

**UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI**

Přírodovědecká fakulta

Katedra botaniky



**Analýza tělesného složení u studentů ve věku 15–20 let**

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**Bc. Lucie Strackeová**

Studijní obor: Biologie – geografie

Forma studia: Prezenční

Vedoucí práce: Mgr. Ondřej Kapuš, Ph.D.

Olomouc 2024

## **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že jsem předloženou diplomovou práci vypracovala samostatně podle metodických pokynů vedoucího práce a za použití uvedené literatury.

V Olomouci, 2024 .....

Bc. Lucie Strackeová

## **Poděkování**

Mou milou povinností je s velkou vděčností poděkovat zejména Mgr. Ondřeji Kapušovi, Ph.D., vedoucímu diplomové práce, za odborné vedení, poskytnuté rady, vstřícnost, pohotovost a věnovaný cenný čas. Dále také za to, že diplomová práce mohla být řešená v rámci projektu IGA\_PrF\_2019\_024 a IGA\_PrF\_2020\_026.

Děkuji také všem studentům, kteří se měření zúčastnili a podstoupili měření dle pokynů.

Ráda bych poděkovala také mé rodině, která mi byli oporou nejen při psaní této diplomové práce, ale také během celého vysokoškolského studia.

## BIBLIOGRAFICKÁ IDENTIFIKACE

**Jméno a příjmení autora:** Bc. Lucie Strackeová

**Název práce:** Analýza tělesného složení u studentů ve věku 15–20 let

**Typ práce:** Diplomová práce

**Vedoucí diplomové práce:** Mgr. Ondřej Kapuš, Ph.D.

**Pracoviště:** Katedra zoologie, Přírodovědecká fakulta, Univerzita Palackého v Olomouci

**Rok obhajoby:** 2024

**Abstrakt:** Cílem diplomové práce byla analýza tělesného složení adolescentů ve věku 15–20 let. Výzkumný soubor byl tvořen 1 244 adolescenty, z toho bylo 1 171 chlapců a 73 dívek. Měření bylo uskutečněno v letech 2019–2023 pomocí metody bioelektrické impedance prostřednictvím přístroje Tanita MC-980 MA Plus. Naměřené údaje byly součástí projektu IGA\_PrF\_2019\_024 a IGA\_PrF\_2020\_026. Průměrný věk skupiny chlapců byl 17,02 let, u dívek 16,9 let. Dílčím cílem bylo posouzení, zdali měla pandemie Covid-19 vliv na tělesné složení adolescentů. Ze sledovaných parametrů byly charakterizovány BMI, tuková, tukuprostá hmota, viscerální tuk a celková tělesná voda. Z výsledků vyplynulo, že zmíněné parametry se v drtivé většině pohybovaly, až na výjimky, v ideálních/doporučených hodnotách. Nebyl zaznamenán výrazný vliv pandemie na tělesné složení adolescentů až na úbytek tukuprosté hmoty u obou pohlaví. V rámci didaktické části diplomové práce byl vytvořen pracovní list zaměřený na indexy tělesného složení.

**Klíčová slova:** Tělesné složení, adolescent, tělesný tuk, tukuprostá hmota, BMI, bioelektrická impedanční analýza (BIA), segmentální analýza, Tanita MC-980 MA Plus, Covid-19

**Počet stran:** 61

**Počet příloh:** 3

**Jazyk:** Český

## BIBLIOGRAPHICAL IDENTIFICATION

**Author's first name and surname:** Bc. Lucie Strackeová

**Title of thesis:** Analysis of body composition in students aged 15-20 years

**Type of thesis:** Master

**Supervision:** Mgr. Ondřej Kapuš, Ph.D.

**Department:** Department of Zoology, Faculty of Science, Palacky University, Olomouc

**The year of presentation:** 2024

**Abstract:** The primary aim of the thesis was to analyse the body composition of adolescents aged 15–20 years. The research sample consisted of 1,244 adolescents, 1,171 boys and 73 girls. The measurements were conducted between the years 2019 and 2023 using the bioelectrical impedance method using the Tanita MC-980 MA Plus device. The collected data were part of projects IGA\_PrF\_2019\_024 and IGA\_PrF\_2020\_026. The average age of the boys was 17.02 years, and for girls, it was 16.9 years. The secondary aim was to assess whether the COVID–19 pandemic affected the body composition of adolescents. Among the measured parameters were BMI, body fat, fat-free mass, visceral fat, and total body water. The results indicated that the mentioned parameters were mostly within the ideal/recommended values, with some exceptions. There was no significant impact of the pandemic on the body composition of adolescents, except for a decrease in the fat-free mass for both genders. As a part of the didactic section of the thesis, a worksheet which was focused on body composition indices was created.

**Keywords:** Body composition, adolescent, body fat, fat-free mass, BMI, bioelectrical impedance analysis, segmental analysis, Tanita MC-980 MA Plus, Covid-19

**Number of pages:** 61

**Number of appendices:** 3

**Language:** Czech

# Obsah

<b>1 ÚVOD</b> .....	<b>8</b>
<b>2 CÍLE</b> .....	<b>9</b>
<b>3 SYNTÉZA POZNATKŮ</b> .....	<b>10</b>
3.1 VYMEZENÍ POJMU ADOLESCENCE .....	10
3.2 TĚLESNÉ SLOŽENÍ .....	12
3.2.1 <i>Modely tělesného složení</i> .....	13
3.2.2 <i>Tělesný tuk</i> .....	18
3.2.2.1 Typy tělesného tuku .....	18
3.2.2.2 Obezita .....	19
3.2.3 <i>Tukuprostá hmota a štíhlá tělesná hmota</i> .....	23
3.3 METODY ODHADU TĚLESNÉHO SLOŽENÍ .....	25
3.3.1 <i>Antropometrie</i> .....	25
3.3.2 <i>Biofyzikální a biochemické metody</i> .....	26
<b>4 METODIKA PRÁCE</b> .....	<b>28</b>
4.1 CHARAKTERISTIKA SOUBORU .....	28
4.1.1 <i>Standardizované podmínky</i> .....	28
4.3 MĚŘENÍ TĚLESNÉHO SLOŽENÍ .....	29
4.4 STATISTICKÁ ANALÝZA .....	30
<b>5 VÝSLEDKY PRÁCE</b> .....	<b>31</b>
5.1 NAMĚŘENÉ ABNORMALITY .....	33
5.2 HODNOTY SEGMENTÁLNÍ ANALÝZY TUKOVÉ A TUKUPROSTÉ HMOTY .....	33
5.3 BLIŽŠÍ CHARAKTERISTIKA NAMĚŘENÝCH HODNOT V JEDNOTLIVÝCH LETECH 2019–2023 ....	35
5.4 BLIŽŠÍ CHARAKTERISTIKA NAMĚŘENÝCH HODNOT DLE VĚKOVÝCH KATEGORIÍ .....	37
<b>6 DISKUZE</b> .....	<b>39</b>
<b>7 DIDAKTICKÉ ZPRACOVÁNÍ TÉMATU</b> .....	<b>42</b>
<b>8 ZÁVĚR</b> .....	<b>44</b>
<b>9 REFERENČNÍ SEZNAM</b> .....	<b>46</b>
<b>INTERNETOVÉ ZDROJE</b> .....	<b>49</b>
<b>AKADEMICKÉ PRÁCE</b> .....	<b>52</b>

<b>10 PŘÍLOHY .....</b>	<b>53</b>
10.1 SEZNAM OBRÁZKŮ.....	53
10.2 SEZNAM TABULEK .....	54
10.3 SEZNAM ZKRATEK .....	55
10.4 INFORMOVANÝ SOUHLAS .....	56
10.5 PŘÍKLAD NUMERICKÉHO VÝSTUPU Z MĚŘENÍ POMOCÍ BIA, 2023 .....	58
10.6. PRACOVNÍ LIST + ŘEŠENÍ .....	60

# 1 Úvod

Diplomová práce je zaměřená na analýzu tělesného složení studentů SPŠS v Olomouci měřenou pomocí metody bioelektrické impedance.

Díky metodě lze posoudit množství tělesného tuku, tukuprosté hmoty, celkové tělesné vody apod. v lidském těle. Je využívána k diagnostice tělesného složení, zlepšení tréninkového plánu či k posouzení zdravotního stavu nejen elitními sportovci, ale také širokou veřejností. BIA je ideálním nástrojem pro získání zpětné kontroly a hodnocení tělesné stavby. Jedná se o velmi rychlou, spolehlivou a bezbolestnou metodu, která je praktická pro své užití v terénu.

V rámci práce je charakterizována také obezita v rámci světa, ale i evropského regionu (České republiky), která má rostoucí tendenci skrz všechny věkové kategorie. Jako budoucí pedagog biologie cítím potřebu tomuto tématu věnovat pozornost a v budoucnu předávat znalosti o rizicích nadváhy, obezity a nezdravého životního stylu obecně. Věřím, že ke studiu biologie člověka, antropologie, žákům pomůže dobrá znalost vlastního těla. Z tohoto důvodu je k práci přiložen pracovní list zaměřený na práci s tělesnými indexy k lepšímu poznání vlastního těla.



## 2 Cíle

### Cíle diplomové práce shrnuté v bodech:

- Rešerše k tématu tělesné složení
- Analýza tělesného složení u studentů ve věku 15–20 let pomocí metody bioelektrické impedance (BIA)
- Charakteristika vybraných somatických parametrů tělesného složení pomocí přístroje Tanita MC-980 MA Plus
- Porovnání segmentální analýzy tělesného tuku a tukuprosté hmoty dle metody BIA
- Analýza změny tělesného složení během studentů SPŠS Olomouc před covidem a po covidu
- Analýza změny tělesného složení na základě věkových kategorií
- Zpracování didaktických materiálů a analýzy tématu

## 3 Syntéza poznatků

### 3.1 Vymezení pojmu adolescence

Termín adolescence nemá zcela jasnou definici ani vymezení. Jedná se o časový úsek mezi pubertou a ranou dospělostí, kdy WHO vymezuje adolescenci v rozmezí 10–19 let, v evropské (české) terminologii je adolescence rozdělena do tří etap: časná adolescence (10–13 let), střední adolescence (14–16 let) a pozdní adolescence (17–20 let) (Matiaško, 2008). Rapee a kol. (2019) definují dospívající vývojové období obvykle mezi 13. a 18. rokem života. Z autorů popisující věkový interval adolescence 15–20 jsou Vágnerová (2004) a Říčan (1989). Macek (2003) pak uvádí, že se jedná o období mezi 15 a 22 rokem života jedince. Nicméně stále se můžeme setkat i s kulturami, kde adolescence není nijak vymezována (Říčan, 1989).

Během tohoto období dochází k velkým biologickým, psychickým i sociálním změnám, kdy vstup do adolescence je dán plnou reprodukční zralostí a ustálením tělesného růstu. Nástup je velmi individuální, zpravidla u chlapců začíná později než u dívek. Taktéž pro ukončení dospívání neexistuje jednoznačný předěl. Oproti biologickým změnám jsou podstatnější kritéria psychologická, která Rapee a kol. (2019) považuje za vůbec největší a nejdramatičtější psychosociální změny v lidském životě. Zmiňují, že drtivá většina adolescentů z tohoto období vycházejí s pozitivním pocitem sebe samým, silnými vztahy a dobrou kvalitou života, nicméně jedná se také o období, kdy se mohou začít projevovat psychopatologické problémy nebo si výrazně zvyšuje jejich prevalence. V rámci sociálních změn, se jedinec mění ve vyzrálého dospělého člověka a dosahuje osobní autonomie. Macek (2003) hovoří o kritériích pedagogických, u kterých by měla osoba dokončit vzdělávání a získat profesní kvalifikaci. Nicméně i to je v dnešní době velmi variabilní, jelikož k plné sociální a pedagogické zralosti často dochází až ve vyšším věku díky růstu počtu vysokoškolských studentů, kteří se osamostatňují až po ukončení studia. Naopak k biologické zralosti jako např. zvýraznění intersexuálních odlišností, dochází dříve (Říčan, 1989).

