚKOLY PRÁCE

### *Cíl*

Cílem studie je hodnocení a identifikace rozdílů distribuce tukové tkáně u dětí předškolního a mladšího školního věku, prostřednictvím základních antropometrických parametrů, kaliperace, BIA a UZ u selektivního souboru.

### *Dílčí cíle*

Dílčími cíli disertační práce je ověření reliability BIA vzhledem k UZ šetření a analytický experiment vlivu přítlaku lineární sondy u UZ hodnocení na tloušťku subkutánního tuku *in vivo*.

### *Vědecká otázka*

Existují rozdíly v distribuci tukové tkáně u dětí předškolního a mladšího školního věku?

### *Úkoly práce*

1. Rešerše dostupné literatury a dalších dostupných zdrojů.
2. Konkretizace cílů, vědecké otázky, úkolů a hypotéz práce.
3. Výběr souborů dětí předškolního a mladšího školního věku.
4. Příprava a realizace výzkumného šetření.
5. Zpracování získaných a experimentálních výsledků.
6. Interpretace výsledků.
7. Formulace závěrů.

## 7 HYPOTÉZY

Za účelem stručné a srozumitelné formulace závěrů byly na základě analýzy a syntézy dostupných odborných materiálů s přihlédnutím k dostupnosti přístrojového vybavení spolupracujících laboratoří stanoveny tyto hypotézy:

*H1: Předpokládáme statisticky významně nižší BMI u souboru předškolních dětí ve srovnání se souborem dětí mladšího školního věku.*

Tato hypotéza vychází z celosvětového (WHO, 2007) i českého trendu zvyšování hodnoty BMI [kg/ m<sup>2</sup>] s věkem (SZÚ, 2008).

*H2: Předpokládáme, že hodnota BMI významně koreluje s lokální distribucí tuku vyjádřenou součtem kožních řas kaliperací a celkovou distribucí tuku měřenou bioelektrickou impedanční analýzou.*

Vzhledem ke zmíněným tvrzením z teoretické části práce, kde popisujeme možné odchylky distribuce tuku od klasifikace BMI, předpokládáme, že u dětí nedochází k výskytu nesymetrického podílu dalších komponent těla /svalová hmota, tělesná voda/ a index koreluje s celkovou distribucí tuku.

*H3: Předpokládáme statisticky významně nižší distribuci tuku u souboru předškolních dětí než u souboru dětí mladšího školního věku hodnocenou kaliperací a UZ.*

Tento předpoklad vychází jak ze zmíněných trendů zvyšující se distribuce tuku (SZÚ, 2008; WOF, 2014), tak ze stanovených institucionálních režimů mateřských a základních škol.

*H4: Předpokládáme stabilitu testu nižší než  $r = 0,90$  v hodnocení reliability bioelektrické impedanční analýzy opakovaným testováním dle stupnice Zaciorskij (1981).*

Velice vysokou realibilitu prezentuje studie Bosy-Westphala, et al. (2013), která uvádí přesnost 0,94- 0,98. Dostupná monografie Allison & Baskin (2009, p. 506) uvádí reliabilitu BIA v rozmezí 0,93- 0,96, avšak některé další studie upozorňují na nižší přesnost (Aantstand et al., 2014; Peterson, Repovich, & Parascand, 2011), atakující hranici dokonce  $r = 0,55$  (Peterson et al., 2011, p. 176, 177). Na základě široké škály faktorů, které analýzu mohou ovlivnit, jsme stanovili spodní hranici „dobré“ reliability dle limitu Zaciorskij (1981).

## 8 METODIKA

Tato část popisuje veškeré vybrané metody a zahrnující experimenty.

### 8.1 Specifika výběru souborů

Vlastní výzkumné šetření zahrnuje celkem 288 dětí předškolního /n=141/ a mladšího školního věku /n=137/ jednotného etnika v Ústeckém kraji. Věkové rozmezí předškolního souboru činí 5- 6 let a souboru školního 8- 9 let. Důvodem volby věkové kategorie a lokality je návaznost na předchozí kvalifikační práci pedagogického směru a působnost hlavní řešitelky jako odborné asistentky na KTVS PF UJEP se zaměřením na výuku biomedicínských předmětů, s praktickým vhladem a několikaletými zkušenostmi zvolených metodik. Výběr specifického věkového období předškolních dětí koresponduje s ustáleným podílem jednotlivých tkáňových komponent a intraindividuálních rozdílů. Celkový výběr věkového rozmezí promítá snahu eliminace okolních faktorů, tzn. volbou probandů s ustáleným režimem ve vzdělávací instituci za podmínky minimálně dvouleté docházky a u souboru základní školy zároveň prepubescentní období kvůli eliminaci výrazných genderových změn v distribuci tuku.

Problematika výběru vzdělávacích institucí byla řešena na základě sítě mateřských a základních škol Ústeckého kraje se zaměřením na spádové obce se statutem města /n=59/ a počtem obyvatel vyšším než 50 tisíc /n=5/ dle tabulky 16.

Tab. 16

Přehled vybraných lokalit šetření

<b>Okres /počet obyvatel/</b>	<b>Město /počet obyvatel vztažený k roku</b>
Děčín /132 540/	Děčín /50 289 k 31.12.2012/
Chomutov /125 306/	Chomutov /50 449 k 31.12.2010/
Litoměřice /119 318/	—
Louny /86 613/	—
Most /115 005/	Most /67 490 k 31.12.2012/
Teplice /128 266/	Teplice /50 024 k 31.12.2013/
Ústí nad Labem /119 716/	Ústí nad Labem /95 464 k 31.12.2010/

*Note.* From „Obyvatelstvo,“ at Český statistický úřad, 2013.

Náhodný výběr byl zajištěn losováním dle Rejstříku škol a školských zařízení (Ministerstvo školství, mládeže a tělovýchovy České republiky, n.d.) a také prostřednictvím webových stránek jednotlivých institucí. Pro každé uvedené město byl vybrán z důvodu zachování proporcionality stejný počet školek a škol / $n=2$ /.

## 8.2 Charakteristika souboru

Původně oslovených zákonných zástupců jsme zaznamenali 347. Šetření se dle předchozího schématu zúčastnilo celkem 297 dětí, kompletní a použitelná data jsme získali od 278 jedinců /93,6 %/. Do studie jsme nemohli zařadit probandy, kterým Bodystat vyhodnotil chybu měření z jakéhokoliv důvodu / $n=10$ , 3 %/, nebo prezentoval hodnotu zápornou / $n=3$ , 1 %/. Některé vyšetřované děti z mateřských škol / $n=9$ , 3 %/ jsme nedokázali přívětivým přístupem přesvědčit ke spolupráci odečtu kožních řas. Celkový počet nekompletních dat z výše zmíněných důvodů, nezahrnutých do výzkumu, je 19 /6,4 %/.

U souboru dětí předškolního věku jsme získali z celkového počtu 196 oslovených rodičů 175 /89,2 %/ souhlasů. Vlastního měření se zúčastnilo, v převaze z důvodu nemocnosti, 153 dětí ve věku 5- 6 let. Problematika metodiky kaliperace a BIA umožnila použít kompletní data od celkového počtu 141 dětí /75 chlapců a 66 dívek/.

U souboru mladšího školního věku souhlasilo s měřením z celkového počtu 151 oslovených 149 zákonných zástupců /98,7 %/. Samotného výzkumu se ve 2. ročníku ZŠ zúčastnilo 144 dětí ve věku 8- 9 let. Kompletní použitelná data, vyjma neudaných či chybných hodnot uváděných Bodystatem, reprezentuje celkový vzorek 137 měřených jedinců /72 chlapců a 65 dívek/.

Celkový přehled četností poskytuje tabulka 17. Procentuelní podíly jsou zhruba stejné a lze tak soubor považovat za početně vyrovnaný, což prokázal zvolený test dobré shody.

Tab. 17

Vybrané věkové kategorie a četnosti

	<b>5- 5,99 let</b>	<b>6- 6,99 let</b>	<b>8- 8,99 let</b>	<b>9- 9,99 let</b>
	<b>n /%/</b>	<b>n /%/</b>	<b>n /%/</b>	<b>n /%/</b>
<b>Chlapci n /%/</b>	39 /14/	36 /12,9/	35 /12,6/	37 /13,3/
<b>Dívky n /%/</b>	34 /12,2/	32 /11,5/	28 /10,1/	37 /13,3/
<b>Celkem n /%/</b>	73 /26,3/	68 /24,5/	63 /22,7/	74 /26,6/
<b>Celkem n /%/</b>	141 /50,7/		137 /49,3/	

### 8.3 Charakteristika metod

K ověření stanovených hypotéz jsme použili dostupné metody dle tabulky 18 s uvedením přesného počtu vyšetřených probandů k věkové kategorii. Všechny subjekty absolvovaly základní antropometrické měření a měření tloušťky kožních řas. Bioelektrickou impedanční analýzu jsme použili dle možností Bodystatu u dětí starších 6 let. Ultrasonografické hodnocení tloušťky subkutánního tuku podstoupil selektivní vzorek dětí předškolních a školních /n=31/.

Tab. 18

Výběr hodnocených parametrů a metodik dle věkových kategorií

	<b>5- 5,99</b>	<b>6- 6,99</b>	<b>8- 8,99</b>	<b>9- 9,99</b>
	<b>let /n/</b>	<b>let /n/</b>	<b>let /n/</b>	<b>let /n/</b>
<b>Referenční údaje</b>	73	68	63	74
/věk, pohlaví/				
<b>Základní antropometrie</b>	73	68	63	74
/tělesná výška, tělesná hmotnost, 4 tělesné obvody: hrudníku, paže, břicha a stehna/				
<b>Kaliperace</b>	73	68	63	74
/3 řasy: subscapulární, suprailiacální, tricipitální/				
<b>BIA</b>	—	68	63	74
/% tělesného tuku/				
<b>Ultrasonografie</b>	—	<b>15</b>	<b>7</b>	<b>9</b>
/3 řasy: subscapulární, suprailiacální, tricipitální/				

Note. Změna četnosti souboru zvýrazněna.

### 8.3.1 Referenční údaje a základní antropometrie

Základní antropometrická data byla zjišťována u všech vyšetřovaných /n=278/ dle metodiky Kohlíkové (2006), Riegerové & Ulbrichové (1998) a National Health and Nutrition Examination Survey (NHANES, 2007) a zaznamenána do předem připraveného listu. Zaměřili jsme se na následující charakteristiky:

- a/ data narození a pohlaví jako referenční údaj,
- b/ tělesnou výšku  $V$  [cm] po vertex pomocí nástěnného metru a pevného trojúhelníku, s přesností na 0,5 cm
- c/ tělesnou hmotnost  $m$  [kg] na kalibrované digitální váze zn. Soehnle s kontrolou přesnosti příkládáním závaží o různé hmotnosti,

a vybrané tělesné obvody pomocí krejčovského metru s přesností na 0,5 cm

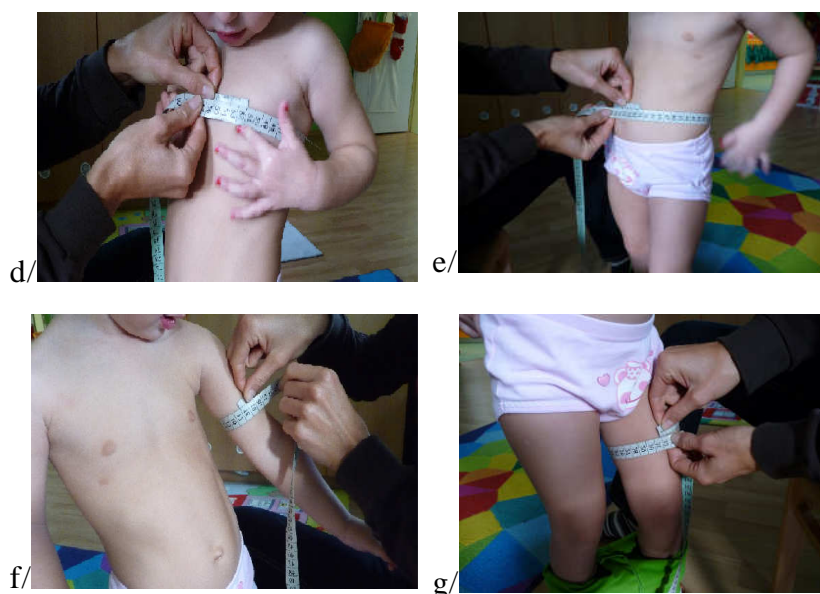
/obr. 17/:

d/ obvod hrudníku po klidném expiru, v horizontální rovině ve výši bradavek

e/ obvod břicha, v horizontální rovině ve výši pupku

f/ obvod paže střední /mezi nadpažkem a okovcem/ v mírné flexi

g/ obvod stehna střední /v poloviční vzdálenosti mezi velkým chocholíkem a laterálním epikondylem stehenní kosti/ opět v mírné flexi.



*Obr. 17* Fotodokumentace měření vybraných tělesných obvodů

Kolem 4.- 5. roku dochází k vyhranění laterality a dominance jedné strany těla se může lišit u horní a dolní končetiny. Obvodové parametry jsme odečítali u souboru školních a předškolních dětí, k možné vyhraněné lateralitě, na levé straně těla. Vybrané obvody [cm] předestírají specifika o intraindividuálních a mezi-souborových morfologických parametrech. Vypovídají o lokální distribuci tuku se zaměřením na tuk trunkální, abdominální a končetinový.



### 8.3.2 Kaliperace

Kaliperované lokality jsme hodnotili s ohledem na funkční stranovou dominanci celého souboru na levé straně těla. K hodnocení tloušťky kožních řas byl použit Bestův kaliper /zapůjčený Katedrou tělesné výchovy Pedagogické fakulty Univerzity Jana Evangelisty Purkyně v Ústí nad Labem, obr. 18/ se standardizovaným přítlakem 200 g /2 N/. Před samotným šetřením jsme zvolený instrument kalibrovali. Vykazoval výraznou únavu přítlačného pera v hodnotách 169 g /1,69 N/, kterou jsme odečetli na laboratorních vahách v laboratoři Katedry fyziky PF UJEP. Kaliper byl rozebrán, upravena konstanta přítlačného pera a odečítací stupnice potřena silikonem dle doporučení pro zajištění minimálního odporu při posuvu ramen.



Obr. 18 Kaliper typu Best

Měření proběhlo vytažením kožní řasy přiložením kaliperu s aplikací standardizovaného přítlaku a odečtením požadované hodnoty [mm]. Dle metodiky Kohlíkové (2006), Krásničanové (1998) a Riegerové & Ulbrichové (1998) jsme zjišťovali tloušťku tří kožních řas /obr. 19/:

- a/ suprailiaca /nad trnem kosti kyčelní, diagonálně/,
- b/ subscapula /pod dolním úhlem, diagonálně/ a
- c/ triceps /horizontálně/,



Obr. 19 Fotodokumentace měření vybraných kožních řas

u celého souboru. Výběr řas koresponduje s hodnocením distribuce tuku v trunkálním /subscapula, triceps/, abdominálním /suprailiaca/ a končetinovém segmentu /triceps/. Tricipitální kožní řasa obvykle vysoce koreluje s celkovým množstvím tělesného (Preedy, 2012, p. 1374, p. 1376) a je velice dobrým ukazatelem končetinového tuku.

Pro srovnání výsledků odečtem kožních řas a bioimpedance jsme použili odhadovou rovnici pro výpočet procentuálního množství tělesného tuku ze dvou kožních řas dle SZÚ (2008):

a/ pro chlapce ve tvaru:

$$„\% \text{ tuku} = 0,735 \cdot (\text{triceps [mm]} + \text{scapulare [mm]}) + 1,0“$$

b/ pro dívky ve tvaru:

$$„\% \text{ tuku} = 0,610 \cdot (\text{triceps [mm]} + \text{scapulare [mm]}) + 5,1“$$

### 8.3.3. Bioelektrická impedanční analýza

K měření jsme využili tetrapolární, multifrekvenční Bodystat typu 1500 MDD /obr. 20/, který poskytuje mnoho výsledných individuálních parametrů, kromě hodnoceného procentuálního množství celkového tělesného tuku, také např. celkové množství vody /podíl intracelulární a extracelulární vody/, beztukové tkáně, potřebu basálního metabolismu, atd. Pro zajištění průchodu elektrických signálů tkáněmi

byly použity jednorázové samolepící elektrody BioTabs, používané také ke klidovému elektrokardiografickému záznamu elektrické aktivity srdeční.



Obr. 20 Bodystat 1500 MDD

Pro eliminaci vlivu okolních faktorů na výsledky měření jsme poučili rodiče a třídní učitelky o režimu před samotným měřením. Z tohoto důvodu jsme zařazovali BIA do ranních hodin, po příchodu dětí do mateřské školky a následně další vybraná měření.

Tuto metodu jsme použili u souboru dětí starších 6 let dle nastavené predikční rovnice (Bunc et al., 1999):

a/ pro chlapce ve věku 6-10 let ve tvaru:

$$„\%tuku = 39,2649 - 5,4577 * \text{věk(rok)} - 9,2044 * \text{výška}^2(m) + 0,4177 * \text{hmotnost(kg)} + 0,0442 * \text{BIA(Ohm)}“,$$

b/ pro děvčata ve věku 6-10 let ve tvaru:

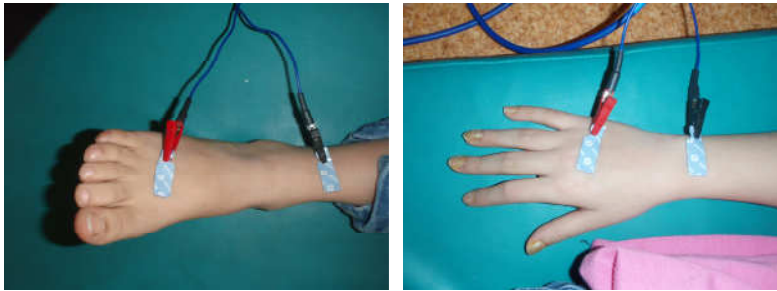
$$„\%tuku = 14,6812 - 0,1105 * \text{věk(rok)} + 0,5938 * \text{hmotnost(kg)} - 4,9063 * \text{výška}^2(m) * \text{BIA-1 (kOhm)}.“$$

Děti jsme nechali položit na podložky /matrace, postýlky či žíněny/, motivovali vyprávěním a audio nahrávkou s relaxační hudbou, aby vydržely ležet po dobu asi 10 minut (Bodystat, 2001). Měření proběhlo následujícím postupem:

a/ zadání vstupních dat do Bodystatu

b/ přilepení elektrod na pravou horní a dolní končetinu dle obrázku a

c/ samotné měření se záznamem celkového tělesného tuku /%/ do připraveného protokolu.



Obr. 21 Tetrapolární umístění elektrod

### *Hodnocení reliability testem-retestem*

Reliabilita bioelektrické impedanční analýzy byla hodnocena aspektem stability testu v čase a ukazuje na stupeň shody opakovaných měření. Kvůli charakteru testu jsme zvolili krátký časový interval, který zajišťuje konstantní hladinu tělesné vody a neměl by tudíž vykazovat odchylky ve výsledcích. Časový odstup jednoho dne byl zvolen dle metodiky Aandstada et al. (2014). Měření proběhlo v ranních hodinách, nalačno, před běžným pitným režimem. Výčet mnoha doporučení poskytuje manuál (Bodystat, 2001). Primárně se dodržuje absentující stravovací a pitný režim, minimální pohybová aktivita /kvůli ztrátě přirozené hydratace organismu/ před měřením. Subjekty byly seznámeny i s dalšími podmínkami pro zachování standardizace před měřením. Z hodnocení reliability byly vyřazeny menstrující ženy. Pro výpočet stability testu jsme použili vzorec (Zaciorskij, 1981).

$$r_{xy} = \frac{n \sum x_i y_i - (\sum x_i)(\sum y_i)}{\sqrt{[n(\sum x_i^2) - (\sum x_i)^2][n(\sum y_i^2) - (\sum y_i)^2]}}$$

kde  $r_{xy}$ = koeficient stability,  $x$ = hodnota 1. měření a  $y$ = hodnota 2. měření.

### *Hodnocení reliability ekvivalencí*

Ekvivalence jako další z aspektů reliability lze v tomto případě uplatnit. Studie se opírá o lineární transformaci skóre různých verzí testu na škálu srovnatelných hodnot. Data se převádějí na tzv. „z- skór“. Z-skór vyjadřuje skóre účastníka vůči skóre skupiny a dosahuje nejčastěji hodnot -3 až +3. Hraniční hodnota značí největší odchýlení od průměru skupiny. Hodnoty naměřené pomocí kaliperace /součet řas/ a

BIA /% celkového tělesného tuku/ jsme vztáhli k UZ metodě /součet řas/ a dosadili do vzorce (Downing & Yudkowsky, 2009, p. 95):

$$z = \frac{x_i - x}{SD},$$

kde  $x_i$  = skóre,  $x$  = průměrné skóre skupiny,  $SD$  = směrodatná odchylka skóre skupiny.

Hodnoty z-skóru vypočtené pro kaliperační metodu a BIA by se měly co nejvíce rovnat z-skóru UZ vyšetření. Pro vyjádření odchylky od UZ měření jsme použili rozdíly vypočteného z-skóru, prezentovaného v kapitole 9. Výsledky.

#### 8.4.4 Ultrasonografie

Tento typ hodnocení distribuce podkožní tukové tkáně proběhl u selektivního souboru dětí. Použili jsme SonixTablet zn. Ultrasonix vhodný pro terénní šetření pořízený rozvojovým projektem MŠMT 2012, č. p. IRP/2, „*Laboratoř pro hodnocení vlivu pohybu na zdraví člověka*“. Řídili jsme se pokyny bezpečného užívání ultrasonografie (Minister of Health authority, 2001). Experiment i měření selektivního souboru dětí se zaměřuje na distanci epidermis- svalová fascie za použití lineární sondy ve 2D zobrazení a B-módu do hloubky 4 cm, frekvenci 10 MHz, se střední mírou odstraňování šumu.

#### *Experiment*

Tuto metodu jsme doplnili o experiment silového působení na kožní řasu a její následné míry deformace. Vzhledem k počínajícímu ultrasonografickému výzkumu abdominálního výskytu tukové tkáně, jsme považovali vybraný experiment za podstatný, ukazující na reálné zkreslení výchozích dat určitým přítlakem. Přesná tělesná lokalita experimentu byla vybrána s ohledem na objevující se studie. Výsledky by měly posloužit ke kontrole přítlaku konstrukcí přídatného siloměru pro tento typ měření. Siloměr je tvořen dvěma šestihrannými trubicemi rozdílného průměru a pružinou. Stupnice s hodnotami síly přítlaku byla stanovena na základě zkušební pří-

tlaku na laboratorních vahách, po připevnění sondy k siloměru. Námí vytvořená konstrukce /obr. 22/ umožňuje zobrazení podkožních struktur při působení síly přitlaku 3- 6 Newtonů.



Obr. 22 Experimentální konstrukce siloměru

Pro výběr specifické lokality hodnocení subkutánní tukové vrstvy jsme vycházeli z vybraných studií (Rolfe et al., 2013; Prado et al., 2012). Tloušťka abdominální vrstvy tuku byla hodnocena ve středu spojnice xiphoid- umbiculus jako vzdálenost mezi linea alba- epidermis v transversální rovině.

Ve výsledcích uvádíme distanci „s minimálním možným přitlakem“. Zobrazení a následný odečet by mělo odpovídat skutečné vzdálenosti vrstev. Pro odečet reálné vzdálenosti jsme nadlehčili sondu s přídatnou konstrukcí, aby působila na pokožku a hlouběji uložené vrstvy bez přitlaku či se zanedbatelným přitlakem. Hodnoty distance za působení určitého přitlaku /3, 4, 5 a 6 N/ jsme odečetli po optické kontrole stupnice siloměru zmrazením obrazu a poté zvolili vybranou distanci A- B /epidermis- linea alba/. Přítlak na stupnici siloměru byl při změně režimu kontrolován další osobou, aby nedocházelo k chybě způsobené testující osobou, která optickou kontrolu dvou souběžných událostí obtížně zajišťuje.

#### *Hodnocení subkutánního tuku*

Po realizaci pokusu jsme se zaměřili na měření distance epidermis- svalová fascie třech tělesných lokalit, totožných s kaliperovanými místy /suprailiaca, subscapula a triceps/, avšak odečítající kožní řasu jednosměrně a s minimálním možným přitlakem. Byla odečtena reálná vzdálenost vybraných struktur. Na povrch lineární

sondy byl aplikován kontaktní gel pro zajištění výborné vodivosti a vytlačení možných mikrobublin vzduchu.

Dle obrázku 23 vytváří husté kolagenní vazivo výrazné tkáňové rozhraní zobrazené světlými stupni šedi. Pro šetření jsme považovali přesnost na 0,5 mm za dostačující vzhledem k přesnosti kaliperace a možné lokální odchylce.



Obr. 23 Zobrazení distance epidermis-fascie tricipitální kožní řasy

## 8.4 Charakteristika šetření, sběru a analýzy dat

Na základě směrnice děkana PF UJEP č.5/2013 jsme požádali o vyjádření Etické komise PF UJEP. Ke dni 11. 11. 2013 jsme získali souhlasné stanovisko k realizaci projektu, prezentované pod jednacím číslem 1/2013/1 (PF UJEP, 2013).