V rámci biologických změn se dospívající potýkají u chlapců s poměrně výrazným růstem do výšky, u dívek již s nepatrným. Průměrný chlapec ve věku 15–18 let vyroste v průměru o 7 cm, dívka jen o 1 až 2 cm. Mladým mužům mutuje hlas, rostou první vousy a dochází k nárůstu svalové hmoty. Dívky získávají ryze ženské tvary, rostou boky a prsa. Vlastní těla se stávají předmětem pozornosti a mají velký vliv na psychické zdraví dospívajících např. zaujetí krásou či domnělou ošklivostí nebo naopak nízkým či moc vysokým vzrůstem (Říčan, 1989). Dochází k poznávání těla

i z milostné stránky vlivem vyšší produkce hormonů. U chlapců je spojeno s testosteronem, který je v maximální míře kolem 18. roku a jsou na vrcholu své sexuální aktivity. U dívek pracuje estrogen a progesteron, ale na vrchol sexuální aktivity se dostávají až kolem 30. roku (Říčan, 1989).

Adolescence je jedinečnou fází, která je důležitá pro položení základů dobrého zdraví jedince. Rychlý fyzický, kognitivní a psychosociální růst ovlivňuje jak se dospívající cítí, myslí, rozhoduje se, jak komunikuje s okolním světem a jaký obrázek si dělá o sobě samém (WHO, 2024). Je to čas, kdy by mělo dojít k naplnění tzv. vývojových úkolů, ke kterým může dospívajícímu pomoci společnost formou nabízení osvědčených vzorců chování. Vývojové úkoly definoval Robert J. Havighurst a dále se je snažila specifikovat celá řada autorů.

Vývojové úkoly (upraveno dle Macka, 2003):

- *Akceptace vlastního těla a fyzických změn, včetně dosažení pohlavní zralosti a přijetí pohlavní role.*
- *Dovednost flexibility, kognitivního a abstraktního myšlení – schopnost využívat intelektuálního potenciálu v běžné každodenní zkušenosti.*
- *Aplikace emocionálního a kognitivního potenciálu ve vztazích s vrstevníky a s tím spojená schopnost formování a udržení vztahů s vrstevníky obou pohlaví.*
- *Transformace postojů a vztahů k dospělým osobám (rodičům či jiným autoritám) – autonomie, popř. významný respekt a kooperace nahrazuje emocionální závislost.*
- *Vytváření ekonomické nezávislosti a směřování k určitým jistotám spojeným s ní – volba povolání, získání základní profesní kvalifikace, k ujasnění představ o budoucí kariéře.*
- *Nabytí zkušeností v erotickém vztahu, příprava pro partnerský a rodinný život.*
- *Rozvoj intelektu, emocionality a interpersonálních dovedností se zaměřením na společnost a komunitu – tj. získání kompetence pro sociálně zodpovědné chování.*
- *Formulace priorit v budoucí dospělosti – důležitých osobních cílů a stylu života.*
- *Utvoření hierarchie hodnot, reflexe a stabilizace vlastního postavení ve světě a životě (světonázor).*

Veškeré úkoly mají přesah jak k biologickým, psychickým i sociálním změnám. Macek (2003) doplňuje, že úkoly jsou charakteristické pro evropskou a severoamerickou kulturu, v jiné části světa by se vývojové úkoly s největší pravděpodobností lišily.

### 3.2 Tělesné složení

Tělesné složení (BC, body composition) lze jednoduše definovat jako proporce lidského těla. Tělesné komponenty (frakce) od tkání až po orgány tvoří stavební pilíře, které ovlivňují funkci, váhu a tvar organismu (Malá a kol., 2023). Průzkumy, které se týkají tělesného složení, se v posledních letech zaměřují především na změnu podílu jednotlivých tělesných frakcí v různých fázích ontogeneze, především v období růstu a stárnutí. Předmětem studií jsou i změny v důsledku působení tělesné zátěže a sportovního tréninku, změny tělesného složení u různých metabolických onemocnění, klinických syndromů, tělesně postižených klientů nebo klientů s různými psychickými nemocemi (Webera kol., 2014; Riegerová a kol., 2006).

Kořeny zkoumání BC se uvádějí od starověku, již od roku 400 př. n. l. ve starověkém Řecku. Řekové popisovali tělo na základě čtyř základních prvků vesmíru: voda, oheň, vzduch a země. Tyto prvky měly být horké, studené, mokré nebo suché. Jídlo a nápoje byly během trávení převedeny do čtyř základních tělesných tekutin: krev, hlen, žlutá žluč a černá žluč (Heymsfield, 2008). Obdobné BC popisovali také čínští učenci, domnívali se, že BC je dáno kovem, dřevem, vodou, ohněm a zemí. Ve všech kulturách nicméně panovala shoda o dobrém zdraví jedince, které bylo dosaženo, když byly všechny prvky v rovnováze (Malá a kol., 2023).

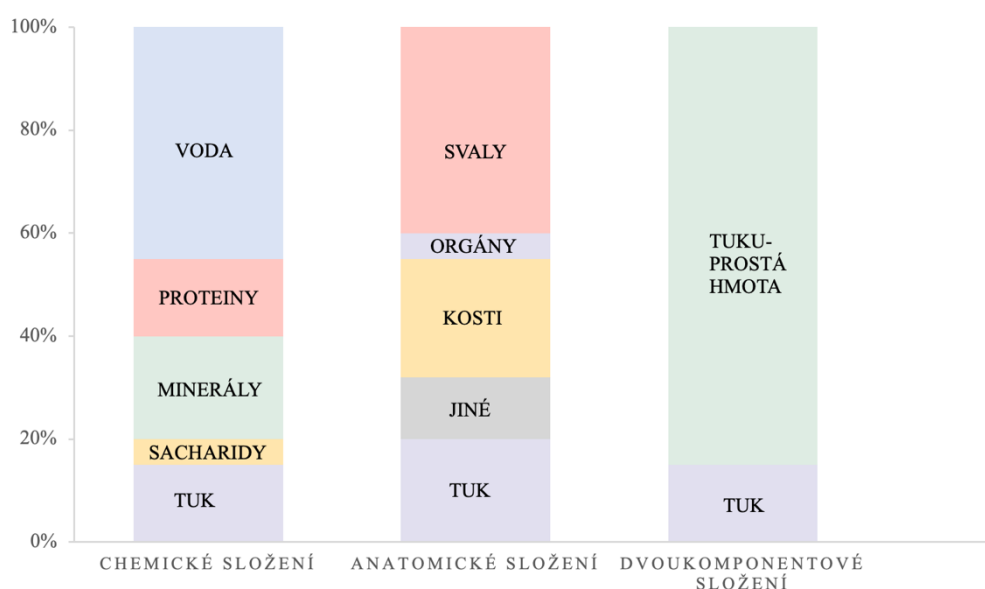
Pravidelné sledování tělesného složení je využito k monitorování efektivity pohybového zatížení, k nastavení individuálních potřeb jedince při úpravě tělesné hmotnosti apod.

Na základě studií bylo zjištěno, že variabilita složení těla je částečně odvozena od genetických faktorů (Wells, 2014). Starší literatura uvádí, že BC je dáno z cca 70 % genetickými faktory a zbylých 30 % jinými exogenními faktory, mezi které řadíme pohybovou aktivitu, výživové faktory a celkový zdravotní stav jedince (Fialová, 2007; Riegerová a kol., 2006).

V současnosti je BC založeno na biologii, medicíně a antropologii, která se zabývá především parametry lidského těla. Základním morfologickým parametrem pro posuzování dynamiky lidského těla a jeho pohybu je tělesná hmotnost. Vzhledem ke složitosti parametru je nutné zkoumat jeho složky (frakce) (Malá a kol., 2023). Frakcionaci hmotnosti těla můžeme rozumět ze dvou hledisek – podílem jednotlivých tkání na celkové hmotnosti těla a hodnocením hmotnosti jednotlivých tělesných segmentů jako článku kinematického řetězce (distribuce hmoty těla) (Riegerová a kol., 2006). Přičemž hmotnost jednotlivých tělesných segmentů je dána podílem složek svalových, tukových a kostních. Tyto složky jsou úzce zapojeny do regulace energetického metabolismu celého těla (Weber a kol., 2014).

### 3.2.1 Modely tělesného složení

Pro zjednodušení zkoumání BC je dle Riegerové a kol. (2006) původní náhled na segmenty tělesného složení určen chemickým či anatomickým modelem. Z hlediska chemického je tělo tvořeno z tuků, bílkovin, sacharidů, minerálů a vodou. Tento model je vztažen především k tělesným energetickým zásobám. Naopak ke studiu otázky tělesného složení je preferován model anatomický, kdy je tělo tvořeno tukovou tkání, svalstvem, kostmi, vnitřními orgány a ostatními tkáněmi (Riegerová a kol., 2006). Dvoukomponentové složení těla bude popsáno níže.



**Obrázek 1** Chemický, anatomický a dvoukomponentový model tělesného složení (upraveno podle Riegerové a kol., 2006)

Jiní autoři používali náhled lidského těla jako modelu složeného z atomů, molekul a tkání. Tvůrci tohoto náhledu jsou Wang a kol. (1992), kteří představují pětiúrovňový model tělesného složení, kde je rozlišeno pět úrovní: atomová, molekulární, buněčná, tkáňová a celotělová, přičemž jejich složitost má narůstající tendenci. Díky pětiúrovňovému modelu můžeme složení lidského těla vidět z úrovně jednotlivých komponentů, ale současně umožňuje i posouzení lidského těla jako celku (Weber a kol., 2014)

*Tabulka 1 Pětistupňový model tělesného složení člověka (upraveno podle Malá a kol., 2023)*

<b>Model</b>	<b>Princip</b>	<b>Metoda stanovení</b>	<b>Poznámky</b>
<b>Anatomický</b>	BC ze základních stavebních jednotek (atomů a prvků). Z 98 % prvky: C, H, N, O, P, Ca; z 2 % několik dalších desítek prvků	Neutronová aktivizační analýza	Výchozí bod pro následující modely
<b>Molekulární</b>	11 hlavních prvků: C, O, H, N, Ca, P, S, K, Na, Cl, Mg 5 hlavních sledovaných komponent: lipidy, voda, proteiny, minerály, glykogen	BIA DEXA	Lipidy a bílkoviny jsou klíčovými faktory, které odlišují zbylé složky oddělují od anorganické přírody
<b>Buněčný</b>	BC z tělesných buněk (BM), extracelulární tekutiny (ECT), extracelulárních pevných látek (ECPL), buněk tukové tkáně	izotopová diluční metoda, Neutronová aktivizační analýza	*
<b>Tkáňový</b>	9 hlavních systémů: muskuloskeletální, kožní, nervový, respirační, oběhový, zažívací, vyměšovací, reprodukční, endokrinní systém	Magnetická rezonance	**
<b>Celotělový</b>	týká se velikosti, výšky těla, tvaru a dalších vlastností	Metoda kaliperování, tělesné indexy	***

Poznámka: BIA = elektrická bioimpedance; DEXA = duální rentgenová absorpciometrie

### \* **Buněčný model**

U buněčného modelu jsou pro studium lidské fyziologie zdraví a nemoci klíčové kontrolované funkce a interakce mezi buňkami. Z tohoto důvodu je buněčná úroveň důležitá oblast výzkumu tělesného složení (Wang a kol., 1992).

Tělo dospělého člověka je tvořeno  $10^{18}$  buňkami, které se od sebe odlišují velikostí, tvarem, elementárním a molekulárním složením, funkcemi, metabolismem i distribucí. Na základě zmíněných rozdílů jsou definovány čtyři kategorie buněk: pojivové, epitelální, nervové a svalové (příčně pruhovaná, hladká a srdeční svalovina). Pojivové buňky zahrnují další tři skupiny: volné, husté a specializované buňky. Tukové buňky (adipocyty) jsou typem volných spojovacích buněk, ve kterých se ukládá tuk. Mezi specializované buňky spadají kostní buňky, osteoklasty, osteoblasty a krevní buňky (Riegerová a kol., 2006; Wang a kol., 1992).