Před samotným šetřením jsme kontaktovali vedení institucí, požádali o schůzku a vysvětlili cíl a metodiky, které chceme ve výzkumu použít. Po souhlasném stanovisku vedení institucí jsme oslovili třídní učitelky či učitele se žádostí o oslovení zákonných zástupců na třídních schůzkách, kdy byl přiblížen záměr, metodika, vyhodnocení, předběžně dohodnutý termín šetření a využití dat jako souhrnného souboru. Rodiče, kteří stvrdili souhlas písemným podpisem, zařadili své dítě do výzkumného šetření a získali srovnatelné údaje. Individuální výsledky jsme předali v tištěné či elektronické podobě příslušným zákonným zástupcům.

Všechny vyšetřovací metody byly u jednoho subjektu aplikovány v rozsahu maximálně 24 hodin a zaznamenány do předem připraveného protokolu. Prakticky jsme každý subjekt vyměřili za jedno dopoledne, vyjma selektivního souboru základní školy, kde jsme nechtěli narušit celodenní rozvrh výuky a UZ vyšetření přesunuli do ranních hodin dalšího dne. Všechna šetření probíhala před koncem školního roku. Časový interval šetření se konal z důvodu mateřské a rodičovské dovolené hlavní řešitelky v rozsahu let 2010- 2014. Záznam všech naměřených údajů proběhl do připravených protokolů za pomoci asistenta-zapisovatele a poté přepsán do listů aplikace MS Office. Základní statistické veličiny /směrodatná odchylka, průměr/ jsme získali v MS Office 2003 a kontrolovali softwarem Statistica verze 6.0, kde jsme volili také pokročilejší formy výpočtů /korelace, významnosti/. Reliabilita /koeficient stability a z-skór/ byla počítána ručně s následným ověřením. Výsledná data prezentujeme formou obrázků a tabulek, u vybraných uvádíme hladinu statistické významnosti. K ověření dat byl použit Pearsonův Chí-kvadrát test,

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$$

kde  $n$ = četnost souboru,  $O_i$ = pozorovaná frekvence a  $E_i$ = předpokládaná frekvence.



## 9 VÝSLEDKY

Data jsou v této kapitole prezentována v průměrných hodnotách  $\pm$  směrodatná odchylka /SD/ vždy v pořadí soubor předškolních dětí, mladších školních dětí a srovnání obou souborů. Srovnání dat vlastního šetření s dalšími studiemi, uvádíme za předpokladu dostupnosti, při použití identického postupu a principu přístrojové analýzy. Veškeré naměřené ukazatele předškolního souboru jsou prezentovány v příloze A a souboru mladšího školního věku v příloze B. Statisticky významné rozdíly mezi soubory jsou uvedeny v příloze C a statisticky významné genderové rozdíly v příloze D.

### 9.1 Referenční údaje a základní antropometrie

#### *Předškolní soubor*

Výběrový soubor předškolní věkové kategorie 5- 6 let tvořilo 141 probandů /75 chlapců a 66 dívek/ s tělesnou výškou  $116,3 \pm 6,0$  cm, tělesnou hmotností  $20,7 \pm 3,0$  kg a BMI  $15,4 \pm 1,8$  kg/m<sup>2</sup>. Charakteristiky obvodových parametrů jsou u hrudníku v expiraci v rovině bradavek  $57,1 \pm 3,4$  cm, břicha v úrovni pupku  $54,7 \pm 4,2$  cm, středního obvodu stehna  $30,0 \pm 5,0$  cm, středního obvodu paže  $19,3 \pm 5,5$  cm. U chlapců jsme zaznamenali zanedbatelně větší hodnotu tělesné výšky  $116,6 \pm 6,2$  cm a hmotnosti  $21,0 \pm 3,3$  kg, BMI  $15,4 \pm 1,4$  kg/m<sup>2</sup>, větší obvodové parametry hrudníku  $57,6 \pm 3,7$  cm, břicha  $55,1 \pm 4,4$  cm a paže  $19,6 \pm 5,0$  cm, naopak menší obvod stehna  $29,6 \pm 5,3$  cm /tab. 19/.

Tab. 19

Referenční údaje a základní antropometrické parametry u předškolních dětí

	V [cm]	m [kg]	BMI	Tělesné obvody [cm]			
				Hrudník	Břicho	Stehno	Paže
<b>Chlapci</b>	116,6±6,2	21,0±3,3	15,4±1,4	57,6±3,7	55,1±4,4	29,6±5,3	19,6±5,0
<b>Dívky</b>	115,8±5,8	20,4±2,9	15,2±1,7	56,5±3,2	54,3±4,0	30,5±5,7	19,8±5,0
<b>Celkem</b>	116,3±6,0	20,7±3,0	15,4±1,8	57,1±3,4	54,7±4,2	30,0±5,0	19,7±5,5

Note. V= tělesná výška, m= tělesná hmotnost, BMI= Body mass index.

#### *Soubor mladšího školního věku*

Výběrový soubor věkové kategorie mladšího školního věku /8- 9 let/ tvořilo 137 subjektů /72 chlapců a 65 dívek/, které charakterizuje tělesná výška 132,7±7,5 cm, hmotnost 30,2±7,5 kg a výrazně vyšší hodnota BMI 17,0±3,0 kg/m<sup>2</sup>. Další proměnné představují obvod hrudníku o hodnotě 64,4±6,8 cm, břicha 60,5±7,7 cm, stehna 37,1±4,7cm a paže 20,0±2,8 cm.

Genderové rozdíly vymezují větší tělesnou výšku u chlapců 133,6± 6,9 cm, naopak nepatrně nižší hmotnost 30,1±6,7 kg, BMI charakterizuje hodnota 16,7±2,8 kg/m<sup>2</sup>. Nepatrné navýšení jsme zaznamenali pouze u obvodu břicha 60,6±7,5 cm. Ostatní obvodové parametry nabývají oproti dívkám nižších hodnot. Obvod hrudníku činí 64,3±5,7 cm, obvod paže 19,7±2,3 cm a u obvodu stehna jsme zjistili statisticky významný rozdíl (p<0,05) mezi pohlavími. Střední obvod stehna u chlapců je vymezen výrazně nižšími 36,2±3,8 cm dle tabulky 20.

Tab. 20

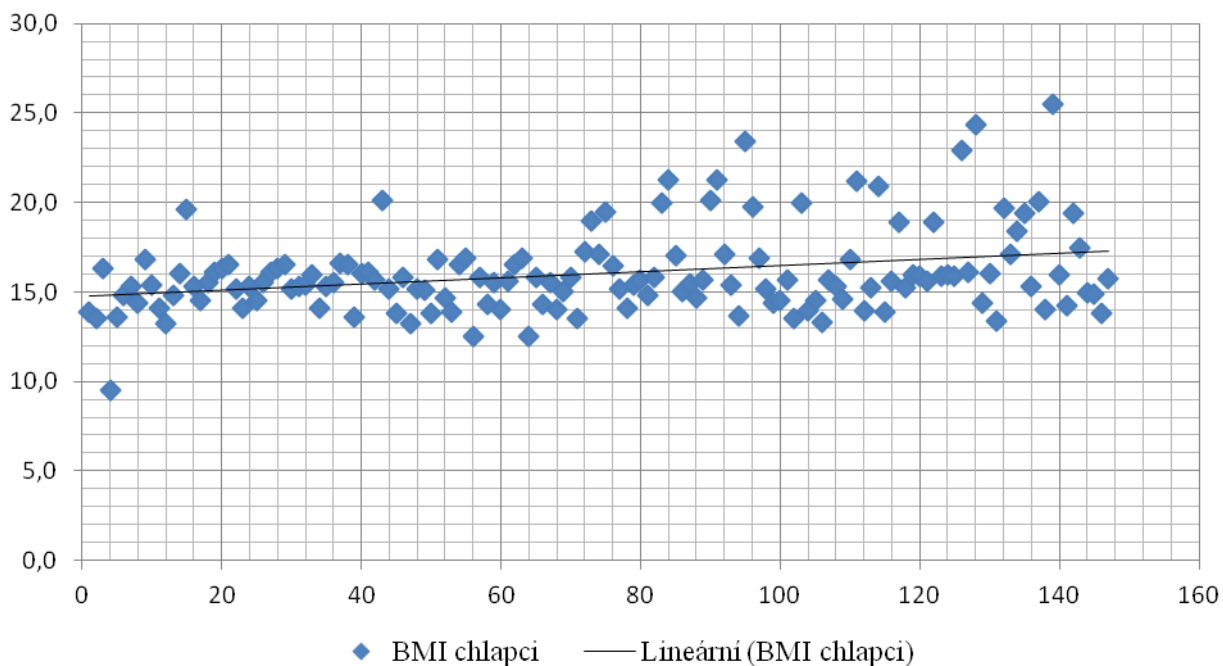
Referenční údaje a základní antropometrické parametry dětí mladšího školního věku

	V [cm]	m [kg]	BMI	Tělesné obvody [cm]			
				Hrudník	Břicho	Stehno	Paže
<b>Chlapci</b>	133,6±6,9	30,1±6,7	16,7±2,8	64,3±5,7	60,6±7,5	36,2±3,8*	19,7±2,3
<b>Dívky</b>	131,6±8,0	30,3±8,5	17,3±3,3	64,6±7,8	60,4±8,1	38,0±5,5*	20,3±3,2
<b>Celkem</b>	132,7±7,5	30,2±7,5	17,0±3,0	64,4±6,8	60,5±7,7	37,1±4,7*	20,0±2,8

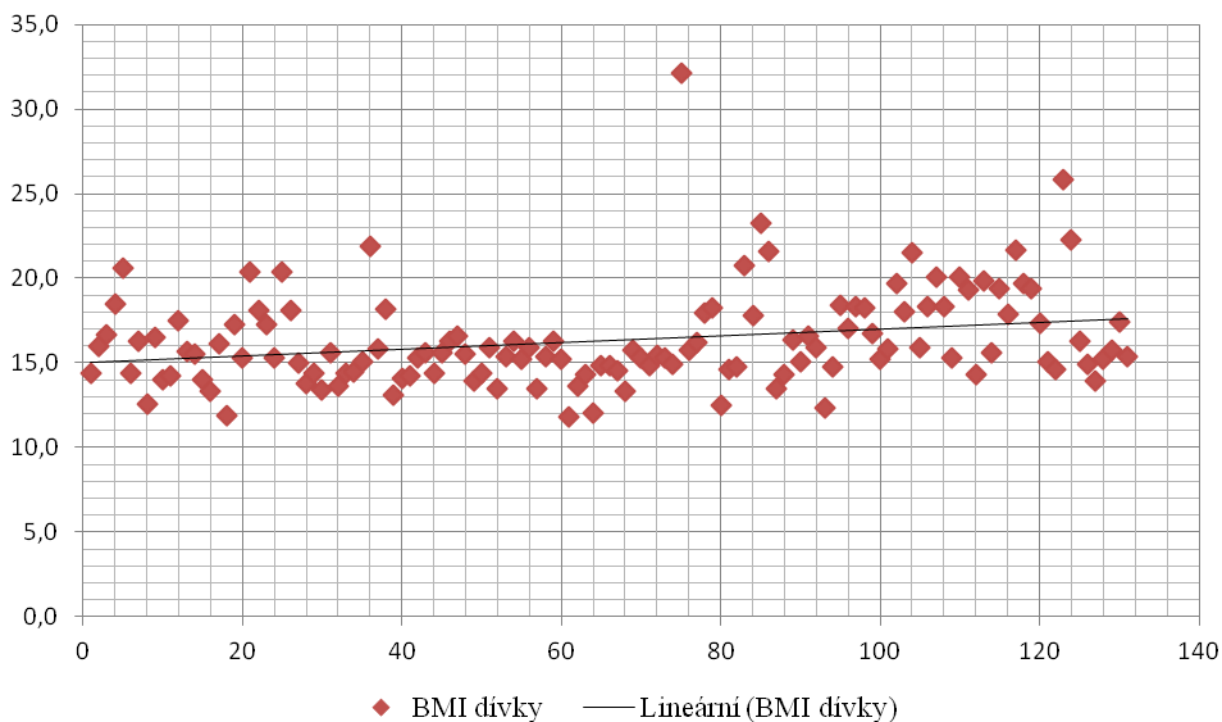
Note. V= tělesná výška, m= tělesná hmotnost, BMI= Body mass index, \*Pearsons Chi-square test (p<0,05).

## Srovnání dat

Obrázky 24 a 25 obsahuje bodové znázornění BMI u obou pohlaví předškolního a mladšího školního věku jako nejvýznamnějšího ukazatele distribuce tuku z tabulky 19 a 20. Hodnota BMI se lineárně zvyšuje s věkem sledovaných probandů.



Obr. 24 Vývoj BMI u chlapců



Obr. 25 Vývoj BMI u dívek

Mladší sledovaný soubor vykazuje srovnatelné hodnoty BMI vzhledem k vybraným standardům (SZÚ, 2008; WHO, 2007), ale u starších probandů vlastního šetření se ukazatel oproti standardům zvyšuje u chlapců, výrazněji u dívek. V tabulce 21 jsou uvedeny dostupné normy a výsledky vlastního šetření.

Tab. 21

Hodnoty BMI vlastního šetření ve srovnání s celostátním a světovým standardem

	Věk [roky]	Vlastní Šetření	Celostátní standard (SZÚ, 2008)	Světový standard (WHO, 2007)
<b>Chlapci</b>	5,0- 6,9	15,4	15,4	15,3
	8,0- 9,9	16,7	16,0	16,0
<b>Dívky</b>	5,0- 6,9	15,2	15,2	15,3
	8,0- 9,9	17,3	16,0	16,1

Na základě hodnot BMI jsme pro jednotlivá věková období čárkovací metodou zjišťovali výskyt nadváhy a obezity dle světové klasifikace pro děti od 5- 19 let (WHO, 2007). Nadváha se vyskytla u 7 dívek a 3 chlapců předškolního věku /celkem 14,1 %/, čteněji u 12 dívek a 12 chlapců staršího výběrového souboru /32,9 %/. Obezitu charakterizuje četnost 4 dívek, 4 chlapců mladšího /celkem 11,3 %/ a 5 dívek, 7 chlapců staršího souboru /celkem 16,4 %/. Nadváhou a obezitou dle BMI u mladšího souboru tedy trpí 25,4 % a staršího skoro polovina probandů /49,3 %/.

Normy vybraných obvodových parametrů poskytují také materiály 6. Celostátního antropologického výzkumu (SZÚ, 2008). Uvádíme dostupné proměnné, tj. obvod břicha jako ukazatel abdominální distribuce a obvod paže jako ukazatel končetinového tuku /tab. 22/. Parametry se ukázaly u vlastních souborů ve vyšších hodnotách. Největší rozdíl obvodu břicha představuje soubor chlapců, a to o celý 1 cm v průměru. Největší diference jsme zaznamenali u obvodu paže mladších subjektů.

Tab. 22

Srovnání vybraných obvodových parametrů s celostátním standardem

	Věk [roky]	Obvod břicha [cm]	Obvod břicha (SZÚ, 2008) [cm]	Obvod paže [cm]	Obvod paže (SZÚ, 2008) [cm]
<b>Chlapci</b>	5,0- 6,9	55,1	54,1	19,6	17,7
	8,0- 9,9	60,6	59,6	19,7	19,6
<b>Dívky</b>	5,0- 6,9	54,3	53,6	19,8	17,7
	8,0- 9,9	60,4	57,2	20,3	19,6

## 9.2 Kaliperace

### *Předškolní soubor*

Mladší skupina vyšetřených /n=141/ vykazovala u suprailiací hodnoty  $4,7 \pm 3,6$  mm, subscapulární  $5,7 \pm 4,2$  mm, tricpitální  $8,9 \pm 3,1$  mm. Nižší hodnoty všech kožních řas jsme zaznamenali u chlapců. Suprailiaca vykazovala hodnotu  $3,7 \pm 3,1$  mm, subscapula  $4,7 \pm 3,3$  mm a triceps  $8,4 \pm 2,7$  mm. U dívek suprailiaca prezentuje průměrnou hodnotou  $5,8 \pm 3,8$  mm, subscapula  $6,8 \pm 4,8$  mm a triceps  $9,5 \pm 3,6$  mm. Nejmenší genderový rozdíl jsme zjistili nad tricepsem, dvě další měřené řasy vykazovaly výraznou diferenci. Personův Chí-kvadrát test potvrdil statisticky významný rozdíl mezi pohlavími u ukazatelů v tabulce 23.

Tab. 23

Tloušťka vybraných kožních řas hodnocených prostřednictvím kaliperace u předškolních dětí

	Suprailiaca [mm]	Subcapula [mm]	Triceps [mm]	$\Sigma$ řas [mm]
<b>Chlapci</b>	$3,7 \pm 3,1^{**}$	$4,7 \pm 3,3^{**}$	$8,4 \pm 2,7^*$	$16,8 \pm 7,3^{**}$
<b>Dívky</b>	$5,8 \pm 3,8^{**}$	$6,8 \pm 4,8^{**}$	$9,5 \pm 3,6^*$	$22,1 \pm 10,3^{**}$
<b>Celkem</b>	$4,7 \pm 3,6^{**}$	$5,7 \pm 4,2^{**}$	$8,9 \pm 3,1^*$	$19,3 \pm 9,1^{**}$

Note. \*(p<0,05), \*\*(p<0,001) Pearsons Chi-square test.

### Soubor mladšího školního věku

Starší soubor /n=137/ charakterizuje tloušťka suprailiacy  $10,4 \pm 8,1$  mm, subscapuly rovněž  $10,4 \pm 7,7$  mm a tricepsu  $13,4 \pm 7,0$  mm. Chlapci opět vykazovali výrazně nižších hodnot. Nejmarkantnější rozdíl jsme shledali u suprailiacální řasy o více než 4 mm v průměru. O více než 3 mm menší průměrná tloušťka charakterizovala tricipitální kožní řasu a nejmenší difference jsme zaznamenali u subscapulární řasy. Personův Chí-kvadrát test potvrdil statisticky významný rozdíl mezi pohlavími u ukazatelů v tabulce 24.

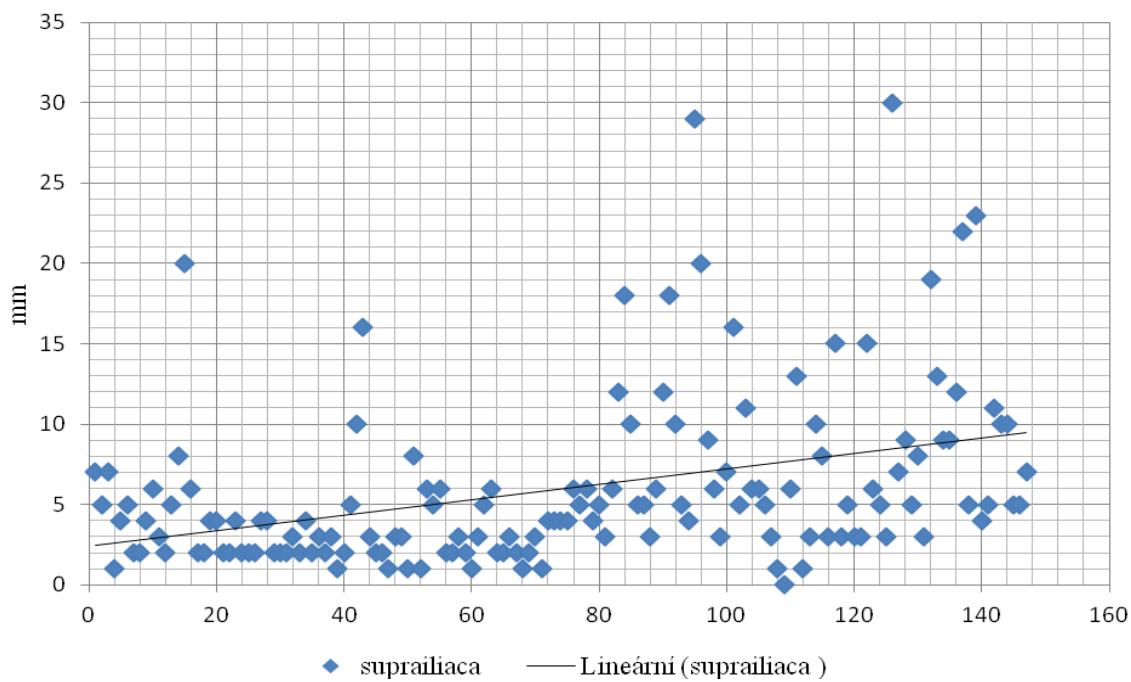
Tab. 24

Tloušťka vybraných kožních řas hodnocených prostřednictvím kaliperace u školních dětí

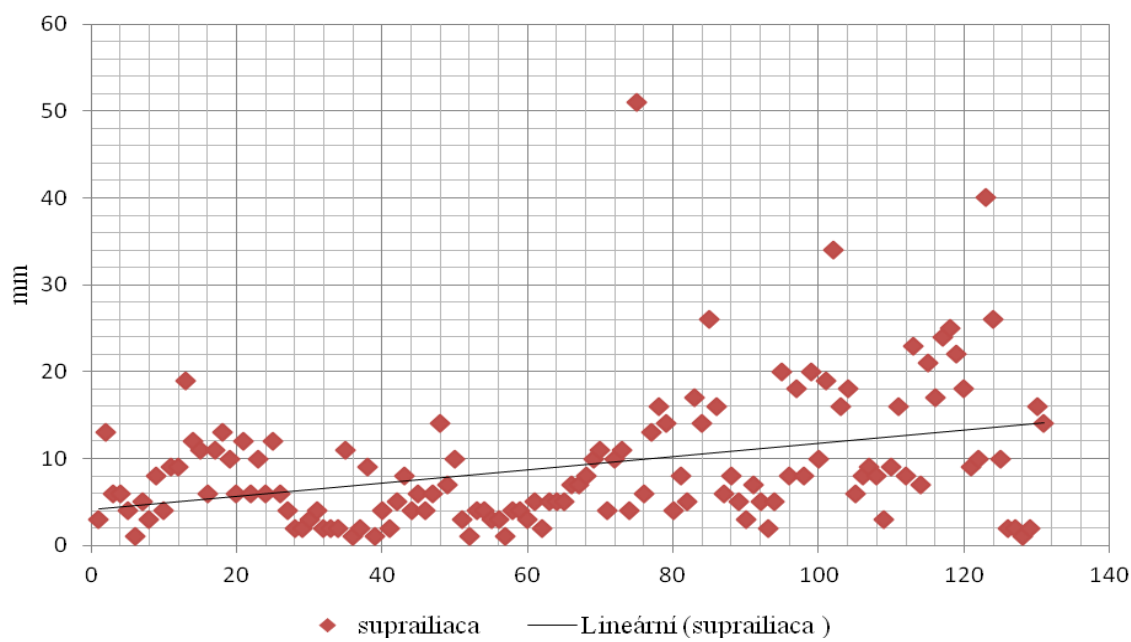
	<b>Suprailiaca</b>	<b>Subscapula</b>	<b>Triceps</b>	<b>∑ řas</b>
	<b>[mm]</b>	<b>[mm]</b>	<b>[mm]</b>	<b>[mm]</b>
<b>Chlapci</b>	$8,4 \pm 6,2^*$	$9,0 \pm 5,7^*$	$11,8 \pm 5,9^{**}$	$29,2 \pm 6,4^{**}$
<b>Dívky</b>	$12,7 \pm 9,4^*$	$12,0 \pm 9,3^*$	$15,3 \pm 7,8^{**}$	$39,9 \pm 25,2^{**}$
<b>Celkem</b>	$10,4 \pm 8,1^*$	$10,4 \pm 7,7^*$	$13,4 \pm 7,0^{**}$	$34,3 \pm 21,6^{**}$

Note. \*(p<0,05), \*\*(p<0,001) Pearsons Chi-square test.

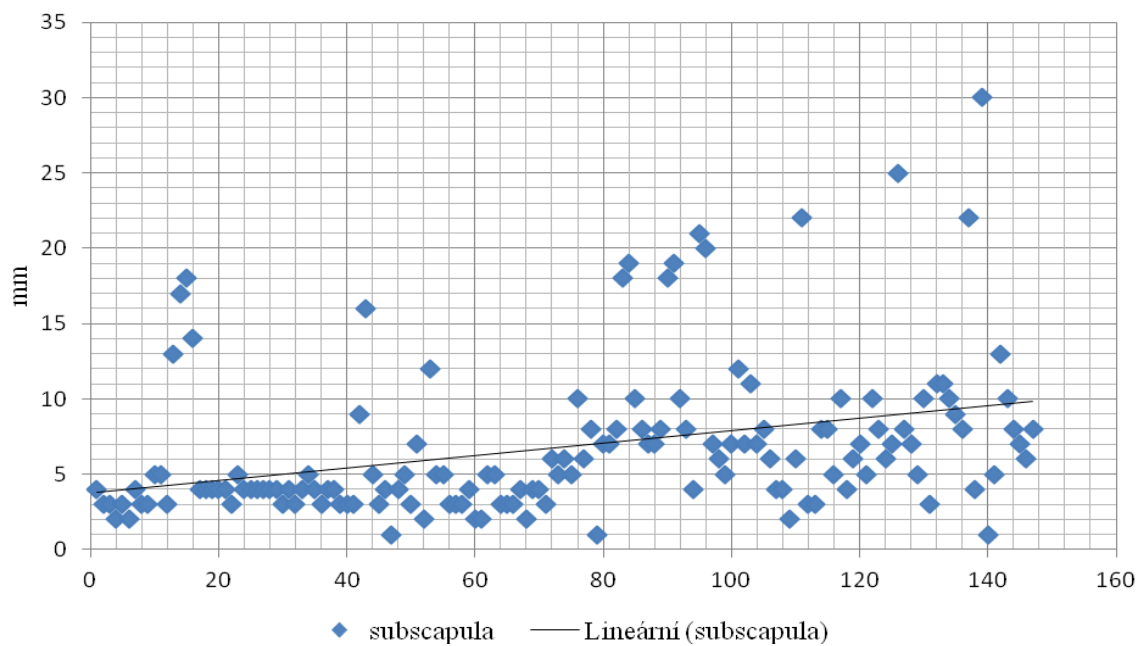
Naměřená data kaliperovaných míst dle pohlaví vystihují následné obrázky. Obrázky 26 a 27 charakterizují vývoj tloušťky suprailiacální, obrázky 28 a 29 subscapulární a obrázky 30 a 31 tricipitální kožní řasy. Distribuce tuku v oblasti abdominální a končetinové se u mladšího souboru jeví jako nižší. Ojedinelá větší tloušťka kožní řasy pod dolním úhlem lopatky se vyskytuje u mladších dívek. Celkově se dá popsat mladší soubor z hlediska distribuce tuku v oblasti trunkální méně tučný. Oproti tomu starší soubor je ve všech sledovaných parametrech adipóznější. Nejvýraznější difference detekujeme u suprailiacální a subscapulární kožní řasy. Rozdíl často nabývá až dvojnásobných hodnot.



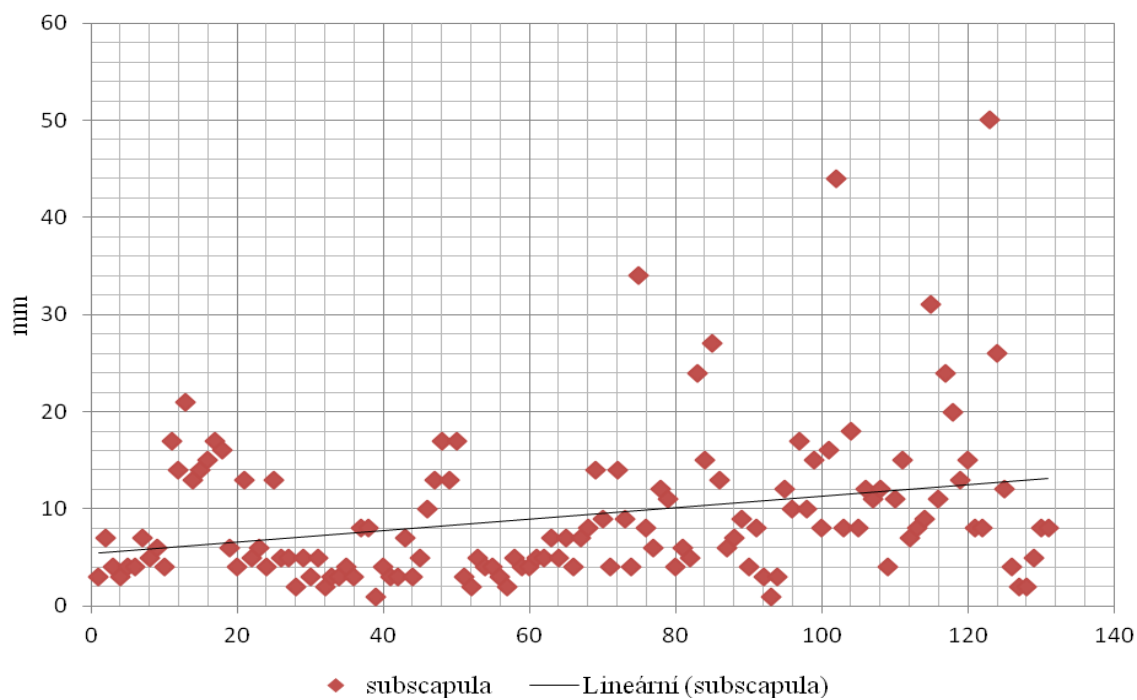
Obr. 26 Vývoj suprailiacální kožní řasy u chlapců



Obr. 27 Vývoj suprailiacální kožní řasy u dívek

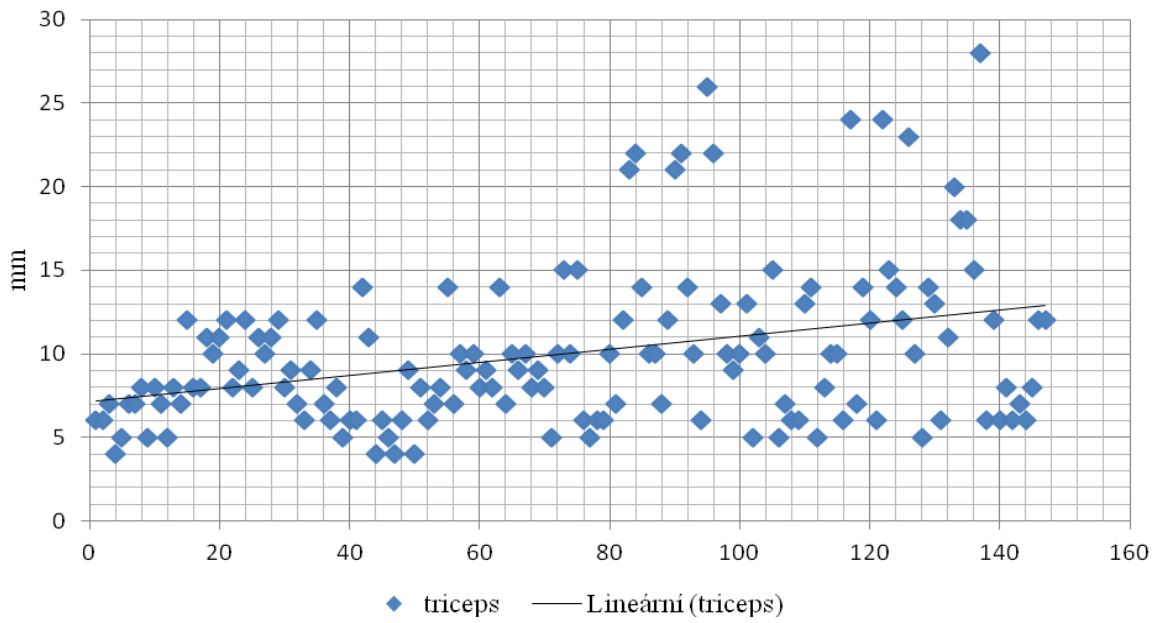


Obr. 28 Vývoj subscapulární kožní řasy u chlapců

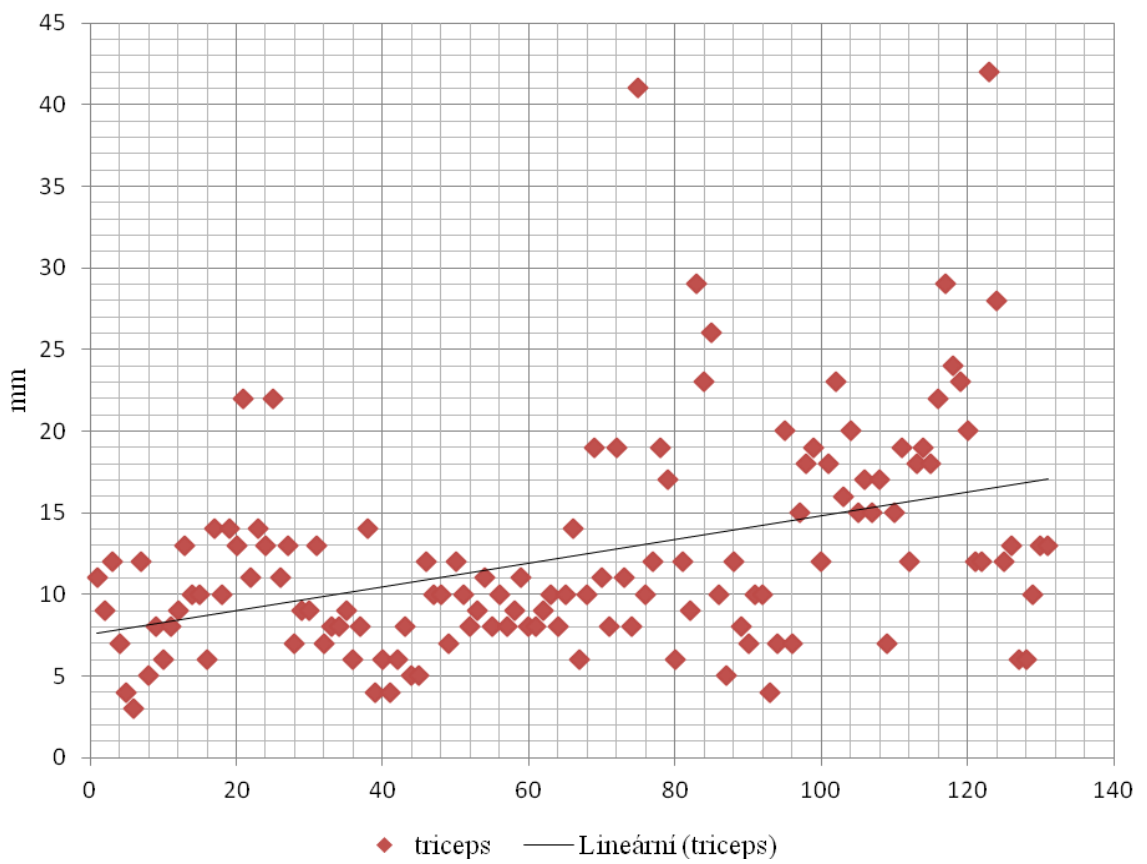


Obr. 29 Vývoj subscapulární kožní řasy u dívek





Obr. 30 Vývoj tricipitální kožní řasy u chlapců



Obr. 31 Vývoj tricipitální kožní řasy u dívek

## Srovnání dat

Tabulka 25 prezentuje výsledky vlastního měření, po převodu naměřených dat na typ Harpenden, a 6. Celostátního antropologického výzkumu (SZÚ, 2008; Vignerová & Bláha, 2001). Kromě tricipitální kožní řasy u mladších dívek jsou z vlastního šetření patrné zvýšené všechny parametry. Nejvýraznější zvýšená distribuce tuku se nachází u starší sledované skupiny a obou pohlaví v oblasti abdominální. Celosvětový standard (WHO, 2007) poskytuje kaliperační hodnoty pouze pro věkové rozpětí 3 měsíců až 5 let.

Tab. 25

Srovnání tloušťky kožních řas s celostátním standardem

	<b>Věk</b> [roky]	<b>Supr.</b> [mm]	<b>Supr.</b> [mm]	<b>Subsc.</b> [mm]	<b>Subsc.</b> [mm]	<b>Triceps</b> [mm]	<b>Triceps</b> [mm]
		<b>(SZÚ, 2008)</b>		<b>(SZÚ, 2008)</b>		<b>(SZÚ, 2008)</b>	
<b>Chlapci</b>	5,0- 6,9	5,0	4,1	5,9	5,6	9,6	9,2
	8,0- 9,9	9,8	4,4	10,2	5,8	12,8	9,4
<b>Dívky</b>	5,0- 6,9	7,0	5,0	7,9	5,7	10,7	10,8
	8,0- 9,9	14,1	6,0	13,3	6,2	16,3	11,1

*Note.* Supr.= suprailiacální řasa, subsc.= subscapulární řasa.

### 9.3 Bioelektrická impedanční analýza

#### *Předškolní soubor a soubor mladšího školního věku*

Vzhledem k dostupnosti predikční rovnice uvádíme data pouze subjektů od 6 let /n=205/. Bioelektrickou impedanční analýzou bylo zjištěno celkové množství tuku u předškolního souboru  $22,0 \pm 6,4$  % /n=68/. U chlapců /n=36/ jsme naměřili nižší hodnotu  $21,6 \pm 6,1$  % než u dívek /n=32/  $22,5 \pm 6,6$  %. U starších probandů /n=137/ jsme naměřili  $21,4 \pm 8,4$  % celkového tělesného tuku. Genderově charakterizuje množství tukové tkáně u chlapců hodnota  $19,1 \pm 7,5$  % a u dívek  $24,1 \pm 8,6$  %. Oproti mladšímu souboru se tedy vytváří značný pohlavní rozdíl v celkové distribuci tuku. U chlapců se množství výrazněji snižuje a u dívek zvyšuje. Tato metoda však stanovila oproti předchozím snižující se průměrné množství tukové tkáně s přibývajícím věkem.

Tabulka 26 udává výsledky BIA ve srovnání s výsledky odhadové rovnice pro výpočet % zastoupení tělesného tuku ze součtu 2 řas, po převodu naměřené tloušťky na typ Harpenden, dle standardizované převodní tabulky (Vignerová & Bláha, 2001). Vzhledem k výraznému výskytu adipozity u devítiletých probandů, prezentujeme soubory s podrobnějším věkovým členěním. U chlapců i dívek nacházíme větší interindividuální rozdíly s přibývajícím věkem. Zjišťovali jsme statisticky významný genderový rozdíl u hodnocení distribuce tukové tkáně metodou BIA. Potvrdil se na hladině  $p < 0,001$ . Veškeré statisticky významné rozdíly poskytují přílohy C a D.

Tab. 26

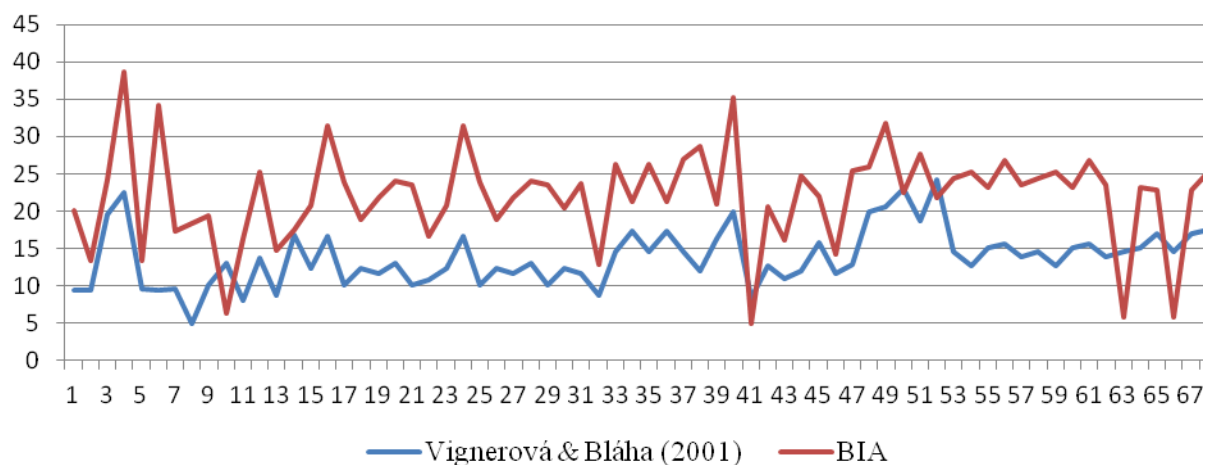
Srovnání celkového množství tuku dle kaliperace a BIA

	<b>Věk</b> /roky/	<b>Kaliperace</b> množství tuku /%/	<b>BIA</b> množství tuku /%/
<b>Chlapci</b>	5,0- 5,9	12,4±3,5	—
	6,0- 6,9	12,3±3,6	21,6±6,2
<b>Celkem</b>	5,0- 6,9	12,4±3,5	—
<b>Dívky</b>	5,0- 5,9	17,6±5,3	—
	6,0- 6,9	15,4±3,4	22,5±6,7
<b>Celkem</b>	5,0- 6,9	16,5±4,5	—
<b>Předškolní soubor</b>	5,0- 5,9	14,8±5,1	—
	6,0- 6,9	13,8±3,8	22,0±6,4
	5,0- 6,9	14,3±4,5	—
<b>Chlapci</b>	8,0- 8,9	17,7±7,8	18,4±6,7
	9,0- 9,9	18,0±7,8	19,7±8,2
<b>Celkem</b>	8,0- 9,9	17,9±7,7	19,1±7,5**
<b>Dívky</b>	8,0- 8,9	21,0±11,0	21,1±9,2
	9,0- 9,9	24,9±9,1	26,3±7,5
<b>Celkem</b>	8,0- 9,9	23,2±10,0	24,1±8,6**
<b>Školní soubor</b>	8,0- 8,9	19,2±9,0	19,6±7,9
	9,0-9,9	21,4±9,3	23,0±8,5
	8,0- 9,9	20,4±9,3	21,4±8,4

Note. \*\*Pearsons Chi-square test (p<0,001).

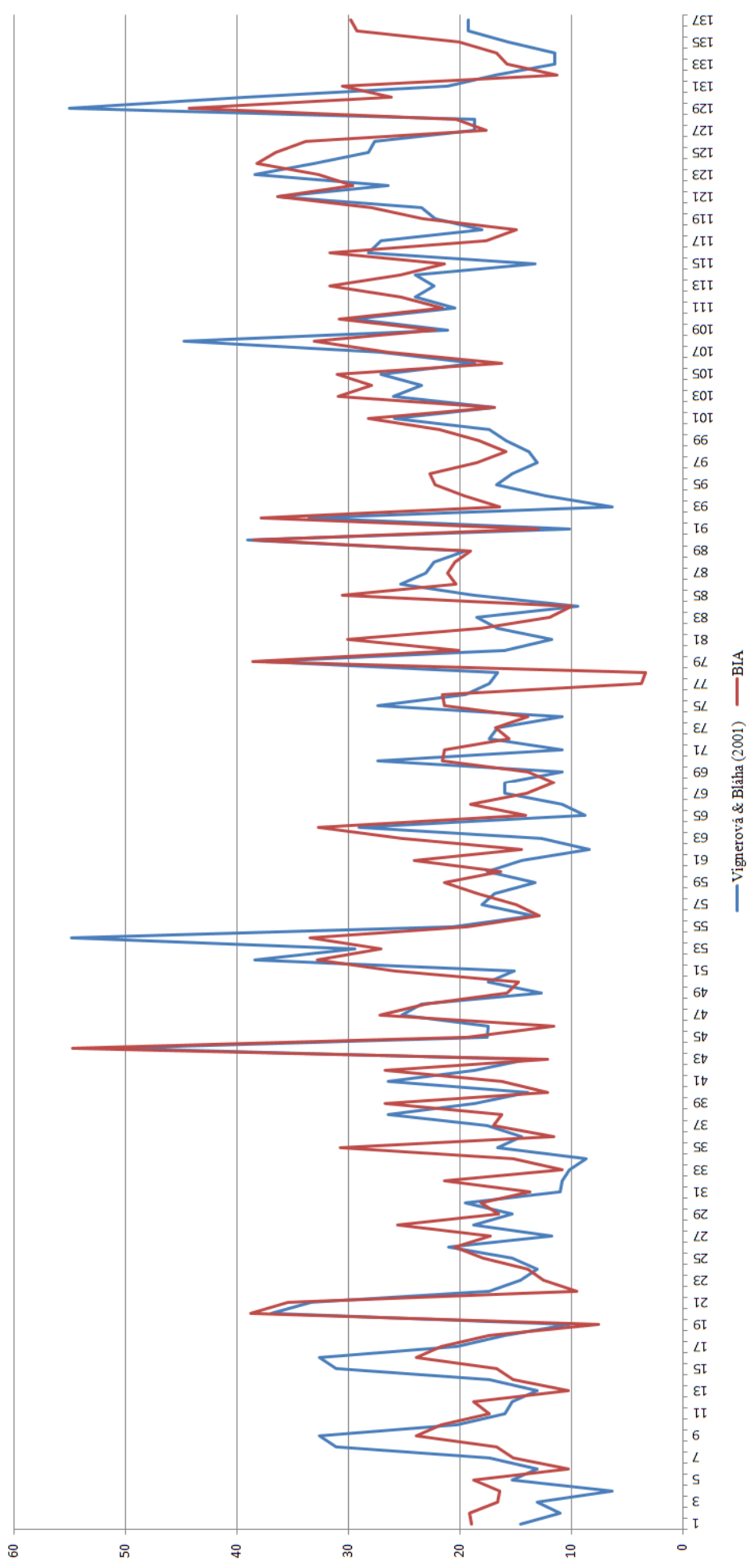
Vlastní výzkum vykazuje nižší hodnoty tělesného tuku hodnoceného metodou kaliperace. Soubor dětí starších 6 let hodnocený kaliperací disponuje 17,3 % tukové tkáně a dle BIA 22,0 %. Studie Bugža et al. (2012, p. 107), která vztahovala BIA a kaliperaci k duální rentgenové absorpciometrii /DXA/ uvádí, že vzhledem k referenční metodě vychází výsledky kaliperace o 7,8 % nižší a BIA o 2,3 % nižší (p< 0,001). Průměrný rozdíl metod je tedy srovnatelný s vlastním výzkumem. Výsledky obou metod u souboru 6-letých vykazují značné rozdíly. Z obrázku 32 můžeme sledovat výrazné podhodnocení množství tuku dle výpočtu kaliperací

rovnice u převážné části souboru. Rozdíl aplikovaných metod je výraznější u předškolního souboru.



Obr. 32 Procentuální množství celkového tělesného tuku u předškolních dětí

U staršího souboru není zcela patrné podhodnocování tou či druhou metodou dle obrázku 33. Pokud porovnáme proměnnou u staršího souboru, kaliperační technika vykazuje vyšší hodnoty v průměru o 1 %. Existují však výrazné individuální odchylky u některých subjektů /n=18/, u kterých se lišil výsledek v distribuci tukové tkáně o více než 10 %.



**Obr. 33** Procentuální množství celkového tělesného tuku u dětí mladšího školního věku

Nejvyšší množství tělesného tuku jsme našli u jedné osmileté a dvou devítiletých dívek. Jedná se o morbidně obézní dívky, u nichž jsme mohli odečíst hodnotu kožních řas s použitím právě Bestova kaliperu s větším rozpětím přítlačných hrotů. Prezentované proměnné obézních subjektů navyšují hodnotu nejen směrodatné odchylky. Především z důvodu ojedinělých případů obézních a větší četnosti probandů s nadváhou a podváhou, působí soubor mladšího školního věku značně nehomogenně. 3 obézní probandy uvádíme v tabulce 27. I z těchto výsledků můžeme potvrdit značnou diferenci výsledků celkového množství tuku.

Tab. 27

Nejvyšší naměřené hodnoty celkového tělesného tuku

<b>Dívka č.</b>	<b>Věk /roky/</b>	<b>Kaliperace</b>	<b>BIA</b>
		<b>množství tuku /%/</b>	<b>množství tuku /%/</b>
1	8	51,3	54,7
2	9	44,8	33,1
3	9	55,0	44,3

#### *Srovnání dat BIA*

Vlastní studie zaznamenala nárůst tukové tkáně v období mezi 8 a 9 rokem, a také přibývající počet případů s nadváhou a obezitou, zejména u prepubescentních děvčat. Pro srovnání výsledků vlastního měření a šetření Bunce (2005) uvádíme tabulku 28. Dostupná studie Bunce (2005) udává hodnoty tuku u četnějšího souboru chlapců a dívek a vychází také z uplatnění predikční rovnice Bunce et al. (1999). Prezentuje hodnoty tuku s věkem klesajícího charakteru.

Tab. 28

Srovnání celkového množství tuku hodnocené BIA

	Věk /roky/	Tuk	Nadváha	Obezita	Tuk	Nadváha	Obezita
		/%/	/%/	/%/	(Bunc, 2005) /%/	/%/	/%/
<b>Chlapci</b>	6,0- 6,9	21,6	30,6	11,1	22,4	15,0	8,0
	8,0- 8,9	18,4	8,6	8,6	20,4	16,2	8,6
	9,0- 9,9	19,7	0	16,2	20,1	16,8	9,4
<b>Dívky</b>	6,0- 6,9	22,5	53,1	9,4	24,5	16,0	8,0
	8,0- 8,9	21,1	28,6	10,7	22,8	16,8	8,7
	9,0- 9,9	26,3	21,6	43,2	22,3	17,0	9,6

#### 9.4 Vzájemná závislost sledovaných ukazatelů

Pro hodnocení dat jsme využili Pearsonův korelační koeficient za použití softwaru Statistica verze 6.0.

U dívek a chlapců předškolního věku jsme zjistili korelační analýzou menší genderové rozdíly. Např. obvod paže koreluje u dívek pouze s obvodem stehna a u chlapců také s BMI. Rozdíly v korelacích jsou u subscapulární řasy. Zatímco u chlapců koreluje se všemi ukazateli kromě tělesné výšky a obvodu stehna, u dívek koreluje subscapulární řasa pouze se suprailiakální řasou a tělesnou výškou. Konkrétní výsledky zobrazuje příloha F.

U dívek a chlapců mladšího školního věku jsme zjistili statisticky významnou závislost všech sledovaných parametrů kromě jediné proměnné. BIA u chlapců nekoreluje s tělesnou výškou. Výsledné hodnoty prezentuje příloha G.