ECT je tvořena z plazmy a intersticiální tekutiny. Z 94 % je tvořena vodou, zbytek pak organické a neorganické komponenty (Riegerová 2006).

ECPL jsou jak organické, tak i anorganické. Extracelulární organické pevné látky zahrnují tři typy vláken: kolagenní, retikulární a elastické. Základními složkami anorganických extracelulárních pevných látek jsou vápník, fosfor a kyslík, dalšími pak např. bikarbonáty, citráty, hořčík a sodík (Wang a kol., 1992).

Guppy a kol. (2012) uvádí, že extracelulární a plazmatickou tekutinu lze měřit pomocí izotopových dilučních metod nebo neutronovou aktivační analýzou (např. K nebo N). Dle Webra a kol. (2014) se extracelulární tekutina může měřit pomocí izotopových metod.

### \*\***Tkáňově-systémový model**

Při této úrovni jsou tři složky předešlé úrovně dále organizovány do tkání, tkáň následně vytvářejí orgány a ty se potom skládají do orgánových systémů. Tkáň se od sebe odlišuje svým vzhledem, funkcí a embryonálním původem. Na základě jejich rozlišností jsou rozdělovány na celkem čtyři kategorie: svalové, pojivové, epitelální a nervové tkáň (Guppy a kol., 2012). Nicméně Weber a kol. (2014) dodávají, že pro výzkum tělesného složení jsou zvláště důležité tři specifické tkáňe a to: kostní, svalová a tuková. Složení lidského těla je dále definováno devíti hlavními systémy viz. tabulka 1.

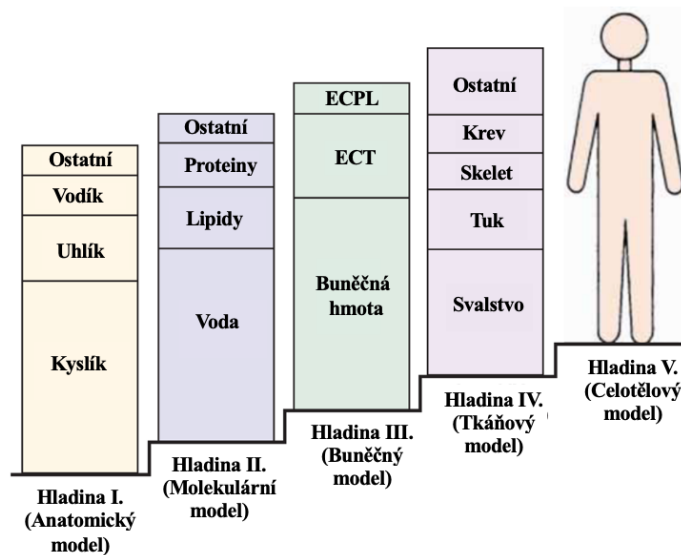
Úroveň tkáňového systému je komplexní a propojuje několik odvětví biologie člověka, včetně histologie a histochemie na úrovni tkáňe a anatomie a fyziologie na úrovni orgánů

a systému. Rovněž lékaři a odborníci na výživu směřují velkou část svého zájmu na složení těla na úrovni tkáňového modelu.

I skrze fakt, že k tomuto modelu existuje velké množství informací, drtivá většina z nich pochází ze studií na mrtvolách. K dispozici je pouze několik přímých metod *in vivo*, které lze použít k odhadu hlavních kompartmentů. Příkladem může být počítačová axiální tomografie, která dokáže stanovit objem podkožní a viscerální tukové tkáně. Z nepřímých metod jsou to metody na odhad hmoty kosterního svalstva z 24hodinového vylučování kreatininu močí či neutronová aktivační analýza (Malá a kol., 2023). Kuriyan (2018) uvádí, že pro vizualizaci tkání, orgánů nebo jednotlivých složek jako tukuprostá a tuková tkáň je vhodná také magnetická rezonance.

### \*\*\*Celotělový model (antropometrická měření)

Lidé i někteří primáti mají podobné složení těla na úrovni atomů, molekul, buněk a tkání. Avšak právě na úrovni celého těla se svými komplexními vlastnostmi lidé a primáti odlišují. Biologické, genetické i patologické procesy mají dopad nejen na první již zmíněné modely složení těla, ale také na lidský organismus jako celek (Wang a kol., 1992).



*Obrázek 2 Pětistupňový model tělesného složení člověka (upraveno podle Guppy a kol., 2012)*

Celotělový model lze stanovit naměřením hodnot, indexů a vzorců jako jsou tělesná výška, objem těla, tělesná hmotnost, délkové, šířkové a obvodové rozměry či obvodové rozměry kožní



řasy. Mimo již zmíněné parametry lze model popsat pomocí denzity těla, která vypovídá o množství zastoupené aktivní hmoty a depotním tukem (Riegerová a kol., 2006).

V klinické a antropologické praxi se dle Webra a kol. (2014) využívá převážně dvoukomponentový, tříkomponentový případně čtyřkomponentový model.

- ***Dvoukomponentový model*** – je nejpoužívanějším modelem, kdy dva základní komponenty jsou tvořeny tukem (fat mass, FM) a tukoprostou hmotou (fat-free mass, FFM) (Kuriyan, 2018).

V minulosti byl zaveden termín „lean body mass“ (aktivní tělesná hmota, ATH), dnes se používá především jako štíhlá tělesná hmota (LBM). LBM představuje tukoprostou hmotu s malým množstvím tzv. esenciálního tuku. Termín byl zaveden díky neschopnosti odlišit esenciální a neesenciální lipidy, v dnešní době je doporučováno užívat termín tukoprostá hmota, která je charakterizována podílem extrahovaného tuku z hmotnosti všech tkání.

- ***Tříkomponentový model*** – v tomto případě je hmotnost vyjádřena pomocí tělesného tuku, vody a sušiny (proteiny, minerály). Vhodnou metodou pro měření tohoto modelu je BIA (Malá a kol., 2023).
- ***Čtyřkomponentový model*** – specifikuje tělesnou hmotnost jako tuk, extracelulární tekutinu, buňky a minerály. Díky metodě DEXA lze tento model měřit (Malá a kol., 2023).

### 3.2.2 Tělesný tuk

Nejvariabilnější složkou lidského těla je tělesný tuk (BFM, body fat mass), který je během celého vývoje jedince hlavním faktorem inter- a intraindividuální variability tělesného složení. Je relativně snadno ovlivnitelný stravovacími návyky a pohybovou aktivitou (Riegerová, 2006). K vyhodnocení množství tělesného tuku vzhledem k celkovému tělesnému objemu slouží index tělesného tuku (BFMI), viz. tabulka 2 (Kapuš, 2023).

Mezi významné funkce tělesného tuku patří regulace tělesné teploty, ukládání vitamínů (A, D, E, K), ochraně kloubů a orgánů či jako zásobárna energie. Mimo jiné pracuje jako termoregulační a endokrinní orgán (např. produkce leptinu). Jeho množství se mění s věkem, ale tvoří v rozmezí 6 % až 60 % tělesné hmotnosti. Již v pěti letech lze zaznamenat 2 % rozdíl v zastoupení tukové frakce mezi pohlavím. Ve věku 9–20 let vzrůstá podíl tukové frakce u dívek z 20 % na 26 %. U chlapců naopak dochází ke vzrůstu tukuprosté hmoty, díky čemuž se tuková frakce snižuje ze 17 % na 13 %. S narůstajícím věkem u obou pohlaví tuková hmota narůstá (Vítek, 2008).

#### 3.2.2.1 Typy tělesného tuku

BFM lze vzhledem k buněčné struktuře, lokalizaci, barvě, vaskularizaci a funkci dělit na bílou, hnědou, béžovou a růžovou tukovou tkáň (MUNI MED, 2020).

Bílá tuková tkáň, neboli podkožní tuk, je zdrojem energie s termoregulační funkcí a žlutým zabarvením. Adipocyty tohoto druhu tukové tkáně jsou schopné měnit svůj průměr dvacetkrát, objem až tisíckrát (Petruš, 2015). Specifickým typem bílé tukové tkáně je viscerální tuk, který obaluje vnitřní orgány v břišní dutině jako např. játra, střeva, srdce apod. Od bílé tukové tkáně se liší především svou funkcí, kdy viscerální tuk slouží především jako zásobní zdroj energie a izolace. Hodnota VFAT se měří na stupnici v rozmezí 1–59, přičemž hodnota 1 symbolizuje nejlepší stav, hodnota 59 ten nejhorší/nejméně zdravý stav. V rozmezí hodnot 1–12 je množství VFAT normální, charakteristické pro zdravého jedince. Od 13. hodnoty se množství VFAT zvyšuje a nese s sebou zvýšené riziko zdravotních problémů (Hubík, 2018). VFAT je např. spojován s vyšším rizikem vzniku metabolických onemocnění jako jsou kardiovaskulární potíže, diabetes 2. typu, patologické stavy související s obezitou apod. Jeho akumulace vzniká především díky nezdravému způsobu života a genetických faktorů.

Hnědá tuková tkáň s více než 5 % je signifikantní zejména pro mladší jedince, novorozence, u dospělých osob je značně redukována (okolo 1,8 %) a částečně se transformuje v bílou tukovou tkáň. Funguje především jako termoregulátor a k termogenezi (Petrů, 2015). MUNI MED (2020) jako další funkci uvádí schopnost spalování glukózy a mastných kyselin. Hnědá barva je dána bohatým prokrvením tkáně a vyšší koncentraci mitochondrií (Petrů, 2015).

Běžová tuková tkáň připomíná kombinaci bílé a hnědé tukové tkáně. Běžové adipocyty se nacházejí v bílé tukové tkáni, nicméně vzhled a funkce má podobné jako hnědá tuková tkáň. Původ běžové tukové tkáně je dodnes kontroverzní, jedna z teorií popisuje vznik z bílých adipocytů transdiferenciací, při které se bílé adipocyty mění na běžové adipocyty. Jiné teorie popisují vznik běžové tukové tkáně z jiné populace buněk než je bílá a hnědá tuková tkáň (MUNI MED, 2020).

Růžová tuková tkáň je tvořená alveolárními epiteliálními buňkami mléčné žlázy. Vzniká s největší pravděpodobností transdiferenciací bílých adipocytů. Hlavní funkcí je produkce a vylučování mléka, což bylo dokázáno u myši během gravidity a laktace. Mezi vylučované látky patří také leptin, který pravděpodobně slouží k prevenci před obezitou u mláďat (MUNI MED, 2020).

Výzkumy soustředěné na lidskou tukovou tkáň se většinou zaměřují na bílé a hnědé tukové buňky.

### **3.2.2.2 Obezita**

V posledních letech dochází k celosvětovému výraznému nárůstu nadváhy a obezity skrze všechny věkové kategorie. V letech 2002 a 2018 prováděl Sigmund a kol. (2019) studii na českých adolescentech, kdy byl pozorován nárůst prevalence obezity. Nejvýraznější nárůst o 7,5 % zaznamenali u chlapců (ze 4,5 % v roce 2002 na 12,0 % v roce 2018). U dívek byl nárůst méně výrazný, pouze o 2,4 % (ze 2,7 % v roce 2002 na 5,1 % v roce 2018) (Sigmund a kol., 2019).