## 9.5 Ultrasonografické šetření

### *Experiment*

Pro bližší charakteristiku individuální distribuce tuku jsme provedli u malého vzorku probandů /n=7/ i další vybraná měření /BMI, kaliperace, BIA/, která prezentuje Tabulka 29. Dobrovolně hodnocené ženy, studentky 2. ročníku oboru Tělesná výchova a Sport při PF UJEP v Ústí nad Labem, byly ve věku 21-22 let. Průměrná výška dosahovala hodnoty  $166,4 \pm 6,6$  cm, průměrná hmotnost hodnoty  $64,4 \pm 10,5$  kg, BMI  $23,1 \pm 2,7$  kg/m<sup>2</sup>. Kaliperované lokality prezentují průměrné hodnoty, spina  $8,9 \pm 5,6$  mm, subscapula  $10,4 \pm 3,0$  mm, triceps  $12,1 \pm 3,8$  mm. Dle pětistupňové normy vyhodnocení součtu tří kožních řas (Chytráčková, 1999), spadl proband s č. 4 a 6 do velmi nízkého, vyšetřovaný č. 2 do podprůměrného a ostatní /n=4/ do průměrného množství podkožního tuku. Hodnocení průměrného množství celkového tělesného tuku  $20,5 \pm 5,7$  % metodou BIA je intraindividuálně odlišné od kaliperace, výrazně např. u probanda č. 3.

Tab. 29

Charakteristiky souboru se zaměřením na hodnocení tělesného tuku

Subjekt č.	Základní antropometrie			Kaliperace			BIA	
	V [cm]	m [kg]	BMI	Suprail. [mm]	Subsc. [mm]	Tric. [mm]	$\sum$ řas [mm]	Tuk [%]
1	165,0	64,9	23,8	14	14	12	40	26,5
2	163,0	70,3	26,5	9	9	13	31	27,3
3	174,5	69,2	22,7	2	14	14	30	12,4
4	168,0	59,0	20,9	4	9	8	21	14,6
5	166,0	65,1	23,6	15	9	19	43	19,4
6	155,0	44,7	18,6	4	6	11	21	19,1
7	173,5	77,8	25,8	14	12	8	34	24,0

Note. Supr.= suprailiacální řasa, subsc.= subscapulární řasa, tric.= tricipitální řasa.

Vlastní experiment poskytl naměřené hodnoty charakterizující distanci epidermis-linea alba s určitým přítlakem [N] dle tabulky 30. Největší deformaci jsme zaznamenali při porovnání tloušťky subkutánního tuku bez přítlaku a při působení přítlaku o hodnotě 3 Newtonů /300 g/.

Rozdíl těchto průměrných hodnot činil 30,1 %. U probandky č. 3 s nejnižší distribucí tuku ve sledovaném segmentu, jsme zaznamenali deformaci pouze o 20,7 %. U probandky č. 7 s nejvyšší tělesnou hmotností jsme ve sledovaném segmentu zaznamenali hodnotu dokonce o 38,2 % nižší.

Tab. 30

Měření tloušťky subkutánního tuku v abdominální oblasti při tlakovém působení

<b>Proband č.</b>	<b>S min. přítlakem [mm]</b>	<b>3 N [mm]</b>	<b>4 N [mm]</b>	<b>5 N [mm]</b>	<b>6 N [mm]</b>
1	18,3	14,6	13,3	12,7	12,5
2	13,9	8,8	7,9	7,7	6,5
3	3,4	2,7	2,7	2,7	2,2
4	8,8	5,9	5,5	5,3	5,3
5	20,1	14,2	13,3	12,6	12,0
6	4,7	3,5	3,1	3,1	3,1
7	16,9	10,5	9,9	8,7	8,2

#### *Hodnocení distribuce tuku u selektivní skupiny*

Výsledky měření subkutánního tuku ultrasonografií u selektivního souboru /n=31/ tvořilo 15 dětí předškolního věku a 16 dětí mladšího školního věku. Měření předcházely všechny udané metodiky a všechna naměřená data prezentuje příloha E.

Skupinu předškolního věku charakterizuje průměrná tělesná výška  $114,1 \pm 6,1$  cm, průměrná tělesná hmotnost  $19,6 \pm 2,8$  kg. Z obvodových parametrů můžeme zmínit hodnoty pro hrudník  $55,0 \pm 2,9$  cm, břicho  $52,2 \pm 3,5$  cm, stehno  $33,1 \pm 1,5$  cm a paže  $17,5 \pm 3,0$  cm. Kaliperovaná místa reprezentují data nižší u supriliacální řasy  $3,3 \pm 1,6$  mm a subscapuly  $4,2 \pm 1,3$  mm, charakterizující distribuci tuku v oblasti trunkální. Končetinový tuk nad tricipsem vykazuje standardně vyšší hodnotu  $9,2 \pm 2,9$  mm.

Skupina dětí mladšího školního věku reprezentuje průměrnou tělesnou výškou  $131,3 \pm 4,5$  cm, průměrnou tělesnou hmotností  $27,6 \pm 5,8$  kg. Průměrné obvodové rozměry činí u hrudníku  $62,2 \pm 5,4$  cm, břicha  $59,3 \pm 7,8$  cm, stehna  $35,8 \pm 3,8$  cm

a paže  $19,8 \pm 2,1$  cm. Tloušťka vybraných kožních řas kaliperací udává vyšší hodnoty u suprailiacy  $4,8 \pm 4,7$  mm a subscapuly  $5,3 \pm 5,0$  mm. Naopak nižší hodnotu tricipitální kožní řasy  $8,8 \pm 3,3$  mm.

Porovnáním základních proměnných jsme zjistili ve všech parametrech kromě BIA vyšší celkovou distribuci tuku u dětí 2.ročníku základní školy. BMI u dětí předškolního věku činí  $15,0 \pm 1,7$  kg/m<sup>2</sup>, součet kaliperovaných řas průměrně  $16,7 \pm 4,9$  mm, součet řas ultrasonografickým vyšetřením  $11,9 \pm 3,2$  mm. U dětí mladšího školního věku jsme zjistili BMI  $15,9 \pm 2,3$  kg/m<sup>2</sup>, součet kaliperovaných řas  $18,8 \pm 11,6$  mm a součet řas ultrasonografickým šetřením  $16,9 \pm 9,4$  mm. Segmentální distribuce ukazuje na zvyšující se množství trunkálního a abdominálního tuku na úkor tuku končetinového, který se s růstem dětí snižuje /tab. 31/. Hodnocení BIA ukázalo opačný výsledek. U dětí mladšího školního věku ukázala průměr  $20,8 \pm 7,5$  % a u starších  $19,4 \pm 7,0$  % tělesného tuku.

Tab. 31 Přehled vybraných ukazatelů distribuce tuku u selektivního souboru

	Kaliperace [mm]			UZ [mm]			BIA
	Supr.	Subsc.	Triceps	Supr.	Subsc.	Triceps	/%/
<b>Předškolní soubor</b>	$3,3 \pm 1,6$	$4,2 \pm 1,3$	$9,2 \pm 2,9$	$2,6 \pm 1,1$	$2,8 \pm 1,0$	$6,5 \pm 1,7$	$20,8 \pm 7,5$
<b>Školní soubor</b>	$4,8 \pm 4,7$	$5,3 \pm 5,0$	$8,8 \pm 3,3$	$3,9 \pm 3,3$	$4,6 \pm 4,1$	$7,6 \pm 2,7$	$19,4 \pm 7,0$

Note. Supr.= suprailiacální řasa, subsc.= subscapulární řasa.

BIA ukazuje na velké individuální rozdíly a v několika případech vysoce nekoreluje s UZ hodnocením ani kaliperací. Tabulka 32 prezentuje vybrané subjekty, které dosáhly přibližně stejné součtové kaliperace a UZ distance epidermis-fascie, a u kterých Bodystat prezentoval naprosto rozdílné hodnoty. Jednalo se o probandy ze skupiny nižšího věku. Extrémní odlišnost se ukázala např. u subjektu č. 5. Prezentovaná data zpochybňují validitu metody i přes zjištěnou vysokou reliabilitu v kapitole 9.6.

Tab. 32

Proměnné vybraných subjektů mateřské školy pro srovnání hodnot BIA, kaliperace a UZ

Subjekt č.	Kaliperace [mm]				Ultrasonografie [mm]				BIA [%]
	Supr.	Subsc.	Triceps	Σ řas	Supr.	Subsc.	Triceps	Σ řas	
1	2	4	9	15,0	1,0	2,5	7,0	10,5	20,5
2	2	5	9	16,0	2,5	3,0	6,0	11,5	23,2
3	3	3	9	15,0	2,0	2,0	7,0	11,0	10,5
4	2	2	7	11,0	1,5	1,5	5,0	8,0	26,1
5	3	3	7	13,0	2,5	2,0	5,0	9,5	31,2
6	2	4	6	12,0	2,0	3,0	5,0	10,0	23,5
7	2	3	8	13,0	2,5	2,0	6,0	10,5	9,9

*Note.* Supr.= suprailiacální řasa, subsc.= subscapulární řasa. Zvýraznění referenční metody UZ a BIA šedým stínováním.

## 9.6 Reliabilita vybraných metod

### *Hodnocení reliability testem-retestem*

Hodnotili jsme dobrovolné studenty 2. ročníku oboru Tělesná výchova a sport při PF UJEP v Ústí nad Labem /n=10/, ve věku 21- 22 let. 3 probandi vykazovali mírně vyšší BMI /ve škále nadváhy/, průměr skupiny činil 23,1. Přehled základních údajů a výsledků měření pomocí BIA nabízí tabulka 33.

Tab. 33

Výsledky hodnocení reliability BIA opakovaným měření

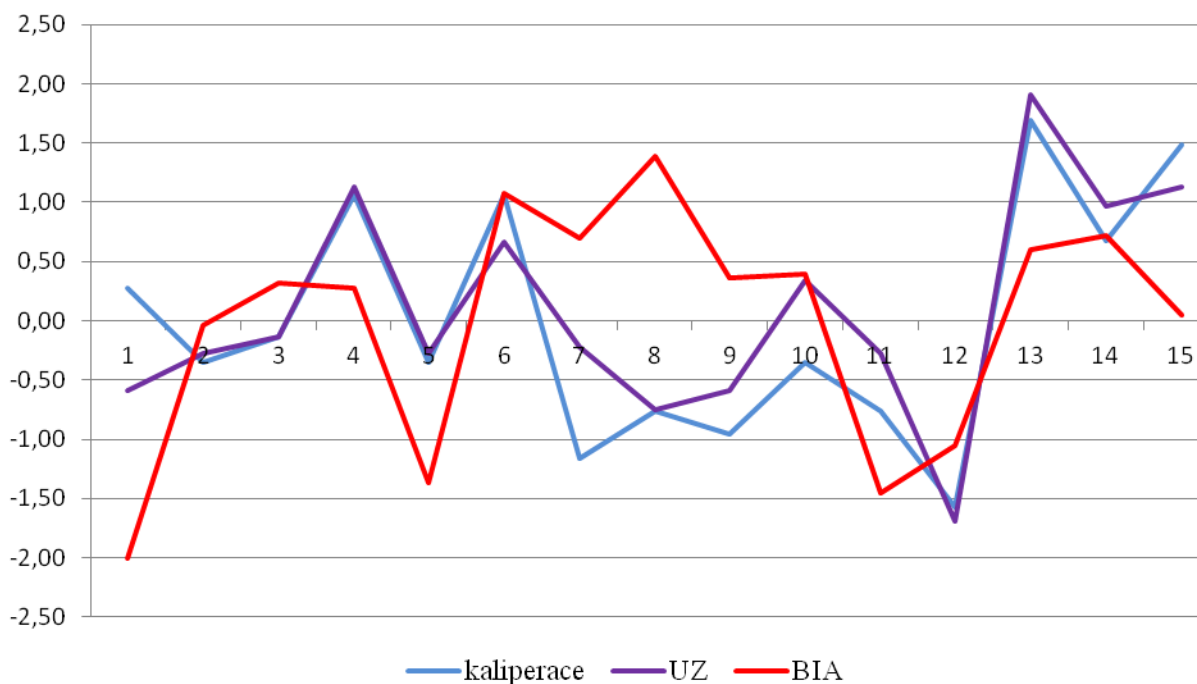
<b>Proband č.</b>	<b>V [cm]</b>	<b>m [kg]</b>	<b>BMI</b>	<b>1. měření % tt [kg]</b>	<b>2. měření % tt [kg]</b>
1 /muž/	188,0	83,0	23,5	8,0 /6,6/	11,4 /9,5/
2 /muž/	189,5	85,5	24,1	10,5 /9,0/	10,0 /8,6/
3 /žena/	172,5	61,8	20,7	16,9 /10,4/	19,4 /12,0/
4 /žena/	173,0	62,9	21,0	17,9 /11,3/	19,4 /12,2/
5 /žena/	168,0	59,1	21,0	19,0 /11,2/	18,9 /11,2/
6 /žena/	155,0	44,7	18,6	19,1 /8,5/	20,5 /9,2/
7 /žena/	173,5	77,8	25,8	24,0 /18,7/	23,2 /18,0/
8 /žena/	165,0	64,9	23,8	26,5 /17,2/	24,9 /16,2/
9 /žena/	163,0	70,3	26,5	27,3 /19,2/	25,4 /17,9/
10 /muž/	185,5	90,4	26,3	18,3 /16,5/	16,7 /15,1/

*Note.* V= tělesná výška, m= tělesná hmotnost, % tt= procentuální zastoupení tělesného tuku

Koeficient stability testu souboru byl vyhodnocen s výsledkem  $r= 0,964$ . Tato hodnota značí dle škály Zaciorského (1981) vysokou spolehlivost testu, pohybující se v rozmezí 0,95- 0,99.

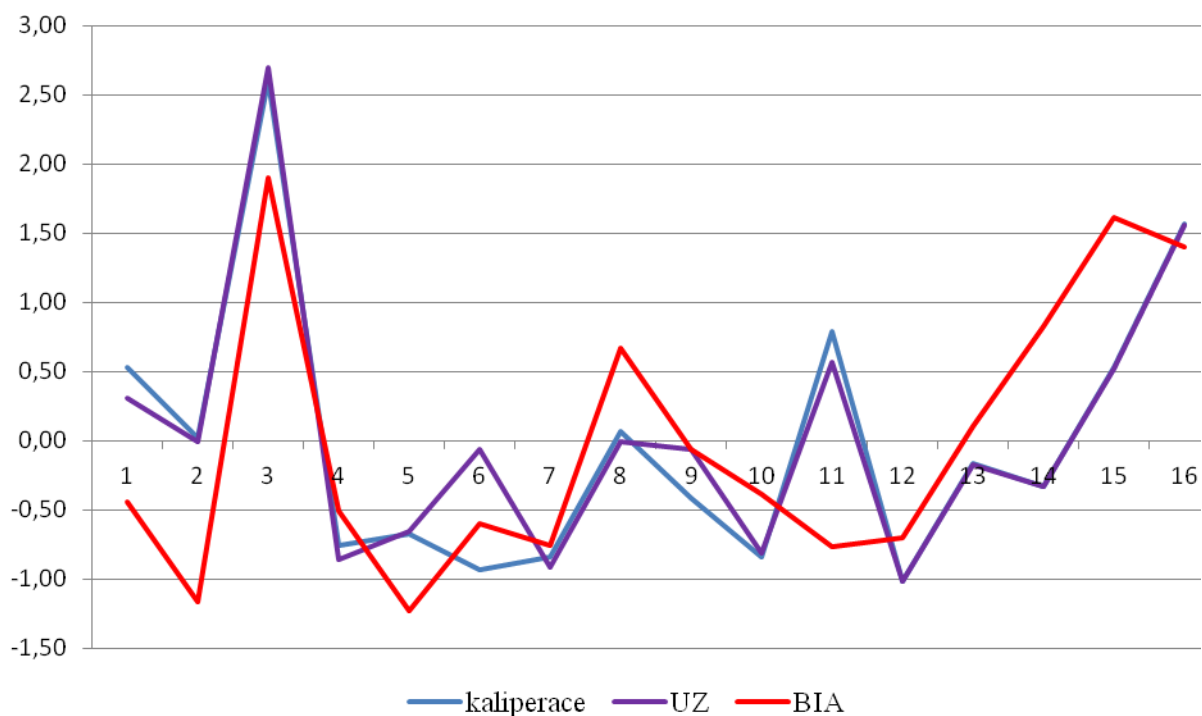
#### *Hodnocení reliability ekvivalencí*

Z následujících přepočtených z-skór vyplývá, že hodnocení distribuce tuku kaliperací, i když může být zatíženo chybou testující osoby, přesnější. Četnost spolehlivosti BIA /n=5/ dalece nedosahuje kaliperační techniku /n=26/. Prostřednictvím z- transformace jsme shledali kaliperační metodu jako spolehlivější u 83,9 % případů. Výsledná transformovaná data pro předškolní skupinu vystihuje obrázek 34. Odchylka od UZ měření vypočtená z rozdílu z-skór představuje u kaliperace předškolních dětí průměrnou hodnotu 0,33 a BIA 0,87 /příloha H/.



Obr. 34 Z- transformace vybraných metodik u dětí předškolního věku

Výsledná transformovaná data pro skupinu mladšího školního věku představuje obrázek 35. Rozdíly z- skóre jsou méně markantní než u mladší skupiny, přesto se ukazuje kaliperáčnická technika opět jako spolehlivější, místy dokonce zcela koresponduje s UZ měřením. U tohoto souboru jsme vypočetli rozdíl z- skóre u kaliperace vzhledem k UZ 0,13 průměrně a u BIA 0,61 /příloha H/.



Obr. 35 Z- transformace vybraných metodik u dětí mladšího školního věku

Rozdíl průměrného z-skóru vztaženého k UZ měření pro oba soubory vypovídá o více než trojnásobně vyšší přesnosti kaliperace /0,22/ než BIA /0,73/.

## 10 DISKUZE

Zvýšená distribuce tuku u dětí naznačuje vznik adipozity v dospělosti, která je příčinou řady degenerativních onemocnění. Adipozita snižuje kvalitu života dětí, dospělé populace a seniorů (Pyšná, Hajerová Müllerová, Pyšná, Pyšný, & Škoda, 2009). Primárně dochází vlivem nadváhy a obezity ke kardiovaskulárním onemocněním, snížené respirační kapacitě nebo dokonce ke vzniku rakoviny (Kvamme et al., 2012).

Výsledná hodnota BMI je pro předškolní soubor srovnatelná s celostátním (SZÚ, 2008) a světovým standardem (WHO, 2007). Dívky v předškolním věku charakterizuje průměr 15,4 a chlapce 15,2 kg/m<sup>2</sup>. U chlapců staršího souboru jsme zjistili BMI 16,7 a dívek dokonce 17,3 kg/m<sup>2</sup>. V porovnání se standardem jak celostátním, tak světovým, se jedná o zvýšený ukazatel distribuce tukové tkáně. Celostátní standard uvádí pro chlapce a dívky 16 kg/m<sup>2</sup>, světový obdobná data, pro chlapce 16 a pro dívky 16,1 kg/m<sup>2</sup> /tab. 21/. Ztotožňujeme se s tvrzením Freedmana & Sherry (2009), kteří BMI shledávají vhodným ukazatelem distribuce tuku u dětí.

Vybrané tělesné obvody prezentují také tukovou složku jednotlivých tělesných segmentů. Pro lokalitu abdominální jsme vybrali obvod břicha, který je u předškolního souboru a starších chlapců jen lehce zvýšený oproti celostátnímu standardu. U dívek mladšího školního věku však vykazuje markantnější rozdíl. Převyšuje celostátní průměr (SZÚ, 2008) o více jak 3 cm /tab. 22/. Střední obvody paže a stehna, charakterizující také subkutánní vrstvu tuku, výrazně korelují jak mezisouborově, tak genderově /příloha F,G/. Obvod stehna prokázal významný statistický rozdíl mezi pohlavími ( $p < 0,05$ ).

Překvapivý výsledek jsme zaznamenali při porovnávání obvodu paže předškolních dětí s celostátním standardem (SZÚ, 2008). Tento ukazatel představuje u vlastního souboru dívek hodnotu 19,8 cm, která je standardně 17,7 cm, u chlapců vlastního výzkumu 19,6 cm a standardně 17,7 cm. Výrazně tedy převyšuje normativní hodnoty. Potvrdit by to měla tloušťka kožní řasy v oblasti tricepsu, ta však u mladších probandů vykazuje srovnatelné údaje s celostátním standardem (SZÚ, 2008).



Vysvětlení nalezneme v nerovném podílu ostatních tkáňových struktur /svalová, kostní hmota/.

Zjistili jsme například u 8-9 letých korelaci vybraných končetinových obvodů a tělesné hmotnosti, stejně jako prezetuje studie Cattermola, Leunga, Maka, Grahama & Rainera (2010). Popisuje střední obvod paže jako korelující ukazatel, který nabývá síly s věkem, ale je neadekvátní při použití u předškolních dětí, stejně jako u výsledků vlastního šetření /příloha F/.

Vývoj tloušťky kožních řas suprailiacy a subscapuly nás velice znepokojil /tab. 23, 24/. Výsledky vlastního šetření potvrzují v porovnání s celostátním standardem (SZÚ, 2008) prudký nárůst podkožního tuku u 8-9 letých probandů /tab. 25/. Hodnoty u obou souborů prokazují statisticky význačné rozdíly, které u předškolních dětí, u suprailiacy a subscapuly, a tricepsu dětí mladšího školního věku, atakují hladinu  $p < 0,001$ . Studie Kromeyer-Hauschilda, Glässera & Zellnera (2012) potvrzuje také vyšší distribuci tuku u dívek a zvyšující se adipozitu hodnocenou kaliperační technikou. Zvýšená distribuce tuku právě v oblasti abdominální a trunkální představuje zvýšené riziko vzniku kardiovaskulárních onemocnění (Prado et al., 2012), zvláště při dodržení linearitu nárůstu tuku.

Bioelektrickou impedanční analýzou jsme hodnotili probandy starší 6 let, dle nastavené predikční rovnice (Bunc et al., 1999). Při porovnání tělesného tuku odhadovou rovnicí ze dvou kožních řas a BIA jsme u 6-letých zjistili 13,8 % dle kaliperace a 22,0 % dle BIA /tab. 26/. Uvedli jsme také, že podobné výsledky zaznamenal Bugža et al. (2012). U staršího souboru jsme všemi metodami kromě BIA odhalili zvýšenou distribuci tukové tkáně. BIA udávala průměrnou hodnotu 21,4 %. Proto jsme se rozhodli původní myšlenku ověření aspektu stability testu /reliability/ rozšířit o aspekt ekvivalence, tedy porovnání výsledků vzhledem ke zvolené referenční metodě, ultrasonografického hodnocení, u selektivní skupiny probandů / $n=31$ /.

Studie Kutáče (2010) prezentuje také velmi „vysokou“ reliabilitu BIA. Koeficient stability  $r = 0,970$  se blíží výsledku vlastního šetření, kde jsme  $r$  vypočítali v hodnotě 0,964. Je tu však několik nejasností, které reliabilitu metody mohou

zpochybnit. Prováděli jsme průběžné výpočty reliability, nejprve s 5 subjekty s výsledkem 0,94 a později jsme pro sporný vzorek naměřili data dodatková. Hodnota  $r = 0,94$  vypovídá dle limitů pouze o „dobré“ spolehlivosti (Zaciorskij, 1981). Pokud bychom sledovali menší vzorek, u kterého došlo k velmi rozdílnému výsledku 1. a 2. měření, mohli bychom interpretovat reliabilitu nižší. Při hodnocení vícečetného souboru tedy metoda vychází jako vysoce spolehlivá stejně jako ve studii Kafriho, Pottera & Myinta (2014), ale některá individuální měření ukazují na větší odchylky. Dokládá to skutečnost, že u dětí s překvapivým výsledkem jsme provedli opětovné měření ihned po prvním s hodnocením mnohdy velice odlišným. Výsledky celkového množství tuku kolísaly až o 5,7 %. Studie Talmy, Chinapawa, Bakkera, HiraSinga, Terweea, & Altenburga (2013) uvádí dokonce individuální diference v rozmezí 7,5- 13,4 %. Velikou neznámou jsou také negativní výsledky několika málo subjektů mladšího školního věku ( $n = 3$ , 1 %), u kterých Bodystat vyhodnotil celkové množství tuku opakovaně od -1 do -2 %. U dalších 11 případů došlo také přes opakované měření k chybě. Můžeme tedy konstatovat, že celkem 13 dětí (4 %) jsme nemohli do výběrového souboru začlenit. 3- 5 % error uvádí také studie Ihmelse, Welka, McClaina, & Shabena (2006).

Výsledek hodnocení vnější konzistence testu nás přesvědčil o spolehlivosti metody z hlediska aspektu stability testu. Většina odborných studií se také zaměřuje na reliabilitu opakovaným měřením (Aantstad et al., 2014; Lubans et al., 2011, ad./). Nedochozí ke zpochybnění výsledků a metoda je považována za dostatečně vypovídající o podílu tukuprosté a tukové hmoty jedince, avšak interindividuální odchylky ve výsledcích distribuce tuku nás podnítili k širšímu oteřování reliability a validity. Zvolili jsme hodnocení vnitřní konzistence testu ekvivalencí (Zaciorskij, 1981). Lineární transformace dat na z-skór umožnila porovnání metodik a potvrdila předpokládaná očekávání. Vnitřní konzistence testu vzhledem ke zvolené referenční metodě /UZ/ se ukázala jako silně nespolehlivá u metody BIA dle obrázků 34 a 35. Pouze u 16 % testovaných Bodystat vyhodnotil data srovnatelná s UZ šetřením. Kaliperace je vždy technikou, která může být zatížena chybou lidského faktoru. U 84 % vyšetřovaných probandů jsme poukázali spolehlivěji na distribuci tukové tkáně. Ztotožňujeme se tedy s Petersonem et al. (2011). Tato studie považuje kaliperaci také za přesnější metodu hodnocení distribuce tuku než BIA.

Faktorů, které mohou ovlivnit reliabilitu a validitu metody BIA, je velice mnoho a zaměřujeme se na ně v kapitole 5.2.2. Velikost a vodivá plocha použitých kontaktních elektrod také může mít souvislost s reliabilitou měření dle Huigena, Pepera, & Crimbergera (2002). Elektrolytické gely by měly být preferovány při analýze subjektů v delším časovém úseku.

Běžné standardizované teplotní rozmezí, při kterém hodnotíme probanda, je 20-25 °C. Studie Buona et al. (2004) zkoumala výsledky analýzy při hraničních teplotách 20 a 25 °C a prezentuje minimální vliv teploty na výsledky měření.

Každý subjekt má individuální stav a charakteristiky, které nelze vnitřně standardizovat. Chudý nutriční stav či špatný zdravotní stav může také ovlivnit reliabilitu BIA (Kafri et al., 2014). Doporučuje se použití metody pouze u zdravých jedinců (Bodystat, 2001). Tato metoda tedy vyřazuje probandy s nadváhou a obezitou, kteří již mohou vykazovat jakékoliv patofyziologické charakteristiky /např. zvýšený krevní tlak, diabetes, apod./.

Individuální podíl jednotlivých tkání je také velice výrazným faktorem. Vyšší podíl tukové tkáně značí vysokou celkovou impedanci. Vyšší hydratace /fyziologicky u předškolních/ a podíl vodivé tkáně poskytuje odlišné prostředí pro průchod elektrických signálů různé frekvence (Bodystat, 2001).

Bodystat také nepredikuje množství kostní hmoty oproti široké škále dalších výsledků, pouze tukovou a beztukovou složku. Předpokládaná hloubka tedy může být menší než k periostu. Dalším faktorem mohou být rozdílné elektrofyziologické jevy na buněčné i tkáňové úrovni, které nastávají v lidském těle po opětovném průchodu elektrického proudu v krátkém čase (Grimnes & Martinsen, 2008).

Experiment ultrasonografického vyšetření za použití odlišných hodnot přítlaku prokázal značné rozdíly právě v rozsahu běžně aplikovaného přítlaku o velikosti do 3 Newtonů. Naměřili jsme odchylku v rozmezí 20,7- 38,2 %, což považujeme za zásadní informaci, která by mohla ovlivnit reliabilitu a validitu UZ hodnocení tloušťky všech podkožních struktur. Pokud by tedy docházelo k opakovanému odečtu hodnot při působení přítlaku odlišných hodnot, byla by zpochybněna validita

tohoto hodnocení, dle našeho předpokladu převážně u osob postižených obezitou, hodnocených např. s časovým odstupem /po dietním režimu, před operací, apod./ či ve srovnání s metodami využívajícími konstantu přítlaku /kaliperace/. Na základě mechanických vlastností určitého biomateriálu dochází ve vícevrstevnatém modelu k určitému deformačnímu účinku. Vše tedy závisí na výběru sledovaného segmentu, obsahující dané biostruktury v určitém podílu se specifickým složením a vlastnostmi. Doufáme, že toto zjištění poslouží ke standardizaci přítlaku při měření subkutánních vrstev.

Vyšší přítlak o velikosti 3 N a více se prakticky v tomto hodnocení neaplikuje, proto jsme uvedli naměřená data bez bližšího komentáře. Pouze u hodnot u 5 a 6 N nás překvapil nelineární pokles hodnot, charakterizující distanci vrstev. Můžeme vzít v úvahu přenos zatížení do hlouběji uložených tkání a orgánů v dutině břišní, které vykazují odlišné mechanické vlastnosti, než např. pevnější podklad /kost/, segmentálně odlišné uspořádání a podíl vrstev. Dalším možným faktorem je možná kontraktilní činnost svalů, která by mohla vytvářet pevnější podklad při odečtu distance a pevnost hodnocených struktur. Je nutné upozornit probanda na maximální možné uvolnění určité skupiny svalů, abychom docílili standardizace měření.

Selektivní soubor nám poskytl data nutná pro ověření reliability použitých metod. UZ metodou jsme zjistili vždy menší hodnoty, kvůli měření tloušťky kožní řasy se zanedbatelným přítlakem jednostranně. Kaliperace poskytla data oboustranného měření za působení konstantní síly. Průměrné hodnoty naměřené UZ u mladších probandů jsou opět nižší. U suprailiacy jsme zjistili 2,6, subscapuly 2,8 a tricepsu 6,5 mm. U dětí mladšího školního věku dochází k nárůstu nejznatelněji u subscapuly 4,6. Suprailiaca nabývá hodnoty 3,9 a triceps 7,6 mm. Šetření Petřů & Dylevský (2014) se zabývá také srovnáváním těchto vybraných metod.

Další vědecké bádání by se mohlo zaměřit na hodnocení jedinců s rozdílnou distribucí tuku v abdominální či jiné tělesné oblasti. Měření množství subkutánního a viscerálního tuku probíhá čteněji u jedinců s nadměrnou distribucí tuku, zařazených do kategorie nadváhy a obezity.

Síla vlastní studie tkví ve standardizovaném použití vybraných metod bez delší časové prodlevy. Soubor byl vyšetřen během 4 hodin, výjimku tvořil selektivní soubor, kde jsme se pohybovali v rozsahu 24 hodin. Předěšli jsme tak možným změnám v množství tělesného tuku.

## 11 ZÁVĚRY

Cílem studie bylo hodnocení a identifikace rozdílů distribuce tukové tkáně u dětí předškolního a mladšího školního věku, prostřednictvím základních antropometrických parametrů, kaliperace, BIA a UZ u selektivního souboru.

Tento cíl jsme splnili prezentací výsledků v kapitole 9. Souhrn dosažených poznatků a zodpovězení vědecké otázky poskytují následné odstavce.

Porovnávali jsme naměřená data mezisouborově, genderově a s celostátním (SZÚ, 2008) i světovým standardem (WHO, 2007). Zjistili jsme srovnatelné BMI předškolních probandů /tab. 21/, nižší distribuci tuku u všech tří kožních řas chlapců. Dívky lehce překračovaly normu v oblasti suprailiacy a subscapuly /tab. 25/.

U dětí mladšího školního věku všechny hodnoty měřených řas překračovaly normu /tab. 25/. U dívek, méně u chlapců, jsme zjistili nadměrnou distribuci tuku především v oblasti abdominální /více než dvojnásobně/ a trunkální, která může způsobit obecně zhoršení kvality života. Při lineárním růstu adipozitu a zmíněné zdravotní důsledky.

Díličními cíli disertační práce bylo ověření reliability BIA vzhledem k UZ šetření a analytický experiment vlivu přítlaku lineární sondy u UZ hodnocení na tloušťku subkutánního tuku.

Reliabilitu metody BIA jsme hodnotili na základě aspektu stability testu opakovaným měřením. Koeficient stability testu  $r = 0,964$  vypovídá o vysoké spolehlivosti dle limitů Zaciorského (1981). Aspekt ekvivalence však prokázal vyšší spolehlivost kaliperace dle  $z$ -skóre  $= 0,33$ , než BIA, která se hodnotou  $z$ -skóre  $= 0,87$  více vzdaluje reálnému množství tukové tkáně. Existují výrazné individuální odchylky ve výsledcích při současném použití BIA a kalibrace. Názorně ekvivalenci hodnocených metod poskytuje obrázek 34 a 35.

Experiment prokázal významný vliv silového působení sondy na měřenou distanci. Největší deformace sledované vrstvy nastala dle porovnávání naměřených dat mezi zanedbatelným přítlakem a hodnotou 3 Newtonů, v rozmezí od 20,7 do 38,2 %. Doufáme, že výsledky poslouží k dalšímu studiu problematiky zajištěním konstance přítlaku při hodnocení tloušťky podpovrchových tkáňových vrstev.

H1: *Předpokládáme statisticky významně nižší BMI u souboru předškolních dětí ve srovnání se souborem dětí mladšího školního věku.*

Potvrzujeme. Existuje statisticky významný rozdíl ( $p < 0,001$ ) mezi sledovanými soubory. Probandi předškolního věku disponují BMI v hodnotě 15,4 a probandi mladšího školního věku 17,0 kg/m<sup>2</sup>.

H2: *Předpokládáme, že hodnota BMI významně koreluje s lokální distribucí tuku vyjádřenou součtem kožních řas kaliperací a celkovou distribucí tuku měřenou bioelektrickou impedanční analýzou.*

Potvrzujeme. Existuje významná statistická závislost BMI a součtu kožních řas, BMI a celkovým množstvím tuku dle BIA /názorně v příloze F a G/.

H3: *Předpokládáme statisticky významně nižší distribuci tuku u souboru předškolních dětí než u souboru dětí mladšího školního věku hodnocenou kaliperací.*

Potvrzujeme. Existuje statisticky významný mezisouborový rozdíl ( $p < 0,001$ ) v distribuci tuku. Předškolní děti vykazují nižší distribuci tukové tkáně než starší soubor /genderově v příloze C/.

H4: *Předpokládáme stabilitu testu nižší než  $r = 0,90$  v hodnocení reliability bioelektrické impedanční analýzy opakovaným testováním dle stupnice Zaciorskij (1981).*

Zamítáme. Analýza prokázala vysokou reliabilitu na hodnotě  $r = 0,964$ , k dalšímu aspektu reliability se však vyjadřujeme v kapitole 9.6.

Všechny stanovené cíle a úkoly práce jsme splnili. Zodpověděli jsme vědeckou otázku a stanovené hypotézy.

## REFERENCE

- Aantstad, A., Holtberget, K., Hageberg, R., Holme, I., & Anderssen, S. A. (2014). Validity and reliability of bioelectrical impedance analysis and skinfold thickness in predicting body fat in military personnel. *Military Medicine*, *179*(2), 208-217. doi: 10.7205/MILMED-D-12-00545
- Agha, M. A., & El Wahsh, R. A. (2013). Basal metabolic rate in bronchial asthma and chronic obstructive pulmonary disease patients. *Egyptian Journal of Chest Diseases and Tuberculosis*, *62*(1), 39-40. doi: 10.1016/j.ejcdt.2013.01.007
- Alkhouli, N., Mansfield, J., Green, E., Bell, J., Knight, B., Liversedge, N., . . . Winlove, C. P. (2013). The mechanical properties of human adipose tissues and their relationships to the structure and composition of the extracellular matrix. *American Journal of Physiology- Endocrinology and Metabolism*, *305*(12), E1427-1435. doi: 10.1152/ajpendo.00111.2013
- Allison, D. B., & Baskin, M. L. (2009). *Handbook of Assessment Methods for Eating Behaviors and Weight-Related Problems. Measures, theory and research*. London: SAGE Publications, Inc.
- American Psychological Association (2010). *Manual of the American Psychological Association*. Washington: American Psychological Association.
- Austgen, L., & Bowen, R. (2002). *Brown adipose tissue: Hypertexts for biomedical sciences*. Retrieved from <http://arbl.cvmb.colostate.edu/hbooks/pathphys/misc topics/brownfat.html>
- Avram, A. S., Avram, M. M., & James, W. D. (2005). Subcutaneous fat in normal and diseased states: 2. Anatomy and physiology of white and brown adipose tissue, *Journal of the American Academy of Dermatology*, *53*(4), 671–683.



Beneš, J., Stránský, P., & Vítek, F. (2005). *Základy lékařské biofyziky*. Praha: Karolinum.

Bianco, A. C., Maia, A. L., Da Silva, W. S., & Christoffolete, M. A. (2005). Adaptive activation of thyroid hormone and energy expenditure. *Bioscience Reports*, 25(3/4), 191-208. doi: 10.1007/s10540-005-2885-6

Binns, A., Gray, M., & Di Bremzo, R. (2014). Thermic effect of food, exercise, and total energy expenditure in active females. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 2014(6). doi: 10.1016/j.jsams.2014.01.008

Bodystat (2001). *Bioelektrická impedanční metoda. Průvodce uživatelem*. Bodystat LTD.

Bogdanov, R. R., Bogdanov, A. R., & Kotov, S. V. (2013, June 15- 20). *The basal metabolism in patients with Parkinson's disease*. Paper presented at 17th International Congress of Parkinson's Disease and Movement Disorders.

Bosy-Westphal, A., Schautz, B., Later, W., Kehayias, J. J., Gallagher D., & Müller, M. J. (2013). What makes a BIA equation unique? Validity of eight-electrode multifrequency BIA to estimate body composition in a healthy adult population. *European Journal of Clinical Nutrition*, 67(1), 14-21. doi: 10.1038/ejcn.2012.160

Brooks, B. S. J., & Perosio, P. M. (2007). Adipose tissue. In E. M. Stacey (Ed.), *Histology for pathologists* (179-210). Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins.

Bugža, M., Zavadilová, V., Vlčková, J., Oleksiaková, Z., Šmajstrla, J., Tomášková, H., . . . Kavková, J. (2012). Porovnání výsledků různých metod stanovení tělesného tuku. In J. Kříž (Ed.), *Hygiena*, 57(3), 105-109. Ostrava: Státní zdravotnický ústav.

- Bunc, V. (2005). Aerobic fitness, body composition and physical performance in Czech children. In: S., Wuerth, S., Panzer, J., Krug, & D. Alfermann (Eds.), *Sport in Europa* (100-101). Hamburg: Czwalina Verlag.
- Bunc, V., Keller, J., Zahálka, F., Dlouhá, R., & Moravcová, J. (1999). *Závěrečná zpráva grantu 316/1997/C/FTVS*. Praha: Fakulta tělesné výchovy a sportu Univerzity Karlovy v Praze. Retrieved from [http://www1.cuni.cz/cuni/ruk/gauk/zz1999/316\\_97-c.htm](http://www1.cuni.cz/cuni/ruk/gauk/zz1999/316_97-c.htm)
- Campos, R. G., Hespanhol, J. E., de Arruda, M., Abella, C. P., Fargueta, M., & Cossio-Bolanos, M. A. (2012). Assessment of physical growth through body proportionality in Peruvian children living at moderately elevated altitudes. *Brazilian Journal of Kinanthropometry and Human Performance*, *14*(6), 690-703. doi: 10.5007/1980-0037.2012v14n6p690
- Cannon, B., & Nedergaard, J. (2004). Brown adipos tissue: Function and physiological significance. *Physiological Reviews*, *84*(1), 277-359. doi: 10.1152/physrev.00015.2003
- Carter, B. W., & Schucany, W. G. (2008). Brown adipose tissue in a newborn. *Baylor university Medical center Proceedings*, *21*(3), 328-330.
- Cattermole, G. N., Leung, P. Y., Mak, P. S., Graham, C. A., & Rainer, T. H. (2010). Mid-arm circumference can be used to estimate children's weight. *Resuscitation*, *81*(9), 1105-1110. doi: 10.1016/j.resuscitation.2010.05.015
- Cohade, C., Osman, M., Pannu, W. K., & Wahl, R. K. (2003). Uptake in supraclavicular area fat ("USA-Fat"): description on 18FFDG PET/CT. *Journal of Nuclear Medicine*, *44*(2), 170-176.
- Comley, K. S. C., & Fleck, N. (2010). A micromechanical model of the modulus of adipose tissue. *International Journal of Solids and Structures*, *47*(21), 2982-2990. doi: 10.1016/j.ijsolstr.2010.07.001

Cole, K. S., & Cole, R. H. (1941). Dispersion and absorption in dielectrics. *Journal of Chemical Physics*, 9, 341-351. doi: 10.1063/1.1750906

Cyrino, E. S., Okano, A. H., Glaner, M. F., Romanzini, M., Gobbo, L. A., Makoski, A., . . . Tassi, G. N. (2003). Impact of the use of different skinfold calipers for the analysis of the body composition. *Rev Bras Med Esporte*, 9(3), 150-153. doi: 10.1590/S1517-86922003000300004

Česká společnost pro ultrazvuk v medicíně (n.d.). Retrieved from <http://www.csum.cz/app/>

Český normalizační institut (1996). *ČSN ISO 7144 Dokumentace- Formální úprava disertací a podobných dokumentů*. Retrieved from <http://www.knihovna.zcu.cz/publikace/dokumenty-publikacni-cinnost/formalni-uprava-disertaci-a-podobnych-dokumentu-CSN-ISO-7144.pdf>

Český normalizační institut (2007). *ČSN 01 6910 Úprava písemností zpracovaných textovými editory*. Retrieved from <http://www.severskelisty.cz/redakce/csn016910.pdf>

Český statistický úřad (2013). *Obyvatelstvo*. Retrieved from <http://www.czso.cz/x/krajedata.nsf/oblast2/obyvatelstvo-xu>

Datové standardy ministerstva zdravotnictví České republiky (n. d.). Retrieved from [http://ciselniky.dasta.mzcr.cz/CD\\_DS3/hypertext/HKAAT.htm](http://ciselniky.dasta.mzcr.cz/CD_DS3/hypertext/HKAAT.htm)

Diridollou, S., Patat, F., Gens, F., Vaillant, L., Black, D., Lagarde, J. M., . . . Berson, M. (2000). In vivo model of the mechanical properties of the human skin under suction. *Skin Research and Technology*, 6(4), 214-221.

Diridillou, S., Vabre, V., Berson, M., Vaillant, V., Black, D., Lagarde, J. M., . . . Patat, F. (2001). Skin ageing: changes of physical properties of human skin in vivo. *International Journal of Cosmetic Science*, 23(6), 353-362. doi: 10.1046/j.0412-5463.2001.00105.x

Drastich, A. (1990). *Zobrazovací systémy v lékařství*. Brno: Vysoké učení technické v Brně.

Downing, S. M., & Yudkowsky, R. (2009). *Assessment in Health Professions Education*. New York: Taylor and Francis.

Duggan, Ch., Watkins, J. B., & Walker, A. (2008). *Nutrition in pediatrics 4. Basic science, clinical applications*. Berkshire: BC Decker Inc.

Durnin, J. V. G. A., & Womersley, J. (1974). Body fat assessed from total body density and its estimation from skinfold thickness: measurements on 481 men and women aged from 16 to 72 years. *British Journal of Nutrition*, 32(1), 77-97. doi: 10.1079/BJN19740060

Dvořák, P. (n.d.). *Vybrané kapitoly z biofyziky pro posluchače FVL, FVHE a FaF VFU Brno a Radiologie potravin pro posluchače FVHE VFU Brno*. Brno: Veterinární a farmaceutická univerzita v Brně. Retrieved from <http://cit.vfu.cz/biochemie/vybrkapitbf.htm>

Elmadbouh, I., Elghobashy, Y., Abd-Allah, E., Fathe, A., Tavel, S., & Abd-Elhakim, T. (2013). Relationship of apolipoprotein E polymorphism with lipid profiles in atherosclerotic coronary artery disease. *The Egyptian Heart Journal*, 65(2), 71- 78. doi: 10.1016/j.ehj.2012.11.002

Eskandari, H, Salcudean, S. E., Rohling, R., & Ohayon, J. (2008). Viscoelastic characterization of soft tissue from dynamic finite element models. *Physics in Medicine and Biology*, 53(22), 6569-6590. doi: 10.1088/0031-9155/53/22/018

Food and Agriculture Organization (1991). *Energy and Protein Requirements*. Geneva: World Health Organization. Retrieved from <http://www.fao.org/docrep/003/aa040e/aa040e00.htm>

Food and Agriculture Organization (2001). *Human energy requirements*. Retrieved from <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/007/y5686e/y5686e00.pdf>

Fruhbeck, G., & Gomez-Ambrosi, J. (2005). Adipose tissue. In B. Caballero (Ed.), *Encyclopedia of Human nutrition* (1-14). doi: 10.1016/B0-12-226694-3/00002-8.

Fakulta tělesné výchovy a sportu Univerzity Karlovy v Praze (2000). *Kompendium*. Retrieved from <http://biomech.ftvs.cuni.cz/pbpbk/kompendium/biomechanika/index.php>

Freedman, D. S. & Sherry, B. (2009). The Validity of BMI as an Indicator Body Fatness and Risk Among Children. *Pediatrics*, 124(1),S23-S34. doi: 10.1542/peds.2008-3586E

Geerligs, M. (2005). *Design of a phantom as a testing system for automatic needle insertion into a blood vessel*. Eindhoven: Philips.

Geerligs, M. (2006). *A literature review of the mechanical behavior of the stratum corneum, the living epidermis and the subcutaneous tissue*. Eindhoven: Philips. Retrieved from <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.66.472&rep=rep1&type=pdf>

Geerligs, M., Peters, G. W. M., Ackermans, P. A. J., Oomens, C. W. J., & Baaijens, F. P. T. (2008). Linear viscoelastic behavior of subcutaneous adipose tissue. *Biorheology*, 45(6), 677–688.

Gelfand, M. J., O'Hara, S. R., Curtwright, L. A., & MacLean, M. R. (2005). Pre-medication to block [<sup>18</sup>F]FDG uptake in the brown adipose tissue of pediatric and adolescent patients. *Pediatric Radiology*, 35(10), 984-990. doi: 10.1007/s00247-005-1505-8

Gennisson, J. L., Baldeweck, T., Tanter, M., Catheline, S., Fink, M., Sandrin, L., . . . Querleux, B. (2004). Assessment of elastic parameters of human skin using dynamic elastography. *Ieee Transactions on Ultrasonics Ferroelectrics and Frequency Control*, 51(8), 980-989.

Gill, R. (2012). *The Physics and Technology of Diagnostic Ultrasound: A Practitioners Guide*. Sydney: High Frequency Publishing.

Glaser, R. (2012). *Biophysics: An Introduction*. London: Springer. doi: 10.1007/978-3-642-25212-9.

Gmehling, J., Kolbe, B., Kleiber, M., & Rarey, J. (2012). *Chemical thermodynamics for process simulation*. Weinheim: Wiley VCH.

Griffin, B. A. (2013). Lipid metabolism. *Surgery*, 31(6), 267-272. doi: 10.1016/j.mpsur.2013.04.006

Grimnes, S., & Martinsen, Ø. G. (2006). *Wiley Encyklopedia of Biomedical Engeneering*. doi: 10.1002/9780471740360.ebs0128

Grimnes, S., & Martinsen, Ø.G. (2007). Geometry dependencies in tetrapolar electrode system- a finite element analysis on needle electrodes. *International Federation of Medical and Biological Proceedings*, 17, 198-200.

Grimnes, S., & Martinsen, Ø.G. (2008). *Bioimpedance & bioelectricity, basics*. Oxford: Academic Press.

Guo, X., Li, H., Xu, H., Woo, S., Dong, H. Lu, F., . . . Wu, Ch. (2012). Glycolysis in the control of blood glucose homeostasis. *Acta Pharmaceutica Sinica B*, 2(4), 358-367. doi: 10.1016/j.apsb.2012.06.002

Hainer, V., Hainerová, A. I., Bendlová, B., Flachs, P., Fried, M., Haluzík, M., . . . Wagenknecht, M. (2011). *Základy klinické obezitologie*. Praha: Grada Publishing, a.s.

Haïat, G., & Laugier, P. (2011). Introduction to the physics of ultrasound. In G. Haïat & P. Laugier (Eds.), *Bone Quantitative ultrasound* (29-45). Paris: Springer. doi: 10.1007%2F978-94-007-0017-8\_2

Hall, K. D., Heymsfield, S. B., Kemnitz, J. W., Klein, S., Schoeller, D. A., & Speakman, J. R. (2012). Energy balance and its components: implications for body weight regulation. *American Journal of Clinical Nutrition*, 95(4), 989-994. doi: 10.3945/ajcn.112.036350

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

Heaton, J. M. (1972). The distribution of brown adipose tissue in the human. *Journal of Anatomy*, 112(1), 35–39.

Hendriks, F. M., Brokken, D., van Eemeren, J. T. W. M., Oomens, C. W. J., Baaijens, F. P. T., & Horsten, J. B. A. M. (2003). A numerical-experimental method to characterize the non-linear mechanical behavior of human skin. *Skin Research and Technology*, 9(3), 274-283. doi: 10.1034/j.16000846.2003.00019.x

Heyward, V., & Wagner, D. (2004). *Applied body composition assessment*. Champaign: Human Kinetics.

Himms-Hagen, J. (1979). Obesity may be due to a malfunctioning of brown fat. *Canadian Medical Association Journal*, 121(10), 1361-1364.

Holder, D. S. (2005). Electrical impedance tomography. *BioMedical Engineering Online*, 4(27). doi: 10.1186/1475-925X-4-27

Hong-Je, L., Seoming, K., Ji-Hyoung, S., Sang-Woo, L., Jeongsoo, Y., Byeong-Cheol, A., . . . Rossa, K. (2008). Brown adipose tissue on F-18 FDG PET-CT: Characteristics of 104 Korean patients. *Journal of Nuclear Medicine*, 49(1), 250.

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

Hrazdira, I., Mornstein, V., & Škorpíková, J. (2006). *Základy biofyziky a zdravotnické techniky*. Brno: Neptun.

Hrazdira, I. (2008). *Úvod do sonografie*. Brno: Lékařská fakulta Masarykovy univerzity. Retrieved from [http://www.med.muni.cz/dokumenty/pdf/uvod\\_do\\_ultrasonografie1.pdf](http://www.med.muni.cz/dokumenty/pdf/uvod_do_ultrasonografie1.pdf)

Huigen, E., Peper, A., & Grimbergen. (2002). Investigation into the origin of the noise of surface electrodes. *Medical & Biological Engineering & Computing*, 40(3), 332-338. doi: 10.1007/BF02344216

Chan, V., & Perlas, A. (2011). Basics of Ultrasound Imaging. In S. N. Narouze (Ed.), *Atlas of Ultrasound-Guided Procedures in interventional Pain Management* (13-19). New York: Springer. doi: 10.1007/978-1-4419-1681-5\_1

Chytráčková, J. (1999). *Hodnocení tělesného tuku*. Praha: Studio Kinantropometrie.