Samotný pojem obezita WHO charakterizuje jako multifaktoriální onemocnění definované nadměrnou adipozitou, která představuje riziko pro zdraví. V současnosti je jednou z významných příčin invalidity a úmrtí jak v celosvětovém, tak i evropském regionu, kde dosahuje nadváha s obezitou epidemických rozměrů. Téměř 60 % dospělé populace trpí nadváhou či obezitou, ale problémy sužují také dospívající, kdy se u dětí mladších 5 let hodnoty pohybují okolo 8 %, u dětí školního věku žije se zvýšenou adipozitou každé třetí dítě. Prevalence ve věku 10–19 let dočasně klesá, v této věkové kategorii trpí nadváhou či obezitou každý čtvrtý jedinec. V rámci

evropského regionu není žádný členský stát na cestě k dosažení cíle zastavit nárůst obezity do roku 2025 (WHO, 2022). Světová zdravotnická organizace považuje obezitu za jednu z největších výzev pro veřejné zdravotnictví 21. století.

Mimo ekonomicky vysoké nároky na financování zdravotnictví pro boj s obezitou, zhoršuje tento fenomén kvalitu života i samotných jedinců (Pertold a kol. 2018). Z fyziologických potíží a dysfunkcí to jsou problémy se skeletálním, cévním, kardiovaskulárním a respiračním systémem, problémy pohlavního vývoje či jiných kožních změn. Často opomíjené, ale neméně důležité, jsou problémy psychické, které vyplývají na základě starších ale i novodobějších výzkumů. Mezi nejčastější psychické problémy patří deprese, negativní hodnocení vlastních tělesných rozměrů, narušený vztah k jídlu ale i mentální výkonnost spojená se zhoršeným školním prospěchem (Pařízková, 2007).

Pro stanovení obezity, respektive tělesného tuku, je používána relativní tělesná hmotnost, vyjádřena indexem BMI, což je jeden z nejznámějších a nejpoužívanějších tělesných indexů. Je vyjádřen podílem hmotnosti v kilogramech k druhé mocnině výšky jedince v metrech ( $\text{kg}/\text{m}^2$ ). Hodnoty BMI jsou v dospělosti nezávislé na věku a rozmezí uvedená v tabulce 2 platí pro muže i ženy (Vítek, 2008), přičemž hraniční hodnota BMI  $30 \text{ kg}/\text{m}^2$  (Haluzík a kol., 2023).

*Tabulka 2 Klasifikace body mass indexu (BMI) u chlapců a dívek (upraveno podle Weir a Jan, 2022)*

Kategorie	BMI ( $\text{kg}/\text{m}^2$ )
Podváha	<18,5
Norma	18,5–24,9
Nadváha	25,0–29,9
Obezita I. stupně	30,0–34,9
Obezita II. stupně	35,0–39,9
Obezita III. stupně	>40,0

*Poznámka: kategorie BMI (body mass indexu) dle NIH a WHO*

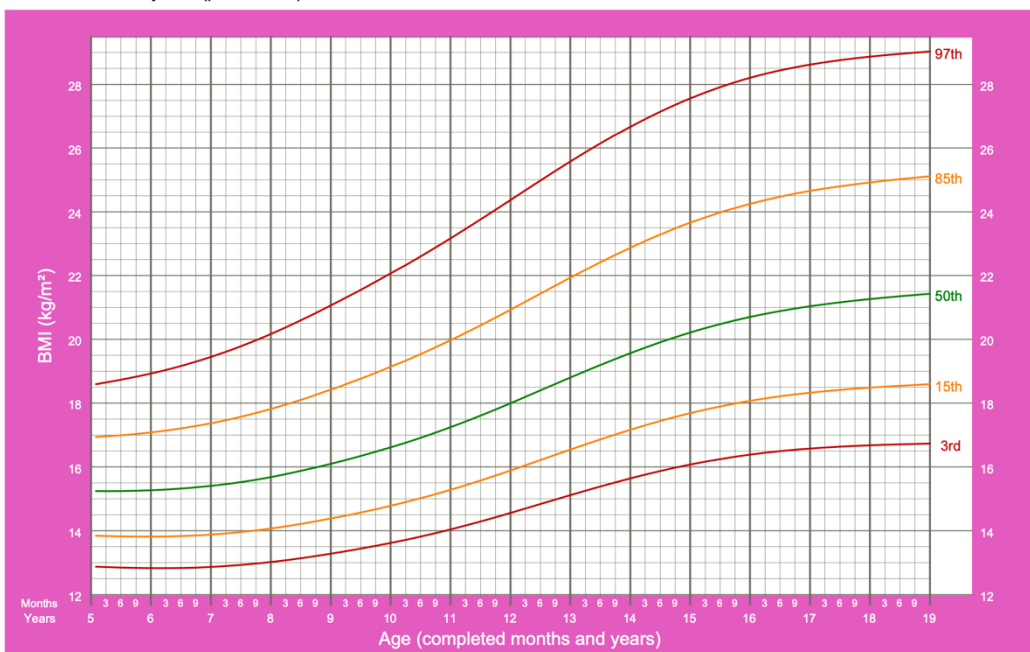
Aby byl BMI smysluplný i pro děti a dospívající, musí být porovnán s referenčním standardem, který zohledňuje věk a pohlaví (Lukaski, 2017). Z tohoto důvodu se u dětí a dospívajících používají k posouzení tělesné hmotnosti percentilové grafy, dívky (obrázek 3) a chlapci (obrázek 4). Díky percentilovým grafům lze z výsledného percentilu adolescenta vyvodit,

zda-li se jedná o podváhu, normální hmotnost, nadváhu či obezitu. V případě, že percentil nabývá nižších hodnot než 15, trpí adolescent podváhou, v rozmezí hodnot 15–85 se jedná o normální tělesnou hmotnost, přičemž percentil 50 je považován za ideální hodnotu. Pokud má percentil hodnotu nad 85, jedná se o nadváhu, obezita je dána hodnotami nad 97 (WHO, 2007). Měření je doporučováno provádět alespoň jednou ročně, jediný výpočet BMI pro věk nestačí k posouzení dlouhodobého stavu hmotnosti, protože výška a váha dětí vykazuje dynamičtější ráz v průběhu růstu než u dospělých osob (CDC, 2022).

Nicméně BMI nedokáže rozlišit, zdali je zvýšená tělesná hmotnost zapříčiněná tukovou, tukuprostou tkání či kostmi a v konečném důsledku pak může dojít k chybné klasifikaci. Právě přebytek tukové hmoty vede k nadváze a obezitě, proto se doporučuje vyhodnotit celkovou hmotnost tukové hmoty pomocí metody BIA. Pro určení prevalence nadváhy a obezity se doporučuje hodnotit nejen BMI, ale také i procento tukové hmoty (G. F. López-Sánchez a kol., 2019).

## BMI-for-age GIRLS

5 to 19 years (percentiles)

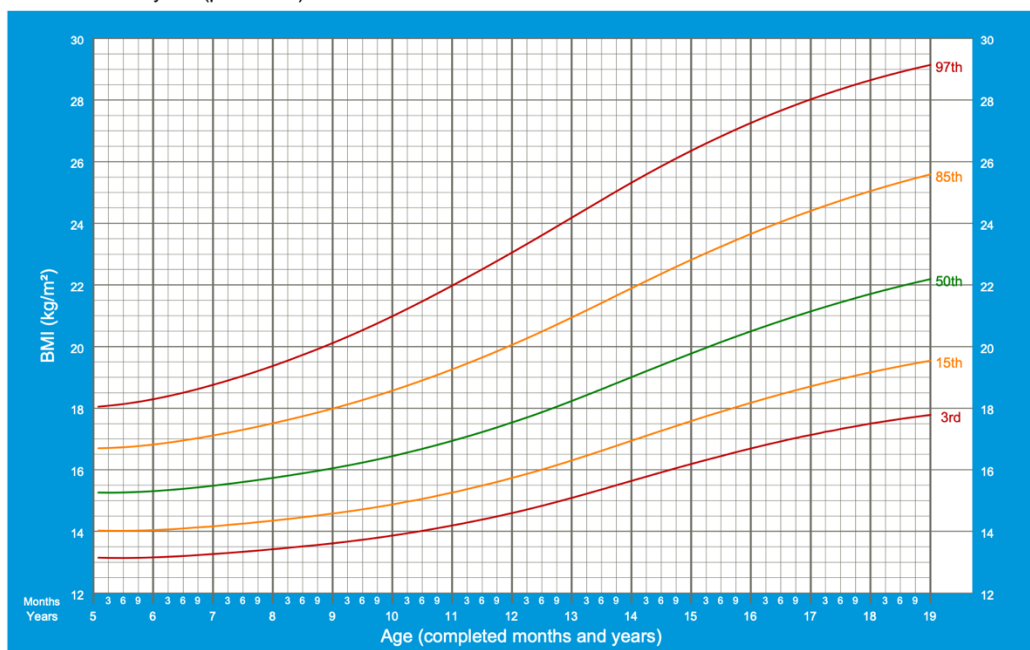


2007 WHO Reference

Obrázek 3 Percentilový graf pro dívky ve věku 5–19 let (zdroj: WHO, 2007)

## BMI-for-age BOYS

5 to 19 years (percentiles)



2007 WHO Reference

Obrázek 4 Percentilový graf pro chlapce ve věku 5–19 let (zdroj: WHO, 2007)

### 3.2.3 Tukuprostá hmota a štíhlá tělesná hmota

Tukuprostá hmota (FFM, fat-free mass) je heterogenní, metabolicky aktivní tkání lidského těla. Na tkáňové úrovni tvořena kostrou, všemi typy svalstva, orgány, pojivovými tkáněmi. V závislosti na věku, pohybové aktivitě, exo- i endogenními faktory se vzájemný poměr složek mění. FFM je tvořena z 60 % svalstvem, z 25 % opěrnou a pojivovou tkání a z 15 % hmotností vnitřních orgánů. Pokud dojde k poklesu FFM pod 40 % tělesné hmotnosti, má to pro jedince často letální dopad (Cinařová, 2012). K posouzení množství tukuprosté hmoty k celkové tělesné hmotnosti osoby slouží index tukuprosté hmoty (FFMI) viz. tabulka 3 (Kapuš, 2023). Tatáž tabulka popisuje také index tukové hmoty (BFMI).

Sexuální rozdíly jsou patrné již ve 13. roce, kdy u chlapců na rozdíl od dívek dochází k většímu rozvoji kostní a svalové hmoty. U žen je nejvyšší zastoupení FFM ve věku 40–49 let, po období menopauzy dochází k jejímu postupnému poklesu.

V případě, že z FFM odstraníme celkový kostní minerál, získáme štíhlou tělesnou hmotu (LBM, lean body mass) (Kapuš, 2023).

**Tabulka 3** Klasifikace BFMI a FFMI v závislosti na BMI u mužů a žen (upraveno podle Kyle a kol., 2004)

BMI ( $\text{kg}/\text{m}^2$ )		BFMI ( $\text{kg}/\text{m}^2$ )	FFMI ( $\text{kg}/\text{m}^2$ )
<b>Muži</b>			
<18,5	Nízké	$\leq 1,7$	$\leq 16,6$
18,5–24,9	Normální	1,8–5,1	16,7–19,7
25,0–29,9	Vysoké	5,2–8,2	19,8–21,6
$\geq 30,0$	Velmi vysoké	$\geq 8,3$	$\geq 21,7$
<b>Ženy</b>			
<18,5	Nízké	$\leq 3,8$	$\leq 14,5$
18,5–24,9	Normální	3,9–8,1	14,6–16,7
25,0–29,9	Vysoké	8,2–11,7	16,8–18,1
$\geq 30,0$	Velmi vysoké	$\geq 11,8$	$\geq 18,2$

*poznámka: body mass index (BMI), index tělesného tuku (BFMI), index tukuprosté hmoty (FFMI)*

### 3.2.4 Celková tělesná voda

Základní a zároveň nejvýznamnější složkou živého organismu je tělesná voda (TBW, total body water). Její množství závisí na věku (s rostoucím věkem se snižuje), pohlaví a tělesné hmotnosti. Hodnoty průměrného množství tělesné vody se nacházejí v tabulce níže (tabulka 4). Největší rozdílnost lze pozorovat u dospělého muže či ženy, kde se rozdíl pohybuje okolo 10 % (Rokyta, 2000). Riegerová a kol. (2006) doplňuje, že k sexuální diferenciaci dochází v období postpuberty, kdy se u chlapců hydratace zvyšuje, u dívek snižuje.