Iacobellis, G., Corradi, D., & Sharma, A. M. (2005). Epicardial adipose tissue: anatomic, biomolecular and clinical relationships with the heart. *Nature Clinical Practice Cardiovascular Medicine*, 2(10), 536-543. doi: 10.1038/ncpcardio0319

Ihmels, M., Welk, G. J., McClain, J. J., & Schaben, J. (2006). The reliability and convergent validity of field test of body composition in young adolescents. *Journal of Physical Activity & Health*, 3(2), 67-77. doi: 10.1249/00005768-200405001-00347

Institute of Molecular Genetics. Academy of Science of Czech republic (n.d.). *Termodynamika*. Retrieved from [http://mci.img.cas.cz/pdf/Zakony\\_termodynamiky.pdf](http://mci.img.cas.cz/pdf/Zakony_termodynamiky.pdf)



Jackson, A. S., & Pollock, M. L. (1978). Generalized equations for predicting body density of men. *British Journal of Nutrition*, 40, 497-504. doi: 10.1079/BJN19780152

Janský, L. (1995). Humoral thermogenesis and its role in maintaining energy balance. *Physiological Reviews*, 75, 237-259.

Jeukendrup, E. A., & Gleeson, M. (2010). *Sport nutrition*. Champaign: Human Kinetics.

Kafri, M. W., Potter, J. F., & Myint, P. K. (2014). Body composition, energy expenditure and physical activity. *European Journal of Clinical Nutrition*, 68, 677-682. doi: 10.1038/ejcn.2013.266

Karas, V., & Otáhal, S. (1991). *Základy biomechaniky pohybového aparátu*. Praha: FTVS UK v Praze.

Kejvalová, L. (2010). *Výživa dětí od A do Z 2*. Praha: Vyšehrad.

Kisner, L., & Colby, L. A. (2012). Stretching for impaired mobility. In L. Kisner, & L. A. Colby (Eds.), *Therapeutic Exercise: Foundations and Techniques* (65-108). Philadelphia: F. A. Davis Company.

Kohlíková, E. (2006). *Vybraná témata praktických cvičení z fyziologie člověka*. Praha: Karolinum.

Kokaisl, P. (2011). *Základy antropologie*. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze.

Korhonen, R. K., & Saarakkala, S. (2011). Biomechanics and Modeling of Skeletal Soft Tissues. In V. Klika (Ed.), *Theoretical Biomechanics* (113- 132). doi: 10.5772/19975.

Krásničanová, H. (1998). *Kompendium pediatrické auxologie*. Retrieved from <http://www.ojrech.cz/lesny/kompendium/>

Krouskop, T. A., Wheeler, T. M., Kallel, F., Garra, B. S., & Hall, T. (1998). Elastic moduli of breast and prostate tissues under compression. *Ultrasonic Imaging*, 20, 260-274. doi: 10.1177/016173469802000403

Krška, Z., Baňář, P., Brůha, R., Burget, F., Daneš, J., Demeš, R., . . . Zima, T. (2011). *Techniky a technologie v chirurgických oborech*. Praha: Grada Publishing, a.s.

Kyle, U. G., Bosaeus, I., De Lorenzo, A. D., Deurenberg, P., Elia, M., Gomez, J., ... Richard, C. (2004). Bioelectrical impedance analysis, part I: review of principles and methods. *Clinical Nutrition*, 23(5), 1226–1243.

Kytnarová, J. (2002). *Prostá obezita u dětí. Doporučené postupy pro praktické lékaře*. Interní grantová agentura Ministerstva zdravotnictví ČR 5390-3. Praha: Česká lékařská společnost Jana Evangelisty Purkyně. Retrieved from <http://www.cls.cz/seznam-doporucenych-postupu>

Kromeyer-Hauschild, K., Glässer, N., Zellner, K. (2012). Percentile curves for skinfold thickness in 7- to 14-year-old children and adolescents from Jena, Germany. *European Journal of Clinical Nutrition*, 66(5), 613-621. doi: 10.1038/ejcn.2011.216

Kunešová, M., & Hainer, V. (2002). *Obezita- diagnostika. Doporučené postupy pro praktické lékaře*. IGA MZ ČR 5390-3. Praha: ČLS JEP. Retrieved from <http://www.cls.cz/seznam-doporucenych-postupu>

Kvamme, J-M., Holmen, J., Wilsgaard, T., Florholmen, J., Midthjell, K., & Jacobsen, B. K. (2012). Body mass index and mortality in elderly men and women: the Tromsø and HUNT studies. *Journal of Epidemiology & Community Health*, 66(7), 611-617. doi: 10.1136/jech.2010.123232

Lakes, R. S. (2009). *Viscoelastic materials*. New York: Cambridge University Press.

Lazzer, S., Patrizi, A., De Col, A., Saezza, A., & Sartorio, A. (2014). Prediction of basal metabolic rate in obese children and adolescent considering pubertal stages and anthropometric characteristics of body composition. *European Journal of Clinical Nutrition*. doi: 10.1038/ejcn.2014.26

Liu, K. H., Chan, Y. L., Chan, W. B., Kong, W. L., Kong, M. O., & Chan, J. C. (2003). Sonographic measurement of mesenteric fat thickness is a good correlate with cardiovascular risk factors: comparison with subcutaneous and preperitoneal fat thickness, magnetic resonance imaging and anthropometric indexes. *International Journal of Obesity and Related Metabolic Disorders*, 27 (10), 1267-1273. doi: 10.1038/sj.ijo.0802398

Liu, J., Fox, C. S., Hickson, D. A., May, W. D., Hairston, K. G., Carr, J. J., . . . Taylor, H. A. (2010). Impact of abdominal visceral and subcutaneous adipose tissue on cardiometabolic risk factors: the Jackson Heart Study. In L. Wartofsky, K. D. Burman, & C. A. Stratakis (Eds.), *Journal of Clinical Endocrinological Metabolism*, 95(12), 5419-5426. doi: 10.1210/jc.2010-1378

Lubans, D. R., Morgan, P., Callister, R., Plotnikoff, R. C., Eather, N., Riley, N., & Smith, C. J. (2011). Test-retest reliability of a battery of field-based health-related fitness measures for adolescents. *Journal of Sport Science*, 29(7), 685-693. doi: 10.1080/02640414.2010.551215

Marek, J., & Skřehot P. (2009). *Základy aplikované ergonomie*. Praha: Výzkumný ústav bezpečnosti práce.

Maurel, W. (1998). *3D Modeling of the Human Upper Limb including the Biomechanics of Joints, Muscles and Soft Tissues* (Doctoral dissertation). Lausanne: Laboratoire d'Infographie - Ecole Polytechnique Federale de Lausanne. Retrieved from [http://infoscience.epfl.ch/record/32383/files/EPFL\\_TH1906.pdf](http://infoscience.epfl.ch/record/32383/files/EPFL_TH1906.pdf)

Máček, M., & Radvanský, J. (2011). *Fyziologie a klinické aspekty pohybové aktivity*. Praha: Galén.

Minikoshi, Y., Kim, Y. B., Peroni, O. D., Fryer, L. G. D., Miller, C., Carling, D., & Kahn, B. B. (2002). Leptin stimulates fatty-acid oxidation by activating AMP-activated protein kinase. *Nature*, *415*, 339-343. doi:10.1038/415339a

Minister of Health (2001). *Guidelines for the Safe Use of Diagnostic Ultrasound*. Ottawa: Minister of Public Works and Government Services. Retrieved from <http://archiv.csum.cz/cz/dokumenty/bezpecnost/Safe%20Use%20US.pdf>

Murray, R. K. (2012). *Harperova ilustrovaná biochemie*. Praha: Galén.

Musil, D., Herman, J., & Hofírek, I. (2008). *Ultrazvukové vyšetření žil dolních končetin*. Praha: Grada Publishing, a.s.

National Health and Nutrition Examination Survey (2007). *Anthropometry Procedures Manual*. Retrieved from [http://www.cdc.gov/nchs/data/nhanes/nhanes\\_03\\_04/BM.pdf](http://www.cdc.gov/nchs/data/nhanes/nhanes_03_04/BM.pdf)

National Institute of Standards and Technology (2008). *International System of Units (SI)*. Retrieved from <http://physics.nist.gov/Pubs/SP330/sp330.pdf>

Novotný, J. (2013). *Sportovní antropologie*. Retrieved from [http://www.fsps.muni.cz/~novotny/SA\\_text.pdf](http://www.fsps.muni.cz/~novotny/SA_text.pdf)

Novotný, J., Hrazdira, L., Bernacikova, M., Sebera, M., & Chaloupecká, A. (2003). *Kapitoly sportovní medicíny*. Retrieved from <https://is.muni.cz/do/fsps/e-learning/kapitolysportmed/pages/19-antropologie.html>

Nuutila, P. (2013). Brown adipose tissue thermogenesis in humans. *Diabetologica*, *56*(10), 2110-2112. doi: 10.1007/s00125-013-3005-y

Pánek, J. (2002). *Základy výživy*. Praha: Svoboda Servis.

Pařízková, J. (1977). *Body fat and physical fitness: body composition and lipid metabolism in different regimes of physical activity*. Praha: Avicenum.

Patel, R. V., Peterson, E. L., Silverman, N., & Zarowitz, B. J. (1996). Estimation of total body and extracellular water in post-coronary artery bypass surgical patients using single and multiple frequency bioimpedance. *Critical Care Medicine*, 24(11), 1824–1828.

Patel, P. N., Smith, C. K., & Patrick, C. W. (2005). Rheological and recovery properties of poly (ethylene glycol) diacrylate hydrogels and human adipose tissue. *Journal of Biomedical Materials Research, Part A*, 73(3), 313-319. doi: 10.1002/jbm.a.30291

Patentscope (1996). *WO1996029003 System for detection of electrical bioimpedance signals*. Retrieved from <http://patentscope.wipo.int/search/en/WO1996029003>

Pedagogická fakulta Univerzity Jana Evangelisty Purkyně v Ústí nad Labem. (2013). *Vyjádření Etické komise PF UJEP na zasedání č. 1 dne 11. 11. 2013*. Retrieved from [http://www.pf.ujep.cz/files/data/eticka\\_komise/EK\\_20131111.pdf](http://www.pf.ujep.cz/files/data/eticka_komise/EK_20131111.pdf)

Peterson, J. T., Repovich, W. E. S., & Parascand, C. R. (2011). Accuracy of consumer grade bioelectrical impedance analysis device compared to air displacement pletysmography. *International Journal of Exercise Science*, 4(3), 176- 184.

Petroski, E. L. (2003). *Antropometria, técnicas a padronizações*. Porto: Pallotti.  
Petrů, D., & Dylevský, I. (2014). Ultrazvukové hodnocení těla dětí mladšího školního věku na Ústecku. In J. Suchý et al. (Eds.), *Scientia movens*. Sborník příspěvků z mezinárodní studentské vědecké konference (pp. 345-349). Praha, Česká republika: FTVS UK v Praze.

- Powers, J., & Kremkau, F. (2011). Medical ultrasound systems. *Interface Focus*, 1(4), 477-489. doi: 10.1098/rsfs.2011.0027
- Prader, A., Largo, R. H., Molinari, L., & Issler, C. (1989). Physical growth of Swiss children from birth to twenty years of age. *Helvetica Paediatrica Acta, Suppl.* 52, 1-125.
- Prado, C. M., Vasconcelos, G. A., Godoi, E. T. A. M., Cavalcanti, E. N. B., Arruda, T. M., Diniz, E. T., . . . Bandeira, F. (2012). Evaluation of Visceral and Subcutaneous Fat by Ultrasound and Its Relationship with Clinical and Metabolic Parameters of Insulin Resistance and Subclinical Atherosclerosis. *Open Journal of Endocrine and Metabolic Diseases*, 2(4), 63-9. doi: 10.4236/ojemd.2012.24010
- Preedy, V. R. (2012). *Handbok of Anthropometry. Physical measures of human form in health*. New York: Springer.
- Proença, A. R. G., Sertié, R. A. L., Oliveira, A. C., Campaãa, A. B., Caminhotto, R. O., Chimin, P., & Lima, F. B. (2014). New concepts in white adipose tissue physiology. *Brasilian Journal of Medical and Biological Research*, 47(3), 192- 205. doi: 10.1590/1414-431X20132911
- Prokšová, J., Duršpek, J., Jindra, J., & Kielbusová, Z. (2009). *Fyzikální vlastnosti živých organismů*. Retrieved from <http://kof.zcu.cz/vusc/pg/termo09/thermodynamics/energy/energy1.htm>
- PubMed Health (2014). *Skin cancer treatment (PDQ®)*. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmedhealth/PMH0032519/>
- Pyšná, J., Hajerová Müllerová, L., Pyšná, D., Pyšný, L., & Škoda, J. (2009). *Kvalita života seniorů a pohyb*. Bratislava: Infopress.
- Riegerová, J., & Ulbrichová, M. (1998). *Aplikace fyzické antropologie v tělesné výchově a sportu*. Olomouc: Vydavatelství Univerzity Palackého.

Pyšná, D., & Pyšný, L. (2010). Hnědá tuková tkáň. In J. Kresta, & D. Pyšná (Eds.), *Pohyb, výchova, zdraví, 2009* (pp. 162-168). Ústí nad Labem, Česká republika: UJEP v Ústí nad Labem.

Rolfe, E. L., Modi, N., Uthaya, S., Hughes, I. A., Dunger, D. B., Acerini C., . . . Ong, K. K. (2013). Ultrasound estimates of visceral and subcutaneous abdominal adipose tissues in infancy. *Journal of Obesity*, 2013, 951- 954. doi:10.1155/2013/951954

Rolin, J., & Maghazachi, A. (2014). Implications of chemokines, chemokine receptors, and inflammatory lipids in atherosclerosis. *Journal of Leukocyte Biology*, 95(4), 575- 585. doi: 10.1189/jlb.1113571

Rosina, J., Vránová, J., Kolářová, H., & Stanek, J. (2013). *Biofyzika: pro zdravotnické a biomedicínské obory*. Praha: Grada Publishing, a.s.

Rozman, J. (1980). *Ultrazvuková technika v lékařství, diagnostické systémy*. Brno: Fakulta elektrotechniky a informatiky Vysokého učení technického v Brně.

Růbal, R. (2012). *Měření elektrického signálu na biologických objektech* (Bakalářská práce). Brno: České vysoké učení technické v Praze.

Rutkove, S. B. (2009). Electrical impedance myography: Background, current state, and future directions. *Muscle Nerve*, 40(6), 936–946. doi: 10.1002/mus.21362

Sacks, H., & Symonds, M. E. (2013). Anatomical locations of human brown adipose tissue. *Diabetes*, 62(6), 1783-1790. doi: 10.2337/db12-1430

Samani, A., & Plewes, D. (2004). A method to measure the hyperelastic parameters of *ex vivo* breast tissue samples. *Physics in Medicine and Biology*, 49(18), 4395–4405. doi:10.1088/0031-9155/49/18/014

Samani, A., Zubovitch, J., & Plewes, D. (2007). Elastic moduli of normal and pathological human breast tissues: an inversion technique-based investigation of 169 samples. *Physics in Medicine and Biology*, 52(6), 1565–1576. doi:10.1088/0031-9155/52/6/002

Samour, P. Q., & King, K. (2013). *Essentials of pediatric nutrition*. Burlington: Jones & Barlett Learning.

Sarvazyan, A. P., Skovoroda, A., & Emelianov, S. (1995). Biophysical bases of elasticity imaging. *Acoustic Imaging*, 21, 223-240. doi: 10.1007/978-1-4615-1943-0\_23

Shergold, O. A., & Fleck, N. A. (2004). Mechanisms of deep penetration of soft solids, with application to the injection and wounding of skin. *Proceeding of the Royal Society London A*, 460(2050), 3037–3058. doi: 10.1098/rspa.2004.1315

Schwan, H. P., & Kay, C. F. (1957). Capacitive properties of body tissues. *Circulation Research*, 5(4), 439-443. doi: 10.1161/01.RES.5.4.439

Silbernagl, S., & Despopoulos, A. (2004). *Atlas fyziologie člověka*. Praha: Grada Publishing, a.s.

Smith, S. R., Lovejoy, J. C, Greenway, F., Ryan, D., de Jonge, L., de La Bretonne, . . . Bray, G. A. (2001). Contributions of total body fat, abdominal subcutaneous adipose tissue compartments, and visceral adipose tissue to the metabolic complications of obesity. *Metabolism*, 50(4), 425-35.

Sommer, G., Eder, M., Kovacs, L., Pathak, H. Bonitz, L., . . . Holzapfel, G. A. (2013). Multiaxial mechanical properties and constitutive modeling of human adipose tissue: A basis for preoperative simulations in plastic and reconstructive surgery. *Acta Biomaterialia*, 9(11), 9036-9048. doi: 10.1016/j.actbio.2013.06.011



Společnost pro výživu (2012). *Výživová doporučení pro obyvatelstvo České republiky*. Retrieved from <http://www.vyzivaspol.cz/rubrika-dokumenty/konecne-zneni-vyzivovych-doporuceni.html>

Stablová, A., Skorocká, I., & Bunc, V. (2012). *Bioimpedanční metody používané v Laboratoři sportovní motoriky*. Retrieved from [http://www.google.cz/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CCwQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.ftvs.cuni.cz%2Feknihy%2Fsborniky%2F2003-11-20%2Frtf%2FP1-010%2520%2520Stabskor1pe.rtf&ei=ljBBU5j\\_FMbA7AaswoDICw&usg=AFQjCNEkmfu18uVNFgcs0TFh\\_AhISG5tAg&bvm=bv.64125504,d.ZGU](http://www.google.cz/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CCwQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.ftvs.cuni.cz%2Feknihy%2Fsborniky%2F2003-11-20%2Frtf%2FP1-010%2520%2520Stabskor1pe.rtf&ei=ljBBU5j_FMbA7AaswoDICw&usg=AFQjCNEkmfu18uVNFgcs0TFh_AhISG5tAg&bvm=bv.64125504,d.ZGU)

Státní zdravotnický ústav (2008). *Seznam růstových grafů ke stažení*. Retrieved from <http://www.szu.cz/publikace/data/seznam-rustovych-grafu-ke-stazeni>

Stejskal, V. (2009). *Tuková tkáň jako endokrinní orgán*. Retrieved from <http://www.cskb.cz/res/file/akce/sjezdy/2009-Pha/ppt/B4/Stejskal.pdf>

Stolk, R. P., Meijer, R., Mali, W. P., Grobbee, D. E., & van der Graaf, Y. (2003). Ultrasound measurements of intraabdominal fat estimate the metabolic syndrome better than do measurements of waist circumference. *American Journal of Clinical Nutrition*, 77(4), 857 -860.

Symonds, M. (2013). Brown adipose tissue Growth and development. *Scientifica*, 179, 293-299. doi:10.1155/2013/305763

Špaček, R., Jelínek, R., & Eis, V. (2006). *Hispatologický atlas*. Retrieved from <http://old.lf3.cuni.cz/histologie/atlas/demo/index.htm>

Špinar, J., & Ludka, O. (2013). *Propedeutika a vyšetřovací metody vnitřních nemocí*. Praha: Grada Publishing, a.s.

Tabuenca, G. J. (2009). *Multichannel bioimpedance measurement* (Masters thesis). Catalunya: Polytechnic University of Catalunya, Tampere University of Technologica. Retrieved from [http://www.mn.uio.no/fysikk/english/research/projects/bioimpedance/publications/papers/encyc\\_bme.pdf](http://www.mn.uio.no/fysikk/english/research/projects/bioimpedance/publications/papers/encyc_bme.pdf)

Talma, H., Chinapaw, M. J. M., Bakker, B., HiraSing, R. A., Terwee, C. B., & Altenburg, T. M. (2013). Bioelectrical impedance analysis to estimate body composition in children and adolescents: a systematic review and evidence appraisal of validity, responsiveness, reliability and measurement error. *Obesity reviews*, *14*(11), 895- 905. doi: 10.1111/obr.12061

Trojan, S., Hrachovina, V., Kittnar, O., Koudelová, J., Kuthan, V., Langmeier, M., . . . Wunsch, Z. (2003). *Lékařská fyziologie*. Praha: Grada Publishing, a.s.

Truong, M. T., Erasmus, J. J., Munden, R. F., Marom, E. M., Sabloff, B. S. Gregory W. Gladish, G. W., . . . Macapinlac, H. A. (2004). Focal FDG uptake in medistinal brown fat mimicking malignancy: in potential pitfall resolved on PET/CT. *American Journal Roentgenology*, *183*, 1127-1123. doi: 10.2214/ajr.183.4.1831127

Uppal, T. (2010). Tissue harmonic imaging. *Australian Journal of Ultrasound in Medicine*, *13*(2), 29-33.

Ústav zdravotnických informací a statistiky České republiky (2013). *Přehled vybraných kardiovaskulárních intervencí v ČR*. Retrieved from <http://www.uzis.cz/category/tematicke-rady/zdravotnicka-statistika/kardiovaskularni-intervence>

Van Houten, E. E. W., Doyley, M. M., Kennedy, F. E., Paulsen, K. D., & Weaver, J. B. (2003). MR elastography of the human breast. *Journal of Magnetic Resonance Imaging*, *17*(1), 72-85. doi: 10.1002/jmri.10232

Vicente-Rodríguez, G., Rey-López, J. P., Mesana, M. I., Poortvliet, E., Ortega, F. B., Polito, A., . . . Moreno, L. A. (2012). Reliability and intermethod agreement for body fat assessment among two field and two laboratory methods in adolescents. *Obesity*, 20(1), 221-228. doi: 10.1038/oby.2011.272

Vignerová, J., & Bláha, P. (2001). *Sledování růstu českých dětí a dospívajících. (Norma, vyhublost, obezita)*. Praha: SZÚ, Přírodovědecká fakulta UK v Praze.

Vlachos, I. S., Hatzioannou, A., Perelas, A., & Perrea, D. N. (2007). Sonographic Assessment of Regional Adiposity. *American Journal of Roentgenology*, 189, 1545-1553. doi: 10.2214/AJR.07.2366

Vokurka, M., & Hugo, J. (2009). *Velký lékařský slovník*. Praha: Maxdorf.

Vrána, V. (1981). *Biologické systémy*. Praha: Nakladatelství technické literatury.

Weaver, J. B., Doyley, M., Cheung, Y., Kennedy, F., Paulsen, K., Madsen, E. L., & Van Houten, E. E. W. (2005). Imaging the shear modulus of the heel fat pads. *Clinical Biomechanics*, 20(3), 312-319. doi: 10.1016/j.clinbiomech.2004.11.010

Webster, J. G. (1998). *Medical Instrumentation: Application & Design*. New York: John Wiley.

Weyer, S., Röthlingshöfer, L., Walter, M., & Leonhardt, S. (2012). Evaluation of bioelectrical impedance spectroscopy for the assessment of extracellular body water. *Acta Polytechnica*, 52(5), 120-124.

WHO (2007). *BMI-for-age (5-19 years)*. Retrieved from [http://www.who.int/growthref/who2007\\_bmi\\_for\\_age/en/](http://www.who.int/growthref/who2007_bmi_for_age/en/)

WHO (2008). *Obesity*. Retrieved from [http://www.who.int/gho/ncd/risk\\_factors/obesity\\_text/en/](http://www.who.int/gho/ncd/risk_factors/obesity_text/en/)

WHO (2013). *Obesity and overweight*. Retrieved from <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs311/en/>

WHO (2014). *World map of obesity*. Retrieved from <http://www.worldobesity.org/aboutobesity/resources/world-map-obesity/>

Williams, R. L., Ji, W., Howell, J. N., & Conatser, R. R. (2007, June, 12- 14). *In vivo measurement of human tissue compliance*. Paper presented at Digital Human Modeling Conference. doi: 10.4271/2007-01-2453.

Wittoek, R., Jans, L., Lambrecht, V., Carron, P., Verstraete, K., & Verbruggen, G. (2011). Reliability and construct validity of ultrasonography of soft tissue and destructive changes in erosive osteoarthritis of the interphalangeal finger joints: a comparison with MRI. *Annals of the Rheumatic Diseases*, 70(2), 278-283. doi: 10.1136/ard.2010.134932

Wolf, A. (1985). *Hygiena výživy*. Praha: Avicenum.

Wraith, J. E. (2012). Mucopolysaccharidoses and Oligosaccharidoses. In J. M. Saudubray, G. van den Berghe, & J. H. Walter (Eds.), *Inborn Metabolic Diseases* (579-590). Heidelberg: Springer. doi: 10.1007/978-3-642-15720-2\_40

Young, D. A., Choi, Y. S., Engler, A. J., & Christman, K. L. (2013) Stimulation of adipogenesis of adult adipose-derived stem cells using substrates that mimic the stiffness of adipose tissue. *Biomaterials*, 34(34), 8581–8588. doi: 10.1016/j.biomaterials.2013.07.103

Zaciorskij, V. M. (1981). *Základy teorie testování a hodnocení v tělesné výchově a sportu*. Praha: UK v Praze.

Žák, A., Macášek, J., Slabý, A., Staňková, B., Tvrzická, B., Vařeka, T., . . . Zeman, M. (2011). *Ateroskleróza. Nové pohledy*. Praha: Grada Publishing, a.s.