*Tabulka 4 Průměrné množství celkové tělesné vody v závislosti na věku (a pohlaví) (upraveno podle Rokyty, 2000)*

<b>Věková kategorie</b>	<b>Procento tělesné hmotnosti tvořené vodou</b>
<b>Kojenec</b>	80–85
<b>Dítě</b>	75
<b>Dospělý muž (žena)</b>	63 (53)

Role vody v organismu má nezastupitelnou roli, jelikož funguje jako transportní prostředí pro živiny, elektrolyty, hormony, krevní plyny, odpadní látky, teplo a elektrické proudy. Rovněž vytváří prostředí pro chemické reakce probíhající v organismu a slouží jako rozpouštědlo. Mimo to zvlhčuje a chrání sliznice a udržuje pružnost a odolnost kůže (Rokyta, 2000).

Rokyta (2000) rozděluje vodu do dvou hlavních prostorů – intracelulárního a extracelulárního. Intracelulární (nitrobuněčná, ICW) tekutina tvoří až 40 % tělesné hmotnosti u muže, 32 % u ženy. Extracelulární (mimobuněčná, ECW) tekutina tvoří 20 % celkové tělesné hmotnosti u mužů, u žen pak 21 %. Zvláštním typem extracelulární tekutiny je transcelulární tekutina. Je charakteristická svými speciálními funkcemi. Patří k ní mozkomíšní mok, nitrooční, pleurální, peritoneální, perikardiální a nitrokloubní tekutina spolu se sekrety trávicích žláz.



### 3.3 Metody odhadu tělesného složení

Charakteristika stavby lidských těl začíná přibližně v roce 400 př. n. l. Hippokratem, který teoretizoval o zdraví jako o rovnováze čtyř tělesných tekutin. Složky byly dány prostředím (země, voda, oheň a vzduch). Od poloviny 19. století se začínají objevovat další přispěvatelé zabývající se touto problematikou, vznikají nové postupy metod, modely a aplikace v různých oblastech výzkumů včetně antropologie, medicíny a aplikaci hodnocení tělesného složení při cvičení a práci. Zcela prvním produktem výzkumu tělesného složení byla charakterizace tělesného tuku podle sportu a pohlaví. Zprávy uváděly, že rozsahy a průměry hodnot jsou specifické pro jednotlivé pohlaví (Lukaski, 2017).

Již od minulosti existuje nepřehledné množství metod, což zapříčiňuje pestrou paletu výsledků. Obecně se liší přístrojovou a personální náročností, ale i přesností stanovení sledovaných dat (Bunc, 2007). Riegerová a kol. (2006) dělí metody na uskutečňující se v laboratoři (referenční metody) nebo v terénu. V rámci laboratorního prostředí jsou nejčastěji používané metody DEXA či hydrostatické vážení, případně i hydrometrie a měření celkového tělesného draslíku. Mezi terénní metody patří antropometrie a metoda bioelektrické impedance BIA.

#### 3.3.1 Antropometrie

Antropometrická metoda je velmi často používaná pro odhadování tělesného složení na základě antropometrických rozměrů. Vychází z kosterních rozměrů obvodových měř a nejčastěji z tloušťky kožních řas měřených různými typy kaliperů pro stanovení dvou komponentů: tukové a tukuprosté hmoty (Guppy a kol., 2012). Nevýhodou správného kaliperování je potřeba zdlouhavého a náročného zaučení.

Pro odhad podílu tuku na základě tloušťky kožních řas (podkožního tuku) by měly platit dva předpoklady. Prvním předpokladem je stejný poměr tloušťky podkožní tukové tkáně k celkovému množství tuku v těle. Druhý je takový, že místa, na kterých se tloušťka kožních řas měří, reprezentují průměrnou tloušťku podkožní tukové vrstvy.

Správnost měření závisí hned na několika faktorech jako je samotný výběr kaliperu, výběr a počet měřených kožních řas, volba regresní rovnice, kterých je velké množství, ale také vlastní měření vyžadující pečlivý zácvik (Pařízková, 1962).

### 3.3.2 Biofyzikální a biochemické metody

Cílem těchto metod byla eliminace technických chyb, kterých se dopouštěla již zmíněná kaliperace. Nicméně v základu jsou metody postavené na podobném principu. Nevýhodou je finanční náročnost (Riegerová a kol., 2006)

Mezi tyto metody spadá:

**Radiografie** – údajně jedna z nejpřesnějších technik. Při radiografii je možné proměření průřezu svalstva a kosti v místě provedeného snímku. Vzhledem k rentgenovým ozářením není doporučeno používat radiografii často (Riegerová a kol., 2006).

**DEXA (duální rentgenová absorpciometrie)** – funguje na principu měření diferenciálních ztenčení dvou rtg paprsků, která procházejí organismem. Metoda je jednou z nejnovějších široce používaných technologií. Využití má také v rámci profesionálního sportovního prostředí (Malá a kol., 2023). DEXA je schopná rozlišit kostní minerály od měkkých tkání, které rozděluje na tuk a tukuprostou hmotu (čtyřkomponentový model těla). Diagnostika probíhá v leže na snímací ploše 60 \* 190 cm, což zabraňuje měření obézních lidí či lidí s vysokou tělesnou výškou.

**BIA (bioelektrická impedance)** – v dnešní době velmi používanou metodou. Oblíbená je především pro svou bezpečnost, technickou jednoduchost, dostupnost, neinvazivitu, možnost použití v terénu a také mnohem menšími finančními náklady oproti výše zmíněné DEXA. Zároveň je její použití pro účastníky měření nenáročné (Malá a kol. 2023).

Pracuje na principu šíření elektrického proud velmi nízké intenzity lidským tělem, který prochází mezi dvěma elektrodami – dvě na ruku a dvě na nohu (Malá a kol., 2023). Vyhodnocení se provádí v posouzení rozdílů šíření elektrického proudu v různých tělesných frakcích, respektive na principu odlišných hodnot odporu tkání (Petrů, 2015). Elektrická vodivost v lidském těle souvisí s distribucí vody a elektrolytu. Čím vyšší je podíl vody a elektrolytů ve tkání, tím lépe vede elektrický proud. Tukuprostá hmota typicky obsahuje okolo 73 % vody, proud vede snadno a je vodičem. Naopak v tukové tkáni a kostech vzniká odpor a chovají se jako izolátor, vykazuje tedy vyšší hodnoty impedance oproti tukuprosté hmotě (Lukaski 2017).

Bioelektrická impedance pracuje buď s jednou nebo více frekvencemi:

*Jednofrekvenční BIA* – neboli monofrekvenční používá nízkou frekvenci 50 kHz, při které není schopna dokonale procházet přes buněčné membrány, a tak prochází pouze extracelulární tekutinou. Intracelulární tekutinu nedokáže přesně stanovit (Lukaski, 2017; Cinařová 2012; Bunc 2007).

*Vícefrekvenční BIA* – neboli multifrekvenční metoda využívá na rozdíl od monofrekvenční BIA střídavé proudy v různých kombinacích tří až pěti frekvencí. Typicky je zahrnuta alespoň jedna nízká o frekvenci <5 kHz, několik středních úrovní s 50, 100, 200 kHz a jeden nebo více vysokých frekvencí 500 kHz až 1 MHz. Zvládne přesně stanovit jak extracelulární, tak intracelulární vodu v těle (Lukaski, 2017).

Mezi jiné používané metody patří např. relativně nová metoda CT skenu (computer tomography), ultrazvuk, infračervenou interakci, magnetickou rezonanci, denzitometrii, hydrometrii, hydrostatické vážení a další (Guppy a kol., 2012).

## 4 Metodika Práce

### 4.1 Charakteristika souboru

Měření a hodnocení tělesné složení bylo realizováno u 1 244 studentů (ve věku 15–19 let) Střední průmyslové školy strojnické v letech 2019, 2020, 2022 a 2023. Rok 2021 byl vynechán z důvodu pandemie Covid-19. Celkově bylo změřeno 1 171 chlapců a 73 dívek. Měření probíhalo vždy v měsících leden a únor daného roku v prostorách školy za standardizovaných podmínek (viz níže) pomocí přístroje Tanita MC-980 MA Plus. Naměřené údaje byly součástí projektu IGA\_PrF\_2019\_024 a IGA\_PrF\_2020\_026. Průměrný věk skupiny chlapců v letech 2019-2023 byl 17,02 let, u dívek za stejné období 16,9 let. Práce se řadí mezi kvantitativní studie s neexperimentální analýzou dat v rámci průřezového nerandomizovaného šetření.



*Obrázek 5 Tanita MC-980 MA Plus (zdroj: <https://www.tanita-eshop.cz/tanita-mc-980-ma-plus>)*

#### 4.1.1 Standardizované podmínky

Aby měření bylo úspěšné je nutné dodržovat standardizované podmínky měření. K měření by docházelo při pokojové teplotě (20–25 °C) a normální vlhkosti vzduchu. Respondent/ka byl oblečen pouze do spodního prádla nebo do lehkého oděvu bez kovových či jiných přebytečných předmětů. Dolní končetiny se nedotýkají, horní končetiny jsou lehce vzdáleny od trupu.

Pacient by se měl před vyšetřením vyvarovat dlouhodobější fyzické aktivitě a před samotným měřením by měl být v klidu nejméně 5 minut. Také měření není vhodné ihned po sprchování či pokud má žena menstruaci.

Měření je nejpřesnější ráno po nočním lačnění, s vyprázdněným močových měchýřem. V našem případě žák by neměl pozřít hlavní jídlo alespoň 2 hodiny před vyšetřením. Co se týče alkoholu, je doporučeno 8-12 hodin před měřením alkohol zcela vynechat.

Pro úspěšnost opakovaného měření je doporučeno provádět vyšetření ve stejnou denní dobu, ideálně ráno, při zachování stejných podmínek.

Pro osoby s kardiostimulátorem, atrofií, amputacemi a dalšími somatickými patologiemi je měření nevhodné a měření se neúčastní (Špinlerová, 2016).

#### **4.3 Měření tělesného složení**

Pro realizaci měření byl použit přístroj Tanita MC-980 MA Plus, který pracuje na principu segmentální a multifrekvenční bioelektrické impedance, kdy využívá až 6 frekvenčních pásem. V rámci segmentů měří trup, levou a pravou horní končetinu, levou a pravou dolní končetinu.

Samotné měření na přístroji probíhá po dobu 30 s, proband stojí nehybně a naboso bez ponožek, v ruce drží madla přístroje v připázení povýš. Po každém měření byl přístroj vydezinfikován dezinfekčními ubrousky. Před samotným měřením bylo všem studentům standardně zadáno -0,5 kg hmotnosti z důvodu lehkého oděvu.

Každý student byl veden v databázi programu GMON Pro pod vlastním ID. V rámci měření poskytl jméno, příjmení a datum narození.

Tělem měřeného prochází velmi slabý elektrický proud (90  $\mu$ A) o šesti různých frekvencích (1, 5, 50, 250, 500, 1 000 kHz). Nižší frekvence neprochází skrze buněčnou membránu a měří tak extracelulární prostor a vodu, vyšší frekvence prochází buněčnou membránou a vyhodnocují intracelulární prostor a vodu uvnitř buněk.

U všech studentů byl vybírán informovaný souhlas (IS) s podrobnými informacemi o měření viz. příloha 10.4 (*Informovaný souhlas*). U studentů, kteří nedovršili 18 let byl IS podepisován rodiči, v opačném případě mohli IS podepsat sami plnoletí žáci. Součástí měření bylo i měření tělesné výšky naboso pomocí antropometru A-226 a vyškoleným personálem. V příloze 10.5 (*Příklad numerického výstupu z měření pomocí BIA, 2023*) se nachází příklad numerického výstupu měření pomocí BIA multifrekvenčního analyzátoru Tanita na Univerzitě Palackého v Olomouci roku 2023.

#### 4.4 Statistická analýza

Získaná data byla statisticky analyzována a zpracována prostřednictvím softwaru Statistica 14.0 (TIBCO Software, 2022). Popisná statistika výsledných měření je uvedena jako průměr a standardní odchylka SD (popřípadě minimum a maximum). Normalita rozložení dat byla hodnocena Shapiro-Wilksův W testem. Vzhledem ke splnění požadavku normálního rozdělení dat, byly difference mezi jednotlivými subsoubory hodnoceny pomocí jednofaktorové analýzy variance (ANOVA), pro vícenásobné porovnání byl použit Fisherův LSD post-hoc test. Statistická významnost byla sledována na hladině  $p < 0,05$ , popřípadě  $p < 0,01$ .

## 5 Výsledky práce

U souboru ( $n = 1\,244$ ) žáků byly naměřeny a stanoveny zvolené tělesné parametry vztahující se k tělesnému složení. Výsledné hodnoty byly analyzovány v Statistice 14.0 (TIBCO Software, 2022), která stanovila základní statistické údaje: aritmetický průměr, směrodatnou odchylku (SD), maximální (MAX) a minimální hodnoty.

Základní charakteristika vybraných tělesných komponent jsou uvedeny v tabulce 5, 6 a 7, kdy v tabulce 5 je detailněji popsán věk, tělesná výška, tělesná hmotnost a BMI. Následně v tabulce 6 se nachází analýza tělesného tuku (BFM), tukuprosté hmoty (FFM) v kg i %. Hodnoty pro štíhlou tělesnou hmotu v kg, viscerální tukovou hmotu a celkovou tělesnou vodu v l i % jsou zapsány v tabulce 7.

*Tabulka 5 Základní charakteristika + BMI (body mass index) měřených chlapců i dívek měřených v letech 2019–2023*

	2019–2023 chlapci n = 1 171				2019–2023 dívký n = 73			
	průměr	SD	min	max	průměr	SD	min	max
<b>Věk (roky)</b>	17,02	1,30	15,00	19,00	16,90	1,36	15,00	19,00
<b>Tělesná výška (cm)</b>	179,89	6,37	155,50	200,0	166,17	6,64	155,50	181,70
<b>Tělesná hmotnost (kg)</b>	73,06	13,56	37,60	194,5	61,24	10,41	37,60	90,60
<b>BMI (kg/m<sup>2</sup>)</b>	22,54	3,86	14,90	58,70	22,18	3,61	15,40	32,10

*poznámka: BMI – body mass index, SD – směrodatná odchylka*

V tabulce 5 lze vyčíst průměrný věk měřených chlapců, který činil  $17,02 \pm 1,30$  let; průměrný věk dívek byl  $16,90 \pm 1,36$ . Tělesná výška u chlapců dosahovala v průměru  $179,89 \pm 6,37$  cm; u dívek  $166,17 \pm 6,64$  cm. V rámci tělesné hmotnosti lze pozorovat markantní rozdíl u chlapců, kde nejnižší hodnota dosahovala pouhých 37,6 kg, nejvyšší pak 194,5 kg. Blíže se těmto výrazným odchylkám věnuje následující podkapitola. V rámci tělesného indexu BMI se u chlapců vyskytovala téměř celá škála kategorií počínaje hodnotou 14,9 kg/m<sup>2</sup>

naznačující podváhu až po hodnotu 58,7 kg/m<sup>2</sup>, která je význačná pro obezitu III. stupně. U dívek se hodnoty promítaly do kategorií od podváhy (15,40 kg/m<sup>2</sup>) po obezitu I. stupně (32,10 kg/m<sup>2</sup>).

**Tabulka 6** Tělesný tuk (BFM) a tukuprostá hmota (FFM) měřených chlapců i dívek měřených v letech 2019–2023

	2019–2023 chlapci n = 1 171				2019–2023 dívkyně n = 73			
	průměr	SD	min	max	průměr	SD	min	max
<b>BFM (kg)</b>	13,27	7,07	3,60	58,60	17,31	6,37	7,30	37,30
<b>BFM (%)</b>	17,38	5,44	1,80	114,00	27,54	5,58	15,80	42,00
<b>BFMI (kg/m<sup>2</sup>)</b>	4,09	2,16	0,61	34,40	6,28	2,33	2,89	13,22
<b>FFM (kg)</b>	59,79	7,95	30,30	84,00	43,92	5,09	30,30	56,70
<b>FFM (%)</b>	82,62	5,44	41,39	96,36	72,46	5,58	58,04	84,21
<b>FFMI (kg/m<sup>2</sup>)</b>	18,45	2,06	12,37	25,83	15,90	1,58	12,37	20,83

poznámka: BFM – tělesný tuk, FFM – tukuprostá hmota, BFMI – index tělesného tuku, FFMI – index tukuprosté hmoty, SD – směrodatná odchylka

U nejvíce sledovaného parametru tělesného složení tělesného tuku (tabulka 6), jsme pomocí přístroje, stanovili průměrnou hodnotu 13,27±7,07 kg (tj. 17,38 % tělesné hmotnosti). Tato komponenta složení těla dosahovala u dívek fyziologicky vyšších hodnot: 17,31±6,37 kg (tj. 27,54 % tělesné hmotnosti). Tukuprostá hmota zaujímal v tělesném složení fyziologicky větší podíl: 59,79±7,95 kg, tj. 82,62 % u chlapců a 43,92±5,09 kg (72,46 %) u dívek. Indexy tělesného tuku (BFMI) a tukuprosté hmoty (FFMI) se nacházejí dle Kyle a kol. (2004) v doporučených hodnotách.

Tabulka 7 popisuje štíhlou tělesnou hmotu u chlapců, která dosahovala v průměru 56,80±7,58 kg, u dívek pak 41,69±4,84 kg. LBM se od FFM liší obsahem kostních minerálů, které se započítávají do FFM a rozdíl činí v průměru 2,99 kg. Viscerální tuk přístroj vyhodnocuje u osob starších 18 let díky rozvoji těla, kdy do 18. roku může být stanovení VFAT zkresleno kvůli změnám na těle během puberty a růstu. Také zdravotní rizika spojená s VFAT se obvykle projevují až v pozdějším věku, zejména u dospělých (Kapuš, 2023). Posledním sledovaným parametrem byla celková tělesná voda, která u chlapců dosahovala hodnot 43,77±5,68 l (60,53 %), u dívek



32,10±3,65 l (52,96 %), což je v rozmezí dle Rokyty (2000) považováno za ideální množství celkové tělesné vody dospělých osob.

**Tabulka 7** Štíhlá tělesná hmota (LBM), viscerální tuk (VFAT) a celková tělesná voda (TBW) měřených chlapců i dívek měřených v letech 2019–2023

	2019–2023 chlapci n = 1 171				2019–2023 dívký n = 73			
	průměr	SD	min	max	průměr	SD	min	max
<b>LBM (kg)</b>	56,80	7,58	28,70	79,90	41,69	4,84	28,70	53,80
<b>VFAT*</b>	2,70	2,35	1,00	14,00	1,87	1,59	1,00	6,00
<b>TBW (l)</b>	43,77	5,68	22,20	61,20	32,10	3,65	22,20	41,50
<b>TBW (%)</b>	60,53	4,29	30,28	73,94	52,96	4,10	42,52	60,84

poznámka: LBM – štíhlá tělesná hmota, VFAT – viscerální tuk, TBW – celková tělesná voda, SD – směrodatná odchylka

\*přístroj vyhodnocuje u jedinců starších 18 let → (chlapci n = 451; dívky n = 30)

## 5.1 Naměřené abnormality

Výrazné abnormality naměřených hodnot se týkají tělesné hmotnosti chlapců (tabulka 5) s maximální hodnotou 194,5 kg a minimální hodnotou 37,6 kg. Obě hodnoty jsou extrémního rázu, kdy osoba se 194,5 kg trpí obezitou III. stupně, naopak chlapec se 37,6 kg podváhou.

Podváha a je dle Světové zdravotnické organizace definována jako nedostatek příjmu živin s nízkou hmotností v poměru k výšce. Dlouhodobě vede k výraznému úbytku tělesné hmotnosti a je spojená s vyšším rizikem úmrtí. Častou příčinou může být chudoba, špatné zdraví, výživa a péče matek či častými nemocemi (WHO, 2023). V tomto případě byl malý vzrůst chlapce způsobený nedostatkem růstového hormonu.

Obezita je blíže popsána již v kapitole 3.2.2.2 Obezita.

## 5.2 Hodnoty segmentální analýzy tukové a tukuprosté hmoty

Z tabulky 8 lze vyčíst základní hodnoty segmentální analýzy tělesného tuku. U chlapců bylo množství tělesného tuku v oblasti trupu 6,65±3,86 kg u dívek 7,73±3,31 kg. Z pohledu laterality je rozložení tuku u obou pohlaví proporcionální, jelikož se největší množství tukové hmoty nachází v trupu, následně v dolních končetinách a nejmenší množství v horních končetinách.

**Tabulka 8** Hodnoty segmentální analýzy tukové hmoty měřených chlapců i dívek měřených v letech 2019–2023

	2019–2023 chlapci n = 1 171				2019–2023 dívký n = 73			
	průměr	SD	min	max	průměr	SD	min	max
<b>BFM LA</b>	0,88	0,51	0,20	12,90	1,12	0,50	0,40	3,10
<b>BFM RA</b>	0,80	0,40	0,20	9,4	0,94	0,37	0,30	2,10
<b>BFM Trunk</b>	6,65	3,86	0,80	43,10	7,73	3,31	2,20	18,10
<b>BFM LL</b>	2,47	1,37	0,30	22,50	3,71	1,13	1,70	7,10
<b>BFM RL</b>	2,46	1,43	0,30	26,10	3,82	1,15	1,80	7,10

poznámka: BFM – tělesný tuk, FFM – tukuprostá hmota, LA – levá paže (left arm), RA – pravá paže (right arm), Trunk – trup, LL – levá dolní končetina (left leg), RL – pravá dolní končetina (right leg), SD – směrodatná odchylka

Množství tukuprosté hmoty charakterizuje tabulka 9, u chlapců v rámci horních končetin nebyl zaznamenán téměř žádný rozdíl, pouze v maximální hodnotě, kdy v levé paži bylo FFM 5,60 kg a v pravé paži 5,40 kg. U dívek lze pozorovat větší rozdíly, a to jak v oblasti horních, tak dolních končetin. Množství tukuprosté hmoty zastoupené v trupu je u chlapců v průměru  $32,47 \pm 3,86$  kg, u dívek bylo průměrné množství  $25,68 \pm 2,65$  kg.

**Tabulka 9** Hodnoty segmentální analýzy tukuprosté hmoty měřených chlapců i dívek měřených v letech 2019–2023

	2019–2023 chlapci n = 1 171				2019–2023 dívký n = 73			
	průměr	SD	min	max	průměr	SD	min	max
<b>FFM LA</b>	3,18	0,60	1,60	5,60	1,91	0,30	1,20	2,60
<b>FFM RA</b>	3,18	0,60	1,60	5,40	1,87	0,29	1,10	2,50
<b>FFM Trunk</b>	32,47	3,86	20,80	43,50	25,68	2,65	18,10	31,70
<b>FFM LL</b>	10,31	1,65	5,60	23,00	7,14	0,95	4,90	9,60
<b>FFM RL</b>	10,66	1,66	5,80	22,50	7,33	1,04	5,00	10,50

poznámka: BFM – tělesný tuk, FFM – tukuprostá hmota, LA – levá paže (left arm), RA – pravá paže (right arm), Trunk – trup, LL – levá dolní končetina (left leg), RL – pravá dolní končetina (right leg), SD – směrodatná odchylka

### 5.3 Blíže charakteristika naměřených hodnot v jednotlivých letech 2019–2023

Tabulky 10 (chlapci) a 11 (dívkyně) udávají hodnoty měření v rámci jednotlivých let. V obou případech není uveden rok 2021, kdy měření neprobíhalo kvůli pandemii Covid-19.