Žídek, L. (2013). *Strukturní biochemie*. Brno: Masarykova univerzita. Retrieved from <http://www.ncbr.muni.cz/~lzidek/C9530/skripta.pdf>

## PŘÍLOHY

- Příloha A Naměřená data u předškolního souboru
- Příloha B Naměřená data u souboru mladšího školního věku
- Příloha C Statisticky významné rozdíly u dětí v předškolním a mladším školním věku
- Příloha D Statisticky významné genderové rozdíly
- Příloha E Naměřená data u selektivního souboru
- Příloha F Vzájemná závislost sledovaných ukazatelů u předškolních dětí
- Příloha G Vzájemná závislost sledovaných ukazatelů u dětí mladšího školního věku
- Příloha H Vyjádření vnitřní konzistence reliability testů pomocí z-skór u selektivního souboru

Příloha A Naměřená data u předškolního souboru

Referenční data		Základní			Tělesné obvody [cm]				Kaliperace [mm]				BIA
Pohlaví	Věk	Výška	Hmot.	BMI	Hrud.	Břicho	Stehno	Paže	Suprail.	Subsc.	Tric.	Σ řas	Tuk
m	5	1,170	19,0	13,9	56,5	53,5	30,0	16,5	7	4	6	17	11,1
m	5	1,200	19,5	13,5	54,0	51,5	30,0	16,0	5	3	6	14	26,2
m	5	1,150	21,5	16,3	59,0	60,0	32,0	17,0	7	3	7	17	27,0
m	5	1,055	15,0	9,5	53,0	50,5	28,5	16,0	1	2	4	7	24,2
m	5	1,150	17,7	13,6	59,0	53,0	32,0	17,5	4	3	5	12	6,5
m	5	1,165	19,6	14,8	59,0	55,5	32,0	17,0	5	2	7	14	13,1
m	5	1,165	20,4	15,3	56,0	53,0	34,0	17,0	2	4	7	13	8,6
m	5	1,165	19,5	14,4	58,0	54,0	32,0	17,5	2	3	8	13	13,5
m	5	1,175	22,5	16,8	61,0	58,0	35,0	18,0	4	3	5	12	28,8
m	5	1,070	17,5	15,4	52,0	51,0	33,5	17,0	6	5	8	19	28,0
m	5	1,120	17,8	14,1	58,0	53,0	30,0	17,0	3	5	7	15	16,1
m	5	1,200	18,9	13,2	55,0	49,0	30,0	16,0	2	3	5	10	15,3
m	5	1,165	20,5	14,8	59,5	56,0	32,5	17,5	5	13	8	26	23,5
m	5	1,125	20,2	16,0	57,0	55,5	34,0	18,5	8	17	7	32	24,5
m	5	1,190	27,8	19,6	68,0	66,5	38,0	22,5	20	18	12	50	34,9
m	5	1,190	21,7	15,3	58,5	56,5	33,5	19,0	6	14	8	28	16,6
m	5	1,135	18,8	14,5	53,0	51,0	27,0	18,0	2	4	8	14	18,6
m	5	1,085	18,1	15,5	56,0	54,5	25,0	16,0	2	4	11	17	25,4
m	5	1,230	24,3	16,1	59,5	57,5	27,5	19,5	4	4	10	18	25,2
m	5	1,240	25,0	16,3	60,5	58,5	28,0	20,5	4	4	11	19	26,5
m	5	1,075	18,8	16,5	57,0	57,5	30,0	17,5	2	4	12	18	22,3
m	5	1,185	21,5	15,2	57,0	56,0	28,0	19,0	2	3	8	13	22,8
m	5	1,200	20,8	14,1	55,0	53,5	26,5	18,0	4	5	9	18	22,3
m	5	1,045	16,6	15,3	53,5	50,5	19,0	24,0	2	4	12	18	24,8
m	5	1,130	18,8	14,5	53,0	51,0	27,0	18,0	2	4	8	14	18,6
m	5	1,085	18,1	15,5	56,0	54,5	25,0	16,0	2	4	11	17	25,4
m	5	1,230	24,3	16,1	59,5	57,5	27,5	19,5	4	4	10	18	25,2
m	5	1,240	25,0	16,3	60,5	58,5	28,0	20,5	4	4	11	19	26,5
m	5	1,075	18,8	16,5	57,0	57,5	30,0	17,5	2	4	12	18	22,3
m	5	1,190	21,5	15,2	57,0	56,0	28,0	19,0	2	3	8	13	22,8
m	5	1,170	21,0	15,3	55,5	51,0	18,0	34,0	2	4	9	15	20,5
m	5	1,050	17,0	15,4	53,0	51,0	16,0	31,0	3	3	7	13	31,2
m	5	1,070	18,3	16,0	54,0	52,0	18,0	32,5	2	4	6	12	23,5
m	5	1,200	20,8	14,1	55,0	53,5	26,5	18,0	4	5	9	18	22,3
m	5	1,045	16,6	15,3	53,5	50,5	19,0	24,0	2	4	12	18	24,8
m	5	1,050	16,9	15,5	53,0	51,0	31,0	16,0	3	3	7	13	31,2
m	5	1,075	18,3	16,6	54,0	52,0	32,5	18,0	2	4	6	12	23,5
m	5	1,165	21,5	16,5	55,5	55,5	35,5	18,5	3	4	8	15	23,7
m	5	1,125	16,8	13,6	53,5	49,0	29,5	16,0	1	3	5	9	12,9
ž	5	1,120	18,0	14,4	53,5	51,0	31,5	18,0	3	3	11	17	25,0
ž	5	1,250	25,0	16,0	58,0	58,0	36,0	20,5	13	7	9	29	18,8
ž	5	1,205	24,1	16,7	55,0	58,0	34,0	19,0	6	4	12	22	29,8
ž	5	1,040	19,7	18,5	57,0	56,5	33,5	17,0	6	3	7	16	32,1
ž	5	1,110	17,0	20,6	52,0	50,0	30,0	16,0	4	4	4	12	18,8
ž	5	1,215	21,0	14,4	56,0	53,0	33,0	17,0	1	4	3	8	21,6

ž	5	1,140	21,0	16,3	57,5	55,0	36,5	18,5	5	7	12	24	25,4
ž	5	1,160	17,0	12,6	55,0	50,0	28,0	16,0	3	5	5	13	11,2
ž	5	1,185	23,2	16,5	61,0	58,0	33,0	18,0	8	6	8	22	13,9
ž	5	1,100	17,0	14,0	55,0	48,0	29,0	17,0	4	4	6	14	16,5
ž	5	1,100	17,0	14,2	54,0	54,0	33,0	19,0	9	17	8	34	21,8
ž	5	1,100	20,7	17,5	53,0	51,5	31,0	16,5	9	14	9	32	34,8
ž	5	1,070	18,0	15,7	56,0	57,0	32,0	19,5	19	21	13	53	28,3
ž	5	1,065	17,1	15,5	56,0	55,0	31,0	19,0	12	13	10	35	22,9
ž	5	1,040	15,0	14,0	53,0	56,0	27,5	18,0	11	14	10	35	34,0
ž	5	1,180	18,5	13,3	57,5	51,0	31,0	17,0	6	15	6	27	11,4
ž	5	1,060	17,7	16,1	53,5	52,5	30,0	16,0	11	17	14	42	28,3
ž	5	1,165	16,2	11,9	54,5	50,0	28,0	16,0	13	16	10	39	14,4
ž	5	1,180	24,0	17,3	61,5	58,0	32,5	19,0	10	6	14	30	28,7
ž	5	1,120	19,2	15,3	54,5	55,0	34,0	18,5	6	4	13	23	34,9
ž	5	1,135	26,0	20,4	65,5	65,5	37,5	22,0	12	13	22	47	27,3
ž	5	1,180	25,2	18,1	62,0	59,5	34,0	19,5	6	5	11	22	29,0
ž	5	1,180	24,0	17,3	61,5	58,0	32,5	19,0	10	6	14	30	28,7
ž	5	1,120	19,2	15,3	54,5	55,0	34,0	18,5	6	4	13	23	34,9
ž	5	1,135	26,0	20,4	65,5	65,5	37,5	22,0	12	13	22	47	27,3
ž	5	1,180	25,2	18,1	62,0	59,5	34,0	19,5	6	5	11	22	29,0
ž	5	1,080	17,9	15,0	54,0	49,0	33,0	17,5	4	5	13	22	28,9
ž	5	1,150	18,0	13,8	54,0	51,5	30,0	16,0	2	2	7	11	26,1
ž	5	1,150	19,0	14,4	55,0	47,5	16,5	34,0	2	5	9	16	23,2
ž	5	1,145	17,6	13,4	52,0	49,0	15,5	29,0	3	3	9	15	10,5
ž	5	1,075	18,0	15,6	54,0	49,0	17,5	33,0	4	5	13	22	28,9
ž	5	1,150	18,0	13,6	54,0	51,5	16,0	30,0	2	2	7	11	26,1
ž	5	1,055	16,0	14,4	50,5	50,0	16,5	30,0	2	3	8	13	9,9
ž	5	1,050	16,0	14,5	50,5	50,0	30,0	16,5	2	3	8	13	9,9
m	6	1,200	23,0	16,0	57,0	51,5	36,0	17,0	2	3	6	11	20,0
m	6	1,270	26,1	16,1	61,0	60,5	37,5	19,5	5	3	6	14	13,4
m	6	1,300	26,5	15,7	63,0	64,0	36,0	19,5	10	9	14	33	24,2
m	6	1,200	28,2	20,1	70,0	77,0	37,5	21,5	16	16	11	43	38,6
m	6	1,150	20,0	15,2	59,0	55,0	35,0	18,0	3	5	4	12	13,4
m	6	1,260	22,0	13,8	59,0	53,5	34,0	18,0	2	3	6	11	34,1
m	6	1,185	22,0	15,8	60,0	55,0	34,0	17,0	2	4	5	11	17,4
m	6	1,200	19,0	13,2	54,0	49,5	31,0	16,0	1	1	4	6	18,4
m	6	1,150	20,2	15,2	58,5	51,5	33,0	16,5	3	4	6	13	19,4
m	6	1,210	22,1	15,1	56,0	59,0	33,5	19,0	3	5	9	17	6,3
m	6	1,260	21,8	13,8	59,5	55,5	33,0	17,5	1	3	4	8	16,3
m	6	1,265	26,5	16,8	67,0	61,0	31,0	20,0	8	7	8	23	25,2
m	6	1,140	19,0	14,7	60,0	52,0	31,0	17,0	1	2	6	9	14,7
m	6	1,230	21,0	13,9	57,5	53,0	29,5	18,0	6	12	7	25	17,5
m	6	1,200	23,7	16,5	60,5	55,5	28,0	19,5	5	5	8	18	20,7
m	6	1,275	27,7	16,9	63,5	60,5	34,0	20,0	6	5	14	25	31,4
m	6	1,140	16,3	12,5	53,0	53,0	25,0	16,5	2	3	7	12	23,9
m	6	1,200	22,8	15,8	58,5	54,0	27,0	18,0	2	3	10	15	18,9
m	6	1,190	20,2	14,3	58,5	57,0	28,0	16,5	3	3	9	15	21,8
m	6	1,110	19,1	15,5	55,5	54,5	30,0	18,0	2	4	10	16	24,1
m	6	1,130	17,9	14,0	53,5	52,5	30,0	16,0	1	2	8	11	23,5



m	6	1,280	25,0	15,6	60,0	57,5	32,0	19,5	3	2	9	14	16,7
m	6	1,200	23,7	16,5	60,5	55,5	28,0	19,5	5	5	8	18	20,7
m	6	1,280	27,7	16,9	63,5	60,5	34,0	20,0	6	5	14	25	31,4
m	6	1,135	16,3	12,5	53,0	53,0	25,0	16,5	2	3	7	12	23,9
m	6	1,200	22,8	15,8	58,5	54,0	27,0	18,0	2	3	10	15	18,9
m	6	1,195	20,2	14,3	58,5	57,0	28,0	16,5	3	3	9	15	21,8
m	6	1,110	19,1	15,5	55,5	54,5	30,0	18,0	2	4	10	16	24,1
m	6	1,130	17,9	14,0	53,5	52,5	30,0	16,0	1	2	8	11	23,5
m	6	1,170	21,0	15,0	55,5	51,0	34,0	18,0	2	4	9	15	20,5
m	6	1,165	21,5	15,8	55,5	55,5	18,5	35,5	3	4	8	15	23,7
m	6	1,120	17,0	13,6	53,5	49,0	16,0	29,5	1	3	5	9	12,9
m	6	1,180	24,0	17,2	61,0	58,5	19,0	36,5	4	6	10	20	26,2
m	6	1,160	25,5	19,0	61,0	59,0	21,0	39,0	4	5	15	24	21,2
m	6	1,185	24,2	17,1	61,0	58,5	36,5	19,0	4	6	10	20	26,2
m	6	1,160	25,5	19,5	61,0	59,0	39,0	21,0	4	5	15	24	21,2
ž	6	1,260	24,1	15,1	52,0	61,0	35,0	19,0	11	4	9	24	26,9
ž	6	1,125	17,5	21,9	55,0	53,0	29,0	16,0	1	3	6	10	28,7
ž	6	1,210	21,5	15,8	60,0	57,0	35,0	17,5	2	8	8	18	20,9
ž	6	1,175	25,1	18,2	61,5	63,5	36,0	20,0	9	8	14	31	35,2
ž	6	1,170	17,7	13,1	53,5	51,0	34,0	16,0	1	1	4	6	5,0
ž	6	1,135	18,0	14,1	57,0	51,0	35,0	17,0	4	4	6	14	20,6
ž	6	1,225	21,2	14,2	57,0	53,0	33,0	16,5	2	3	4	9	16,2
ž	6	1,195	22,3	15,3	58,0	59,0	35,0	18,0	5	3	6	14	24,7
ž	6	1,125	19,8	15,6	60,0	58,0	35,0	17,5	8	7	8	23	21,9
ž	6	1,150	19,2	14,4	55,0	49,0	30,0	17,5	4	3	5	12	14,3
ž	6	1,240	23,7	15,6	60,0	55,0	34,0	19,0	6	5	5	16	25,4
ž	6	1,200	23,5	16,3	58,0	56,0	34,5	20,0	4	10	12	26	26,0
ž	6	1,205	24,1	16,6	61,0	55,0	34,5	20,0	6	13	10	29	31,7
ž	6	1,170	21,0	15,5	59,0	58,5	34,0	19,0	14	17	10	41	22,4
ž	6	1,205	20,3	13,9	54,5	53,0	29,0	17,0	7	13	7	27	27,6
ž	6	1,075	16,5	14,4	56,0	52,0	30,0	17,0	10	17	12	39	21,8
ž	6	1,160	21,4	15,9	57,5	53,0	32,0	18,0	3	3	10	16	24,3
ž	6	1,210	19,8	13,5	57,5	54,0	28,0	17,0	1	2	8	11	25,3
ž	6	1,215	22,5	15,4	56,0	56,0	30,5	18,5	4	5	9	18	23,1
ž	6	1,170	22,3	16,3	59,0	55,0	35,5	22,5	4	4	11	19	26,8
ž	6	1,185	21,1	15,2	56,0	53,0	28,0	16,0	3	4	8	15	23,6
ž	6	1,160	21,4	15,9	57,5	53,0	32,0	18,0	3	3	10	16	24,3
ž	6	1,215	19,8	13,5	57,5	54,0	28,0	17,0	1	2	8	11	25,3
ž	6	1,210	22,5	15,4	56,0	56,0	30,5	18,5	4	5	9	18	23,1
ž	6	1,170	22,3	16,3	59,0	55,0	35,5	22,5	4	4	11	19	26,8
ž	6	1,180	21,1	15,2	56,0	53,0	28,0	16,0	3	4	8	15	23,6
ž	6	1,265	18,9	11,8	55,5	54,5	31,0	18,0	5	5	8	18	5,8
ž	6	1,155	19,1	13,6	55,0	47,5	34,0	16,5	2	5	9	16	23,2
ž	6	1,255	23,3	14,3	56,5	54,5	36,0	18,5	5	7	10	22	22,9
ž	6	1,255	19,0	12,1	55,5	54,5	18,0	31,0	5	5	8	18	5,8
ž	6	1,245	23,0	14,8	56,5	54,5	18,5	36,0	5	7	10	22	22,9
ž	6	1,130	19,0	14,9	53,5	50,5	17,5	35,5	7	4	14	25	25,3

Příloha B Naměřená data u souboru mladšího školního věku

Referenční data		Základní			Tělesné obvody [cm]				Kaliperace [mm]				BIA
Pohlaví	Věk	Výška	Hmot.	BMI	Hrud.	Břicho	Stehno	Paže	Supr.	Subsc.	Tric.	Σ řas	Tuk
m	8	1,380	31,3	16,4	68,5	58,0	34,0	20,0	6	10	6	22	18,9
m	8	1,230	22,9	15,1	61,0	56,5	35,0	17,5	5	6	5	16	19,1
m	8	1,380	26,9	14,1	64,0	58,0	32,5	18,0	6	8	6	20	16,6
m	8	1,255	24,2	15,4	60,5	50,0	33,0	18,0	4	1	6	11	16,4
m	8	1,260	24,9	15,7	61,0	56,0	35,0	17,5	5	7	10	22	18,8
m	8	1,400	29,1	14,8	63,0	58,0	33,5	18,0	3	7	7	17	10,3
m	8	1,210	23,2	15,8	60,5	57,0	33,0	18,5	6	8	12	26	15,2
m	8	1,340	35,9	20,0	69,0	73,0	40,0	23,0	12	18	21	51	16,7
m	8	1,335	37,9	21,3	73,0	73,0	41,0	23,0	18	19	22	59	23,9
m	8	1,445	35,5	17,0	68,0	71,0	37,0	22,0	10	10	14	34	21,7
m	8	1,240	23,1	15,0	60,0	56,0	34,0	17,0	5	8	10	23	17,4
m	8	1,265	24,7	15,4	61,0	56,0	35,0	17,5	5	7	10	22	18,8
m	8	1,395	28,6	14,7	63,0	58,0	33,5	18,0	3	7	7	17	10,3
m	8	1,205	22,8	15,7	60,5	57,0	33,0	18,5	6	8	12	26	15,2
m	8	1,335	35,9	20,1	69,0	73,0	40,0	23,0	12	18	21	51	16,7
m	8	1,335	37,9	21,3	73,0	73,0	41,0	23,0	18	19	22	59	23,9
m	8	1,450	36,0	17,1	68,0	71,0	37,0	22,0	10	10	14	34	21,7
m	8	1,240	23,7	15,4	60,0	56,0	34,0	17,0	5	8	10	23	17,4
m	8	1,330	24,2	13,7	58,0	55,0	31,0	16,0	4	4	6	14	7,5
m	8	1,360	43,3	23,4	73,0	79,5	45,0	24,0	29	21	26	76	38,8
m	8	1,470	42,7	19,8	70,0	69,0	43,0	22,0	20	20	22	62	35,4
m	8	1,320	29,4	16,9	64,0	59,0	34,0	21,5	9	7	13	29	9,5
m	8	1,470	32,8	15,2	67,0	61,0	38,0	20,0	6	6	10	22	12,5
m	8	1,270	23,2	14,4	58,5	54,0	33,5	17,0	3	5	9	17	13,9
m	8	1,340	26,1	14,5	59,0	56,0	34,0	18,0	7	7	10	24	17,9
m	8	1,360	29,0	15,7	63,5	60,0	36,0	19,5	16	12	13	41	20,4
m	8	1,275	22,0	13,5	59,5	56,5	34,0	17,0	5	7	5	17	17,3
m	8	1,280	32,7	20,0	63,5	54,5	33,0	18,5	11	11	11	33	25,6
m	8	1,255	22,0	14,0	60,0	55,0	33,0	18,5	6	7	10	23	16,5
m	8	1,285	24,0	14,5	61,0	53,0	34,0	19,5	6	8	15	29	18,1
m	8	1,265	21,3	13,3	58,0	50,5	33,5	18,0	5	6	5	16	13,7
m	8	1,195	22,4	15,7	58,0	56,0	32,0	17,0	3	4	7	14	21,4
m	8	1,280	25,1	15,3	60,0	58,0	34,5	18,0	1	4	6	11	10,8
m	8	1,290	24,3	14,6	60,0	57,0	31,0	19,0	0	2	6	8	15,2
m	8	1,335	30,0	16,8	62,0	60,0	34,0	20,0	6	6	13	25	30,7
ž	8	1,190	20,6	14,5	56,5	50,5	32,5	17,0	7	7	6	20	11,6
ž	8	1,205	19,3	13,3	56,5	50,0	34,0	17,5	8	8	10	26	17,0
ž	8	1,360	29,1	15,7	62,0	61,0	40,0	20,0	10	14	19	43	16,2
ž	8	1,380	29,1	15,3	66,5	62,0	34,0	19,0	11	9	11	31	26,7
ž	8	1,125	18,8	14,9	56,0	54,0	32,5	18,5	4	4	8	16	12,1
ž	8	1,355	28,3	15,4	62,0	61,0	40,0	20,0	10	14	19	43	16,2
ž	8	1,375	28,9	15,3	66,5	62,0	34,0	19,0	11	9	11	31	26,7
ž	8	1,135	19,2	14,9	56,0	54,0	32,5	17,5	4	4	8	16	12,1
ž	8	1,400	62,9	32,1	94,0	97,0	59,0	36,5	51	34	41	126	54,7
ž	8	1,300			62,0	56,0	36,0	20,0	6	8	10		19,3
ž			26,6	15,7								24	

ž	8	1,320	28,3	16,2	63,0	57,0	38,0	19,0	13	6	12	31	11,6
ž	8	1,280	29,4	17,9	64,0	62,0	40,5	22,0	16	12	19	47	27,2
ž	8	1,350	33,3	18,3	70,5	67,0	42,5	22,0	14	11	17	42	23,1
ž	8	1,340	22,4	12,5	57,0	63,0	29,5	16,0	4	4	6	14	15,8
ž	8	1,260	23,2	14,6	57,0	53,0	22,5	19,0	8	6	12	26	14,7
ž	8	1,340	26,5	14,8	60,0	55,5	35,0	18,0	5	5	9	19	25,9
ž	8	1,300	35,1	20,8	72,0	67,5	43,0	23,0	17	24	29	70	32,8
ž	8	1,320	31,0	17,8	66,5	66,0	37,5	22,0	14	15	23	52	27,1
ž	8	1,280	38,1	23,3	76,0	71,0	42,0	24,5	26	27	26	79	33,4
ž	8	1,240	33,2	21,6	63,5	56,0	36,0	18,5	16	13	10	39	19,3
ž	8	1,150	17,8	13,5	53,5	52,0	33,5	17,0	6	6	5	17	12,9
ž	8	1,230	21,6	14,3	60,0	55,0	33,0	17,0	8	7	12	27	14,9
ž	8	1,255	25,8	16,4	59,5	50,0	33,0	18,5	5	9	8	22	18,4
ž	8	1,195	21,5	15,1	54,0	56,0	32,0	17,0	3	4	7	14	21,4
ž	8	1,260	26,3	16,6	62,0	58,5	39,0	19,5	7	8	10	25	16,3
ž	8	1,250	24,9	15,9	61,0	56,0	36,0	19,5	5	3	10	18	24,1
ž	8	1,295	20,7	12,3	57,5	51,5	30,5	17,0	2	1	4	7	14,5
ž	8	1,300	25,0	14,8	60,0	57,0	31,0	19,0	5	3	7	15	25,2
m	9	1,410	42,1	21,2	73,0	80,0	41,0	24,0	13	22	14	49	32,7
m	9	1,315	24,1	13,9	60,0	53,0	30,0	18,0	1	3	5	9	14,1
m	9	1,285	25,2	15,3	58,5	56,0	38,0	19,5	3	3	8	14	19,0
m	9	1,370	39,3	20,9	76,0	75,5	39,0	24,5	10	8	10	28	14,0
m	9	1,300	23,4	13,8	60,0	53,0	33,0	17,0	8	8	10	26	11,6
m	9	1,340	28,0	15,6	62,0	53,0	33,5	18,0	3	5	6	14	13,9
m	9	1,350	34,5	18,9	70,0	69,0	40,0	22,5	15	10	24	49	21,6
m	9	1,200	22,0	15,3	54,0	56,0	32,0	16,0	3	4	7	14	21,4
m	9	1,370	30,0	16,0	68,0	61,0	39,0	20,0	5	6	14	25	15,6
m	9	1,440	33,0	15,9	64,0	60,0	38,0	20,0	3	7	12	22	16,8
m	9	1,340	28,0	15,6	62,0	53,0	33,5	18,0	3	5	6	14	13,9
m	9	1,350	34,5	18,9	70,0	69,0	40,0	22,5	15	10	24	49	21,4
m	9	1,280	26,0	15,9	60,5	55,0	35,0	18,5	6	8	15	29	21,6
m	9	1,370	30,0	16,0	68,0	61,0	39,0	20,0	5	6	14	25	3,7
m	9	1,440	33,0	15,9	64,0	60,0	38,0	20,0	3	7	12	22	3,3
m	9	1,430	46,8	22,9	88,0	80,0	44,0	27,0	30	25	23	78	38,6
m	9	1,340	28,9	16,1	61,0	59,0	36,0	19,0	7	8	10	25	20,1
m	9	1,240	37,4	24,3	66,0	63,0	37,0	22,0	9	7	5	21	30,1
m	9	1,320	25,0	14,3	58,0	57,0	36,0	19,0	5	5	14	24	18,1
m	9	1,340	28,8	16,0	59,0	61,0	32,0	19,0	8	10	13	31	11,9
m	9	1,310	23,0	13,4	59,0	53,0	29,0	16,0	3	3	6	12	10,0
m	9	1,370	37,0	19,7	70,0	65,0	40,0	19,5	19	11	11	41	30,5
m	9	1,430	35,0	17,1	66,0	61,0	41,0	22,0	13	11	20	44	20,3
m	9	1,400	36,0	18,4	67,0	63,0	40,0	22,0	9	10	18	37	21,1
m	9	1,350	35,3	19,4	66,0	63,0	42,0	22,5	9	9	18	36	20,4
m	9	1,350	27,9	15,3	61,0	54,0	37,0	17,5	12	8	15	35	19,0
m	9	1,430	41,0	20,0	71,0	68,0	40,0	21,0	22	22	28	72	38,5
m	9	1,400	27,5	14,0	62,0	56,0	35,0	19,5	5	4	6	15	13,0
m	9	1,430	52,1	25,5	78,0	76,0	48,0	23,0	23	30	12	65	37,8
m	9	1,280	26,2	16,0	62,0	51,0	34,0	18,5	4	1	6	11	16,4
m	9	1,410	28,3	14,2	60,0	58,0	30,0	18,0	5	5	8	18	19,6