U chlapců (tabulka 10) lze pozorovat, že během let 2020–2022 docházelo k úbytku tělesné hmotnosti i tukuprosté hmoty, nicméně v roce 2023 došlo oproti roku 2022 k mírnému nárůstu tělesné hmotnosti. Tělesný tuk měl kolísavou tendenci, nejvyšší průměrná hodnota byla naměřená v roce 2022 s 17,51 %, naopak nejnižší v roce 2019 s 17,19 %. U dívek (tabulka 11) se tělesná hmotnost vyvíjela podobně jako u chlapců, v letech 2019–2022 měla klesající tendenci, naopak v roce 2023 došlo k nárůstu a hodnoty byly vyšší oproti letům 2020 a 2022. Opačný, vzrůstající, trend byl naměřen u množství tukové hmoty, v roce 2019 s 26,83 %, v roce 2022 s 28,74 %, celkový rozdíl o 1,91 %. V posledním měřeném roce BFM kleslo na hodnotu 27,57 %. Podíl tukuprosté hmoty byl nejnižší v roce 2020 s 70,70 %, nejvyšší s 73,19 % roku 2019.

Tělesný tuk měl kolísavou tendenci, nejvyšší průměrná hodnota byla naměřená v roce 2022 s 17,51 %, naopak nejnižší v roce 2019 s 17,19 %. Relativní nárůst tělesného tuku pozorujeme především mezi lety 2019 a 2022 stejně tak 2023. U dívek se tělesná hmotnost i tělesný tuk vyvíjel podobně jako u chlapců.

*Tabulka 10 Základní charakteristika sledovaného souboru chlapců dle roku měření (n = 1 171)*

	Rok 2019 n = 297		Rok 2020 n = 175		Rok 2022 n = 353		Rok 2023 n = 346	
	průměr	SD	průměr	SD	průměr	SD	průměr	SD
<b>Věk (roky)</b>	17,07	1,24	16,83	1,65	17,06	1,22	17,01	1,23
<b>Tělesná výška (cm)</b>	179,4	6,29	179,9	5,95	179,9	6,68	180,3	6,33
<b>Tělesná hmotnost (kg)</b>	73,27	12,70	73,23	12,73	72,81	13,63	73,04	14,63
<b>BMI (kg/m<sup>2</sup>)</b>	22,75	3,73	22,61	3,61	22,46	3,88	22,42	4,08
<b>BFM (%)</b>	17,19	5,40	17,21	5,11	17,51	5,46	17,50	5,80
<b>FFM (%)</b>	82,81	5,20	82,79	5,13	82,49	5,46	82,50	5,79
<b>VFAT*</b>	2,68	2,41	2,79	1,96	2,64	2,46	2,74	2,40
<b>TBW (%)</b>	60,71	4,04	60,62	4,04	60,44	4,31	60,41	4,60

*poznámka: BMI – body mass index, BFM – tělesný tuk, FFM – tukuprostá hmota, VFAT – viscerální tuk, TBW – celková tělesná voda, SD – směrodatná odchylka*

*\* přístroj vyhodnocuje u jedinců starších 18 let: rok 2019 (n = 115), rok 202 (n = 73), rok 2022 (n = 130), rok 2023 (n = 133)*

Tabulka 11 Základní charakteristika sledovaného souboru dívek dle roku měření (n = 73)

	Rok 2019 n = 21		Rok 2020 n = 11		Rok 2022 n = 15		Rok 2023 n = 25	
	průměr	SD	průměr	SD	průměr	SD	průměr	SD
<b>Věk (roky)</b>	17,64	1,18	16,55	1,44	16,73	1,10	16,52	1,42
<b>Tělesná výška (cm)</b>	167,4	7,88	166,0	6,08	165,86	7,02	165,3	5,62
<b>Tělesná hmotnost (kg)</b>	63,03	10,73	60,39	7,83	60,33	10,71	60,58	11,31
<b>BMI (kg/m<sup>2</sup>)</b>	22,48	3,61	21,95	2,99	21,97	3,94	22,13	3,85
<b>BFM (%)</b>	26,83	4,96	27,28	6,17	28,74	6,62	27,57	5,39
<b>FFM (%)</b>	73,19	4,96	70,70	6,15	71,27	6,63	72,42	5,39
<b>VFAT**</b>	1,69	1,49	1,20	0,45	2,33	2,31	2,33	1,94
<b>TBW (%)</b>	53,28	3,67	53,21	4,62	52,21	4,68	53,03	4,05

poznámka: BMI – body mass index, BFM – tělesný tuk, FFM – tukuprostá hmota, VFAT – viscerální tuk, TBW – celková tělesná voda, SD – směrodatná odchylka

\*\* přístroj vyhodnocuje u jedinců starších 18 let: rok 2019 (n = 13), rok 202 (n = 5), rok 2022 (n = 3), rok 2023 (n = 9)

Již zmíněná pandemie Covid–19 mohla být příčinou, proč byl úbytek tukuprosté hmoty u chlapců (tabulka 11) v letech 2020–2022 tak výrazný, o 0,3 %. U dívek (tabulka 11) byl zaznamenán stejný vývoj FFM s rozdílem (1,43 %), nicméně ještě větší skok byl zaznamenán mezi lety 2019 a 2020, kde byl rozdíl v roce 2019 o 2,49 % vyšší než v roce 2020. Jedním z faktorů mohla být potřeba bezpečnostních opatření, které byly zavedeny z důvodu rychlého šíření nemoci. To následně vedlo, mimo jiné, k přerušení prezenční výuky na všech typech škol v březnu 2020. Takové opatření s krátkými přestávkami probíhalo po dobu celého roku. Blíže znázorňuje obrázek 6. Statistická data UNESCO uvádějí, že uzavření škol v České republice bylo nejdélejší z celé Evropské Unie (UNESCO, 2021). Omezení se netýkalo pouze škol, ale také cestování a to jak mimo, tak i v rámci České republiky. Lze předpokládat, že právě nedostatek pohybové aktivity díky pandemii vedl k poklesu tukuprosté hmoty u obou pohlaví.



Obrázek 6 Časová osa bezpečnostních opatření týkající se škol v České republice (zdroj: Korbel, 2023)

## 5.4 Blíže charakteristika naměřených hodnot dle věkových kategorií

Tabulky 13 (chlapci) a 14 (dívky) charakterizují změny tělesného složení dle věkových kategorií. U chlapců během vývoje pozorujeme nárůst tělesné hmotnosti, nejvýraznější změna se odehrála mezi věkovou kategorií 16 a 17 let ( $p < 0,01$ ). Změna není dána vzrůstající tukovou tkání, ale tukuprostou hmotou, která vykazuje mezi jednotlivými věkovými kategoriemi významné statistické rozdíly ( $p < 0,01$ ;  $p < 0,05$ ). Zřetelný je tento fakt při pohledu na FFM (tabulka 13), kde se tukuprostá hmota signifikantně zvyšuje, což vypovídá o transformaci klučičí postavy na pánskou. Dle Riegerové a kol. (2006) k nejvyššímu nárůstu FFM dochází právě ve věku 15–17 let u chlapců, u dívek okolo 13. roku, což potvrzuje tabulka 14, kde k významným změnám u FFM nedochází.

BMI nevykazovalo až na přechod mezi 15. a 16. rokem ( $p < 0,05$ ) významnou statistickou hodnotu. U dívek (tabulka 14) nebyly naměřeny statisticky významné rozdíly, jednotlivé sledované kategorie se příliš nemění, mají spíše kolísavou tendenci. Toto přisuzujeme především nízkým souborem naměřených dívek na ryze chlapecké škole.

*Tabulka 12 Základní charakteristika sledovaného souboru chlapců dle věkových kategorií (n = 1 171)*

	15,00-15,99 n = 153		16,00-16,99 n = 317		17,00-17,99 n = 250		18,00-18,99 n = 271		19,00-19,99 n = 180					
	průměr	SD	průměr	SD	průměr	SD	průměr	SD	průměr	SD				
<b>Tělesná výška (cm)</b>	178,37	6,17	179,00	6,28	180,52	6,38	180,72	6,30	180,72	6,47				
<b>Tělesná hmotnost (kg)</b>	67,31	11,25	†	70,61	14,42	‡	73,74	13,50	75,79	12,94	77,27	12,19		
<b>BMI (kg/m<sup>2</sup>)</b>	21,10	3,01	†	22,01	4,18		22,61	3,92	23,18	3,57	23,67	3,65		
<b>BFM (kg)</b>	12,02	4,89		13,20	8,51		13,65	6,74	13,61	6,78	13,37	6,45		
<b>BFMI (kg/m<sup>2</sup>)</b>	6,76	1,51		4,11	2,58		4,19	2,11	4,16	2,02	4,10	2,01		
<b>FFM (kg)</b>	55,30	7,32	‡	57,41	7,41	‡	60,09	7,99	‡	62,18	7,36	†	63,90	6,86
<b>FFMI (kg/m<sup>2</sup>)</b>	17,33	1,74	‡	17,90	1,99	‡	18,42	2,09	‡	19,02	1,85	‡	19,57	1,89

*poznámka: BMI – body mass index, BFM – tělesný tuk, BFMI – index tělesného tuku, FFM – tukuprostá hmota, FFMI – index tukuprosté hmoty, LBM – štíhlá tělesná hmota, VFAT – viscerální tuk, TBW – celková tělesná voda, SD – směrodatná odchylka*  
†  $p < 0,05$   
‡  $p < 0,01$

*Tabulka 13 Základní charakteristika sledovaného souboru dívek dle věkových kategorií (n = 73)*

	<b>15,00–15,99</b> <b>n = 15</b>		<b>16,00–16,99</b> <b>n = 16</b>		<b>17,00–17,99</b> <b>n = 12</b>		<b>18,00–18,99</b> <b>n = 21</b>		<b>19,00–19,99</b> <b>n = 9</b>	
	<b>průměr</b>	<b>SD</b>	<b>průměr</b>	<b>SD</b>	<b>průměr</b>	<b>SD</b>	<b>průměr</b>	<b>SD</b>	<b>průměr</b>	<b>SD</b>
<b>Tělesná výška (cm)</b>	164,13	5,66	168,89	7,13	165,33	6,33	165,43	5,70	167,61	9,04
<b>Tělesná hmotnost (kg)</b>	57,19	10,09	61,89	9,59	60,25	10,59	64,41	11,71	60,73	8,27
<b>BMI (kg/m<sup>2</sup>)</b>	21,12	2,92	21,78	3,67	22,04	3,66	23,52	4,02	21,70	3,34
<b>BFM (kg)</b>	15,38	4,94	17,41	4,98	17,15	7,31	19,25	7,57	16,07	6,38
<b>BFMI (kg/m<sup>2</sup>)</b>	5,66	1,61	6,17	1,98	6,27	2,61	7,02	2,73	5,77	2,52
<b>FFM (kg)</b>	41,81	5,69	44,48	5,88	43,10	3,88	45,17	5,07	44,67	3,49
<b>FFMI (kg/m<sup>2</sup>)</b>	15,47	1,54	15,60	1,96	15,77	1,19	16,50	1,57	15,994	1,20

*poznámka: BMI – body mass index, BFM – tělesný tuk, BFMI – index tělesného tuku, FFM – tukuprostá hmota, FFMI – index tukuprosté hmoty, LBM – štíhlá tělesná hmota, VFAT – viscerální tuk, TBW – celková tělesná voda, SD – směrodatná odchylka*

## 6 Diskuze

Stavba tělesného složení byla, je a bude předmětem mnoha výzkumů. Znalost této problematiky přispívá do oblasti medicíny, fyziologie, sportovních věd a dalších. Z pohledu jedince, jsou informace o stavbě tělesného složení důležité pro jeho zdraví, kdy na základě zjištěných dat může ovlivnit svou výkonnost, fyziologické funkce, pohybové a stravovací návyky ale i celkovou kvalitu života.