m	9	1,380	37,0	19,4	69,5	65,0	39,0	20,5	11	13	6	30	22,2
m	9	1,310	30,0	17,5	63,0	55,0	36,5	20,0	10	10	7	27	22,7
m	9	1,320	26,0	14,9	60,0	59,0	35,5	19,0	10	8	6	24	18,5
m	9	1,420	30,0	14,9	65,0	60,5	37,0	20,0	5	7	8	20	15,9
m	9	1,320	24,0	13,8	59,0	57,0	35,5	19,0	5	6	12	23	18,3
m	9	1,380	30,0	15,8	69,0	61,5	40,0	21,5	7	8	12	27	21,8
ž	9	1,325	32,3	18,4	64,5	61,0	39,5	21,5	20	12	20	52	28,2
ž	9	1,265	27,3	17,1	62,5	57,0	36,5	18,5	8	10	7	25	16,9
ž	9	1,275	29,8	18,3	64,0	60,0	38,0	22,5	18	17	15	50	30,9
ž	9	1,285	30,2	18,3	62,0	58,0	37,5	22,0	8	10	18	36	27,9
ž	9	1,330	29,6	16,7	66,5	59,5	39,0	20,5	20	15	19	54	31,0
ž	9	1,410	30,2	15,2	62,0	55,0	36,0	18,0	10	8	12	30	16,2
ž	9	1,295	26,5	15,8	60,0	55,0	37,0	18,0	19	16	18	53	26,4
ž	9	1,390	38,1	19,7	73,0	67,0	39,0	19,5	34	44	23	101	33,1
ž	9	1,430	36,9	18,0	67,0	61,0	43,0	22,0	16	8	16	40	22,2
ž	9	1,330	38,0	21,5	73,0	64,0	41,0	22,0	18	18	20	56	30,8
ž	9	1,280	26,0	15,9	60,5	55,0	35,0	18,5	6	8	15	29	21,6
ž	9	1,320	32,0	18,4	64,5	62,0	40,0	22,0	8	12	17	37	25,3
ž	9	1,340	36,0	20,0	76,0	66,0	43,0	22,0	9	11	15	35	31,7
ž	9	1,320	32,0	18,4	64,5	62,0	40,0	22,0	8	12	17	37	25,3
ž	9	1,200	22,0	15,3	54,0	56,0	32,0	16,0	3	4	7	14	21,4
ž	9	1,340	36,0	20,0	76,0	66,0	43,0	22,0	9	11	15	35	31,7
ž	9	1,320	33,6	19,3	66,0	65,0	42,0	31,0	16	15	19	50	17,6
ž	9	1,230	21,6	14,3	60,0	55,0	33,0	17,0	8	7	12	27	14,9
ž	9	1,480	43,4	19,8	71,0	85,0	50,0	24,0	23	8	18	49	23,3
ž	9	1,340	28,0	15,6	58,0	55,0	38,0	20,0	7	9	19	35	27,9
ž	9	1,390	37,5	19,4	77,0	72,0	37,0	21,5	21	31	18	70	36,3
ž	9	1,320	31,1	17,8	64,0	60,0	41,0	20,5	17	11	22	50	29,6
ž	9	1,410	43,1	21,7	76,0	68,0	39,0	21,0	24	24	29	77	32,7
ž	9	1,330	34,8	19,7	68,0	61,0	41,0	22,0	25	20	24	69	38,2
ž	9	1,360	35,9	19,4	72,0	63,0	45,0	22,0	22	13	23	58	36,5
ž	9	1,340	31,2	17,4	64,0	58,0	39,0	20,0	18	15	20	53	33,8
ž	9	1,400	29,6	15,1	62,0	54,0	34,0	18,5	9	8	12	29	17,6
ž	9	1,350	26,6	14,6	59,0	54,0	38,0	20,5	10	8	12	30	20,3
ž	9	1,460	55,1	25,8	84,0	76,0	50,0	24,0	40	50	42	132	44,3
ž	9	1,600	57,0	22,3	85,0	75,0	48,0	23,5	26	26	28	80	26,1
ž	9	1,330	28,8	16,3	59,0	55,0	40,0	17,5	10	12	12	34	30,5
ž	9	1,290	24,8	14,9	59,5	59,0	35,5	19,0	2	4	13	19	11,3
ž	9	1,295	23,4	14,0	56,0	53,5	36,0	18,0	2	2	6	10	15,8
ž	9	1,270	24,6	15,3	61,0	55,0	36,0	19,0	1	2	6	9	16,7
ž	9	1,365	29,3	15,7	62,5	55,0	40,5	21,0	2	5	10	17	20,1
ž	9	1,365	32,5	17,4	66,5	63,5	41,5	22,0	16	8	13	37	29,2
ž	9	1,370	28,8	15,3	62,0	58,0	35,5	20,0	14	8	13	35	29,8
m	8	1,380	31,3	16,4	68,5	58,0	34,0	20,0	6	10	6	22	18,9
m	8	1,230	22,9	15,1	61,0	56,5	35,0	17,5	5	6	5	16	19,1
m	8	1,380	26,9	14,1	64,0	58,0	32,5	18,0	6	8	6	20	16,6
m	8	1,255	24,2	15,4	60,5	50,0	33,0	18,0	4	1	6	11	16,4

Příloha C Statisticky významné rozdíly u dětí v předškolním a mladším školním věku

Statisticky významné rozdíly u chlapců předškolního a mladšího školního věku

	<b>Předškolní</b>	<b>Školní věk</b>	<b>t-value</b>	<b>df</b>	<b>p</b>
<b>Výška</b>	116,6	133,6	-15,7	145	<b>0,000001</b>
<b>Hmotnost</b>	21,0	30,1	-10,6	145	<b>0,000001</b>
<b>BMI</b>	15,4	16,7	-3,8	145	<b>0,000246</b>
<b>Hrudník</b>	57,6	64,3	-8,4	145	<b>0,000001</b>
<b>Břicho</b>	55,1	60,6	-5,4	145	<b>0,000001</b>
<b>Stehno</b>	29,5	36,2	-8,8	145	<b>0,000001</b>
<b>Paže</b>	19,6	19,7	-0,1	145	0,908484
<b>Suprailiaca</b>	3,7	8,4	-5,8	145	<b>0,000001</b>
<b>Subscapula</b>	4,7	9,0	-5,6	145	<b>0,000001</b>
<b>Triceps</b>	8,4	11,8	-4,5	145	<b>0,000013</b>
<b>Σ řas</b>	16,8	29,2	-6,0	145	<b>0,000001</b>
<b>BIA</b>	21,8	19,1	2,4	145	<b>0,016862</b>

Note. Statistická významnost dle Pearsonova Chí-kvadrát testu vyznačena červeně.

Statisticky významné rozdíly u dívek předškolního a mladšího školního věku

	<b>Předškolní</b>	<b>Školní věk</b>	<b>t-value</b>	<b>df</b>	<b>p</b>
<b>Výška</b>	115,8	131,6	-12,9	129	<b>0,000001</b>
<b>Hmotnost</b>	20,4	30,3	-9,0	129	<b>0,000001</b>
<b>BMI</b>	15,2	17,3	-4,6	129	<b>0,000011</b>
<b>Hrudník</b>	56,5	64,6	-7,7	129	<b>0,000001</b>
<b>Břicho</b>	54,3	60,4	-5,5	129	<b>0,000001</b>
<b>Stehno</b>	30,5	38,0	-7,6	129	<b>0,000001</b>
<b>Paže</b>	19,8	20,3	-0,7	129	0,481693
<b>Suprailiaca</b>	5,8	12,7	-5,5	129	<b>0,000001</b>
<b>Subscapula</b>	6,8	12,0	-4,0	129	<b>0,000101</b>
<b>Triceps</b>	9,5	15,3	-5,5	129	<b>0,000001</b>
<b>Σ řas</b>	22,1	39,9	-5,3	129	<b>0,000001</b>
<b>BIA</b>	23,2	24,0	-0,6	129	0,552166

Note. Statistická významnost dle Pearsonova Chí-kvadrát testu vyznačena červeně.

Příloha D Statisticky významné genderové rozdíly

Statisticky významné rozdíly u chlapců a dívek předškolního věku

	<b>Chlapci</b>	<b>Dívky</b>	<b>t-value</b>	<b>df</b>	<b>p</b>
<b>Výška</b>	116,6	115,8	0,8	139	0,411379
<b>Hmotnost</b>	21,0	20,4	1,2	139	0,242722
<b>BMI</b>	15,4	15,2	0,7	139	0,496942
<b>Hrudník</b>	57,6	56,5	1,9	139	0,063486
<b>Břicho</b>	55,1	54,3	1,3	139	0,212225
<b>Stehno</b>	29,5	30,5	-1,1	139	0,262271
<b>Paže</b>	19,6	19,8	-0,2	139	0,820856
<b>Suprailiaca</b>	3,7	5,8	-3,7	139	<b>0,000339</b>
<b>Subscapula</b>	4,7	6,8	-3,0	139	<b>0,003542</b>
<b>Triceps</b>	8,4	9,5	-2,1	139	<b>0,033409</b>
<b>Σ řas</b>	16,8	22,1	-3,6	139	<b>0,000483</b>
<b>BIA</b>	21,8	23,2	-1,3	139	0,211929

Note. Statistická významnost dle Pearsonova Chí-kvadrát testu vyznačena červeně.

Statisticky významné rozdíly u chlapců a dívek mladšího školního věku

	<b>Chlapci</b>	<b>Dívky</b>	<b>t-value</b>	<b>df</b>	<b>p</b>
<b>Výška</b>	133,6	131,6	1,6	135	0,117320
<b>Hmotnost</b>	30,1	30,3	-0,2	135	0,852820
<b>BMI</b>	16,7	17,3	-1,0	135	0,303133
<b>Hrudník</b>	64,3	64,6	-0,3	135	0,793483
<b>Břicho</b>	60,6	60,4	0,2	135	0,865831
<b>Stehno</b>	36,2	38,0	-2,2	135	<b>0,030048</b>
<b>Paže</b>	19,7	20,3	-1,3	135	0,182913
<b>Suprailiaca</b>	8,4	12,7	-3,2	135	<b>0,001827</b>
<b>Subscapula</b>	9,0	12,0	-2,2	135	<b>0,026330</b>
<b>Triceps</b>	11,8	15,3	-3,0	135	<b>0,003081</b>
<b>Σ řas</b>	29,2	39,9	-3,0	135	<b>0,003359</b>
<b>BIA</b>	19,1	24,1	-3,6	135	<b>0,000409</b>

Note. Statistická významnost dle Pearsonova Chí-kvadrát testu vyznačena červeně.

Příloha E Naměřená data u selektivního souboru

Referenční data	Základní antropometrie		Tělesné obvodry [cm]		Kaliperace [mm]		UZ měření [mm]		BIA									
	Pohlaví	Věk /roky	Výška [m]	Hmot. [kg]	BMI	Hrud	Ríčko	Stehno	Paže	Supr.	Subsc.	Tric.	Σ řas	spina	lop	tríc	Σ	Tuk %/
ž	6	1,255	19	12,0633	55,5	54,5	18	31	5	5	5	8	18	3	2,5	4,5	10	5,8
m	6	1,17	21	15,34078	55,5	51	18	34	2	4	4	9	15	1	2,5	7	10,5	20,5
ž	6	1,15	19	14,36673	55	47,5	16,5	34	2	5	5	9	16	2,5	3	6	11,5	23,2
ž	6	1,245	23	14,83847	56,5	54,5	18,5	36	5	7	7	10	22	4	5	6,5	15,5	22,9
ž	6	1,145	17,6	13,42461	52	49	15,5	29	3	3	3	9	15	2	2	7	11	10,5
ž	6	1,075	18	15,57599	54	49	17,5	33	4	5	5	13	22	3	4	7	14	28,9
ž	6	1,15	18	13,61059	54	51,5	16	30	2	2	2	7	11	1,5	1,5	5	8	26,1
m	6	1,05	17	15,4195	53	51	16	31	3	3	3	7	13	2,5	2	5	9,5	31,2
m	6	1,07	18,3	15,98393	54	52	18	32,5	2	4	4	6	12	2	3	5	10	23,5
m	6	1,165	21,5	15,84115	55,5	55,5	18,5	35,5	3	4	4	8	15	3	3	7	13	23,7
ž	6	1,055	16	14,37524	50,5	50	16,5	30	2	2	3	8	13	2,5	2	6	10,5	9,9
m	6	1,12	17	13,5523	53,5	49	16	29,5	1	3	3	5	9	1	1,5	4	6,5	12,9
ž	6	1,13	19	14,87979	53,5	50,5	17,5	35,5	7	4	4	14	25	5	3	10	18	25,3
m	6	1,18	24	17,23643	61	58,5	19	36,5	4	6	6	10	20	3	4	8	15	26,2
m	6	1,16	25,5	18,95065	61	59	21	39	4	5	5	15	24	3	3	9,5	15,5	21,2
ž	8	1,26	26,3	15,56589	62	58,5	39	19,5	7	8	8	10	25	6	5	8	19	16,3
ž	9	1,29	24,8	14,90295	59,5	59	35,5	19	2	4	4	13	19	2	4	10	16	11,3
m	9	1,41	42,1	21,176	73	80	41	24	13	22	22	14	49	11	18	12,5	41,5	32,7
ž	9	1,295	23,4	13,96328	56	53,5	36	18	2	2	2	6	10	1,5	2	4,5	8	15,8
m	8	1,28	25,1	15,31982	60	58	34,5	18	1	4	4	6	11	1,5	3,5	5	10	10,8
m	8	1,29	24,3	14,60249	60	57	31	19	0	2	2	6	8	1	2	5	8	15,2
m	9	1,315	24,1	13,93688	60	53	30	18	1	3	3	5	9	0,5	2,5	4,5	7,5	14,1
ž	8	1,25	24,9	15,936	61	56	36	19,5	5	5	3	10	18	4	3	9	16	24,1
m	9	1,285	25,2	15,2614	58,5	56	38	19,5	3	3	3	8	14	3	3,5	9	15,5	19
ž	9	1,27	24,6	15,25203	61	55	36	19	1	2	2	6	9	1	2	5,5	8,5	16,7
m	9	1,37	39,3	20,93878	76	75,5	39	24,5	10	8	8	10	28	7,5	5,5	8,5	21,5	14
ž	8	1,295	20,7	12,34329	57,5	51,5	30,5	17	2	1	4	4	7	1,5	1	4	6,5	14,5
ž	9	1,365	29,3	15,72542	62,5	55	40,5	21	2	2	5	10	17	2	4,5	8	14,5	20,1
ž	8	1,3	25	14,7929	60	57	31	19	5	3	3	7	15	4,5	2,5	6	13	25,2
m	8	1,335	30	15,83289	62	60	34	20	6	6	6	13	25	5	5,5	10,5	21	30,7
ž	9	1,365	32,5	17,44287	66,5	63,5	41,5	22	16	8	8	13	37	10	9,5	11,5	31	29,2

Příloha F Vzájemná závislost sledovaných ukazatelů u předškolních dětí

Vzájemná závislost sledovaných faktorů u chlapců předškolního věku

	Výška	Hmot.	BMI	Hrud.	Břicho	Stehno	Paže	Supr.	Subsc.	Tric.	Σ řas	BIA
Výška	1,00	,79	,15	,63	,48	,39	-,07	,32	,14	,11	,24	-,04
Hmot.	,79	1,00	,73	,86	,78	,40	,20	,59	,38	,48	,60	,27
BMI	,15	,73	1,00	,67	,72	,21	,40	,57	,46	,63	,68	,46
Hrud.	,63	,86	,67	1,00	,85	,45	,09	,69	,48	,37	,65	,25
Břicho	,48	,78	,72	,85	1,00	,41	,11	,75	,54	,51	,75	,40
Stehno	,39	,40	,21	,45	,41	1,00	-,62	,38	,29	-,05	,27	-,03
Paže	-,07	,20	,40	,09	,11	-,62	1,00	,07	,10	,27	,17	,16
Supr.	,32	,59	,57	,69	,75	,38	,07	1,00	,78	,31	,89	,40
Subsc.	,14	,38	,46	,48	,54	,29	,10	,78	1,00	,25	,88	,29
Tric.	,11	,48	,63	,37	,51	-,05	,27	,31	,25	1,00	,61	,41
Σ řas	,24	,60	,68	,65	,75	,27	,17	,89	,88	,61	1,00	,45
BIA	-,04	,27	,46	,25	,40	-,03	,16	,40	,29	,41	,45	1,00

Note. Červeně vyznačené hodnoty značí prokázané statisticky významné závislosti (Pearsonův korelační koeficient), supr.= suprailiaca, subsc.= subscapula, tric.= triceps.

Vzájemná závislost sledovaných faktorů u dívek předškolního věku

	Výška	Hmotn	BMI	Hrud.	Břicho	Stehno	Paže	Supr.	Subsc.	Tric.	Σ řas	BIA
Výška	1,00	,60	-,11	,33	,28	,14	,02	-,18	-,25	-,21	-,26	-,19
Hmotn	,60	1,00	,72	,76	,75	,47	,02	,18	-,05	,38	,18	,36
BMI	-,11	,72	1,00	,68	,70	,46	,01	,38	,15	,67	,44	,60
Hrud.	,33	,76	,68	1,00	,73	,51	-,08	,28	,16	,44	,33	,27
Břicho	,28	,75	,70	,73	1,00	,54	-,09	,52	,23	,52	,48	,39
Stehno	,14	,47	,46	,51	,54	1,00	-,73	,27	,18	,16	,24	,28
Paže	,02	,02	,01	-,08	-,09	-,73	1,00	-,05	-,11	,24	,01	-,06
Supr.	-,18	,18	,38	,28	,52	,27	-,05	1,00	,77	,52	,91	,26
Subsc.	-,25	-,05	,15	,16	,23	,18	-,11	,77	1,00	,37	,88	,16
Tric.	-,21	,38	,67	,44	,52	,16	,24	,52	,37	1,00	,71	,48
Σ řas	-,26	,18	,44	,33	,48	,24	,01	,91	,88	,71	1,00	,34
BIA	-,19	,36	,60	,27	,39	,28	-,06	,26	,16	,48	,34	1,00

Note. Červeně vyznačené hodnoty značí prokázané statisticky významné závislosti (Pearsonův korelační koeficient), supr.= suprailiaca, subsc.= subscapula, tric.= triceps.



Příloha G Vzájemná závislost sledovaných ukazatelů u dětí mladšího školního věku

Vzájemná závislost sledovaných ukazatelů u chlapců mladšího školního věku

	Výška	Hmotnost	BMI	Hrudník	Břicho	Stehno	Paže	Supr.	Subsc.	Triceps	Σ řas	BIA
Výška	1,00	,68	,29	,59	,52	,53	,54	,40	,43	,36	,43	,20
Hmotnost	,68	1,00	,90	,91	,88	,86	,87	,81	,83	,62	,82	,66
BMI	,29	,90	1,00	,82	,82	,78	,81	,80	,80	,58	,79	,72
Hrudník	,59	,91	,82	1,00	,87	,82	,89	,79	,79	,61	,79	,56
Břicho	,52	,88	,82	,87	1,00	,80	,89	,78	,82	,68	,83	,58
Stehno	,53	,86	,78	,82	,80	1,00	,83	,77	,77	,70	,81	,60
Paže	,54	,87	,81	,89	,89	,83	1,00	,73	,71	,69	,77	,53
Supr.	,40	,81	,80	,79	,78	,77	,73	1,00	,88	,74	,95	,77
Subsc.	,43	,83	,80	,79	,82	,77	,71	,88	1,00	,68	,93	,71
Triceps	,36	,62	,58	,61	,68	,70	,69	,74	,68	1,00	,88	,49
Σ řas	,43	,82	,79	,79	,83	,81	,77	,95	,93	,88	1,00	,72
BIA	,20	,66	,72	,56	,58	,60	,53	,77	,71	,49	,72	1,00

Note. Červeně vyznačené hodnoty značí prokázané statisticky významné závislosti (Pearsonův korelační koeficient), supr.= suprailiaca, subsc.= subscapula.

Vzájemná závislost sledovaných ukazatelů u dívek mladšího školního věku

	Výška	Hmotnost	BMI	Hrudník	Břicho	Stehno	Paže	Suprail.	Subsc.	Triceps	Σ řas	BIA
Výška	1,00	,76	,46	,67	,61	,60	,45	,54	,47	,56	,55	,48
Hmotnost	,76	1,00	,92	,95	,88	,86	,78	,86	,77	,85	,87	,75
BMI	,46	,92	1,00	,90	,84	,82	,82	,85	,78	,84	,86	,78
Hrudník	,67	,95	,90	1,00	,88	,81	,76	,83	,78	,82	,85	,76
Břicho	,61	,88	,84	,88	1,00	,81	,80	,79	,67	,76	,78	,68
Stehno	,60	,86	,82	,81	,81	1,00	,80	,74	,60	,77	,73	,67
Paže	,45	,78	,82	,76	,80	,80	1,00	,70	,55	,73	,69	,63
Suprailiaca	,54	,86	,85	,83	,79	,74	,70	1,00	,87	,87	,96	,78
Subscapula	,47	,77	,78	,78	,67	,60	,55	,87	1,00	,84	,95	,72
Triceps	,56	,85	,84	,82	,76	,77	,73	,87	,84	1,00	,94	,77
Σ řas	,55	,87	,86	,85	,78	,73	,69	,96	,95	,94	1,00	,79
BIA	,48	,75	,78	,76	,68	,67	,63	,78	,72	,77	,79	1,00

Note. Červeně vyznačené hodnoty značí prokázané statisticky významné závislosti (Pearsonův korelační koeficient), supr.= suprailiaca, subsc.= subscapula.

Příloha H Vyjádření vnitřní konzistence reliability testů pomocí z- skór u selektivního souboru

<b>Předškolní</b>	<b><math>\Sigma</math> řas</b>	<b>Kaliperace-</b>	<b><math>\Sigma</math> řas UZ</b>	<b>BIA-UZ</b>	<b>BIA</b>
<b>Soubor</b>	<b>kaliperace</b>	<b>UZ rozdíl</b>		<b>rozdíl</b>	
1.	0,27	0,86	- 0,59	1,41	- 2,00
2.	- 0,35	0,07	- 0,28	0,24	- 0,04
3.	- 0,14	0,01	- 0,13	0,45	0,32
4.	1,06	0,07	1,13	0,85	0,28
5.	- 0,35	0,07	- 0,28	1,09	- 1,37
6.	1,06	0,40	0,66	0,42	1,08
7.	- 1,16	0,94	- 0,22	0,95	0,70
8.	- 0,76	0,01	- 0,75	2,14	1,39
9.	- 0,96	0,37	- 0,59	0,95	0,36
10.	- 0,35	0,69	0,34	0,05	0,39
11.	- 0,76	0,48	- 0,28	1,17	- 1,45
12.	- 1,57	0,12	- 1,69	0,64	- 1,05
13.	1,69	0,22	1,91	1,31	0,60
14.	0,67	0,30	0,97	0,25	0,72
15.	1,49	0,36	1,13	1,08	0,05

<b>Školní</b>	<b><math>\Sigma</math> řas</b>	<b>Kaliperace-</b>	<b><math>\Sigma</math> řas</b>	<b>BIA-</b>	<b>BIA</b>
<b>soubor</b>	<b>kaliperace</b>	<b>UZ rozdíl</b>	<b>UZ</b>	<b>UZ rozdíl</b>	
1.	0,53	0,22	0,31	0,75	- 0,44
2.	0,02	0,03	- 0,01	1,15	- 1,16
3.	2,60	0,10	2,70	0,80	1,90
4.	- 0,76	0,10	- 0,86	0,35	- 0,51
5.	- 0,67	0,02	- 0,65	0,58	- 1,23
6.	- 0,93	0,87	- 0,06	0,54	- 0,60
7.	- 0,84	0,07	- 0,91	0,15	- 0,76
8.	0,07	0,08	- 0,01	0,68	0,67
9.	- 0,41	0,35	- 0,06	0	- 0,06
10.	- 0,84	0,03	- 0,81	0,42	- 0,39
11.	0,79	0,22	0,57	1,34	- 0,77
12.	- 1,02	0	- 1,02	0,32	- 0,70
13.	- 0,16	0,01	- 0,17	0,27	0,10
14.	- 0,33	0	- 0,33	1,16	0,83
15.	0,53	0,01	0,52	1,09	1,61
16.	1,57	0,01	1,56	0,16	1,40