V rámci diplomové práce byla analýza zaměřená na adolescenty SPSS v Olomouci, pomocí metody bioelektrické impedance prostřednictvím přístroje Tanita MC-980 MA Plus, přičemž se do výzkumu promítla pandemie Covid-19. Dalo by se říci, že pandemie měla na složení tělesné stavby menší vliv, než by se dalo očekávat. Jednou z hypotéz byla významně vzrůstající tělesná hmotnost či tělesný tuk z důvodu snížení pohybové aktivity. Ze souboru výsledných dat vyplynulo, že největší změny se odehrály na úrovni tukuprosté hmoty, kde byl zaznamenán statisticky významný úbytek mezi lety 2020–2022 o 0,3 % u chlapců, u dívek dokonce o 2,49 % v časovém období 2019–2020. V konečném důsledku to mohlo být dáno sníženou pohybovou aktivitou. Během pandemie proběhlo několik vln bezpečnostních opatření a lockdownů, kdy byly uzavřena fitness centra, dočasně přerušeny pohybové kroužky či jiné sportovní akce. Ve školách se vyučovalo prostřednictvím online výuky, při které žáci trávili den převážně sezením za počítačem či notebookem.

Kutac a kol. (2022) se rovněž zabývali tělesným složením v souvislosti s pandemií Covid-19. Cílem jejich studie bylo vyhodnotit účinky dlouhodobého omezení pohybové aktivity (PA) na tělesný tuk, tukuprostou hmotu a hmotu kosterního svalstva u adolescentů před (G1) a po (G2) restrikcích pandemie Covid-19. Měření G1 byla prováděna od září do října 2019 a měření G2 od září do října 2021. Celkem bylo zahrnuto 1669 chlapců: G1–998 chlapců a G2–671 chlapců ve věku 11 až 18 let. Měření probíhalo pomocí metody BIA v roce 2019. Ve srovnání s G1 vykazoval G2 nárůst tělesného mezi a viscerálního tuku. Naopak signifikantní pokles byl zaznamenán, podobně jako u této diplomové práce, u kosterního svalstva, přičemž Kutac a kol. (2022) označili tento jev za rizikový pro budoucí schopnost chlapců mít pestré pohybové návyky, což může vést k dalšímu poklesu PA a následně ke zdravotním problémům v dospělosti.

López-Sánchez a kol. (2019) analyzovali složení těla u dětí a dospívajících v jižní Evropě za účelem zjištění prevalence nadváhy a obezity. Do studie bylo zahrnuto celkem 13 škol,

9 z jižní Itálie (regiony Lazio a Kalábrie) a čtyři z jižního Španělska (region Murcia). Šetření se zúčastnilo 512 dívek a 488 chlapců ve věku od 7 do 19 let. Z výsledků byla patrná vysoká prevalence nadváhy a obezity, což opět kontrastuje s výsledky této diplomové práce. Nicméně shoda nastává v apelování na prevenci proti nadváze a obezitě. Konkrétně López–Sánchez a kol. (2019) navrhují provádět pravidelné hodnocení ve školách, které by mohl provádět učitel tělesné výchovy z důvodu přímé souvislosti mezi předmětem a nadváhou/obezitou.

V kontinentálním měřítku prováděli výzkum Karatzi a kol. (2021), kdy jejich cílem bylo vytvořit systematický přehled a shromáždit všechny existující poznatky z nedávno publikovaných relevantních studií týkajících se změn ve stravování a životním stylu a jejich dopad na celkové složení těla. Během podzimu 2021 bylo identifikováno celkem 11 studií pocházející ze dvou kontinentů, čtyři z Asie a sedm z Evropy. Věk účastníků se pohyboval od 0 do 18 let a výzkumný vzorek se pohyboval od velmi malého, tj. 43 dobrovolníků, až po velmi velký, tj. 10 000 účastníků. Výsledné analýzy odhalily negativní dopad na stravu a životní styl dětí a dospívajících s následným nezdravým výběrem potravin, delším sezením u počítače a sníženou aktivitou, což vedlo ke zvýšení tělesné hmotnosti a akumulací centrálního tuku. Na druhé straně přítomnost rodičů vedla k lepší kontrole glykémie u dětí s diabetes mellitus 1. typu. Výsledky poukazují na potřebu opatření veřejné politiky k prevenci obezity a jejich komplikací a ke zlepšení stravovacích a pohybových návyků. Příčinou rozdílných závěrů mezi touto diplomovou prací a prací Karatziho a kol. může být např. počet respondentů zúčastněných v rámci měření či rozsáhlost výzkumu: SPSS Olomouc vs. vybrané státy Evropy a Asie.

Tělesná stavba je ovlivněna několika faktory, mimo již zmíněný Covid–19 to může být např. pohlaví, věk, strava, prostředí, sport či pohybová aktivita obecně. Gába a kol. (2013) se zabývali stavbou tělesného složení ve spojitosti s pohybovou aktivitou. Na základě pozorování a analýzy adolescentních respondentek ( $n = 51$ ) došli k závěru, že mezi dívkami s odlišnou pohybovou aktivitou nebyly pozorovány signifikantní rozdíly v tělesném složení a pohybová aktivita střední až vysoké intenzity byla relativně slabým prediktorem tukové a tukuprosté hmoty. Nicméně pouze 5 dívek splňovalo doporučené množství střední a vysoké intenzity pohybové aktivity během dne, z čehož vyplynul závěr, že by se v rámci primární prevence obezity měl klást větší důraz na podporu pohybové aktivity.

Balaš (2022) se ve své diplomové práci zaměřil na tělesné složení adolescentů ve spojitosti se stylem stravování, kdy jedním z cílů bylo posouzení rozdílů ve stravovacích návycích



adolescentů (chlapci n = 88, dívky n = 92) v závislosti na BMI. Výsledky ukázaly, že pouhých 6 % chlapců a 8 % dívek měli výborné stravovací návyky. Celkový výskyt adolescentů trpící nadměrnou tělesnou hmotností bylo 21,1 %, přičemž nadváha a obezita se častěji vyskytovala u chlapců. Podváha byla zaznamenána častěji u dívek.

Složení těla u studentů středních škol a následné porovnání s vybranými socioekonomickými charakteristikami týkajícími se vzdělávání zkoumala ve své diplomové práci Jakubcová (2019). Kvantizačního výzkumu se během let 2016–2018 účastnilo celkem 2 135 studentů (chlapci n = 1 006, dívky n = 1 129) náhodně vybraných českých středních škol. Během šetření Jakubcová zjišťovala, zdali existuje vliv dosaženého vzdělávání zákonných zástupců na složení těla studentů. Výsledná analýza tělesného složení byla charakterizována jako průměrná, odpovídající normě. Nicméně Jakubcová objevila statisticky významný vliv vzdělání zákonných zástupců a typu střední školy na množství tukové tkáně, které bylo převážně u studentek na hranici mezi průměrem a nadváhou. Žádný z dalších měřených parametrů nevykazoval významné odchylky či extrémní hodnoty.

Každý z výše uvedených autorů poukazuje na problematiku, která má přímý vliv na složení lidského těla. Právě tyto poznatky mohou být impulzem pro budoucí učitele biologie či občanské výchovy pro větší kladení důrazu na zdravý životní styl a s ním spojená pohybová aktivita, spánkový režim, stravovací návyky apod., které se následně promítají do tělesného složení těla.

## 7 Didaktické zpracování tématu

V rámci České republiky, ale i téměř celého světa, můžeme pozorovat vzrůstající nadváhu až obezitu zapříčiněnou nynějším životním stylem populace (Bunc, 2007). Dle Kotulána a kol. (2012) je zdravotní stav české populace dokonce podstatně horší než v západoevropských zemích, což je zapříčiněno právě nezdravým způsobem života, který je v České republice tradiční. Díky různorodým metodám jsme dnes schopni včas identifikovat počáteční stadia nadváhy již v dětství a rané dospělosti (Bunc, 2007).

Edukace dětí a mladistvých může být klíčem k efektivní nápravě a k ovlivnění kvality životního stylu dospívajících (Bunc, 2007). Vítek (2008) doplňuje, že je společnost povinna zajistit podmínky a předávat znalosti o zdravém životním stylu, stravovacích a pohybových návycích, spánkovém režimu či psychohygieny ke zdravému vývoji populace a to s větším důrazem než kdy dříve. Uvádí také, že jedním z pilířů mimo kvalitu poskytované péče, bydlení a životního prostředí je vzdělávání. Jednou z možností je zvýšení a podpora výuky tělocviku na školách ale i úprava stravování ve školních bufetech a jídelnách. Minimalizace zavádění automatů na sladkosti, energetické nápoje ale i regulace jídelníčků, nabízet racionální stravu, která splňuje všechny nutriční standardy. Zejména vůle a pravomoc tuto problematiku regulovat náleží Ministerstvu školství České republiky (Vítek, 2008). Není to ovšem záležitost pouze školního stravování a vyučování tělesné výchovy, nauka o zdravém životním stylu by měla být nedílnou součástí vyučování, v rámci hodin biologie by se mohlo jednat o větší informovanost rizik zdravotních problémů, nastavení zdravého životního stylu, upravení cirkadiánního rytmu, znalost vlastního těla apod.. Dle Vítka (2008) by žáci měli ze škol odcházet s vědomím, co je pro jejich budoucí život ne/zdravé.

Další alternativou by mohlo být zapojení škol, do programu „Zdravá škola“, která cílí na maximální podporu a ochranu zdraví žáků s využitím místních podmínek, možností a potřeb. Program je formulován třemi hlavními směry:

### *1. Zlepšování prostředí školy a jejího okolí*

Zahrnuje ozdravení, zkrášlení školních prostor a jejich okolí. Vytváření příjemného a bezpečného prostředí např. správné větrání budov, důsledné vyřazování nemocných žáků, vylepšení stravovacích podmínek ve škole apod..

## 2. Posílení výchovy ke zdraví a zdravému životnímu stylu

Zaměření na utváření hodnotového systému žáků v důsledku zahrnutí zdravotně zaměřených témat do školních osnov. Fixace nabytých vědomostí a apelace dodržování těchto návyků na každodenní bázi.

## 3. Působení školy do okolí (do rodin žáků a širší veřejnosti)

V případě, že školní zdravotní výchova působí i na rodiny, je větší pravděpodobnost, že pokusy programu „Zdravá škola“ budou zdařilé.

K úspěšné realizaci hraje dominující roli učitelský sbor a pozitivní přístup vedení školy.

Z výše zmíněných důvodů jsem se rozhodla vytvořit pro žáky pracovní list pro lepší poznání svého těla. V případě, že by nebylo možné uskutečnit analýzu tělesné stavby pomocí přístrojů jako Tanita, Inbody apod. lze se žáky své tělo poznat např. pomocí měření a počítání indexů tělesného složení, při kterých je zohledněna tělesná výška jedince. Mezi indexy tělesného složení patří BMI, WHR (waist-to-hip ratio) či Pignet-Vearvekův index.

WHR index popisuje poměr obvodu pasu ku obvodu boků, zohledňuje především rozložení tukové tkáně, a tak často slouží jako nástroj pro měření abdominální, břišní, obezity. Tento typ obezity také nazývaný jako centrální, androidní nebo mužský je rizikovější než obezita gynoidní, periferní či ženský, kdy se tuk ukládá především v oblasti boků. Androidní tuk je rozdělován na tuk viscerální (útrobní) a subkutánní (podkožní). Jejich vzájemný poměr je úzce spojen se vznikem zdravotních problémů. V případě, že má osoba většinu tuku v útrobní oblasti, kde obklopuje vnitřní orgány, je riziko vzniku zdravotních problémů podstatně vyšší (Vítek, 2008). Na základě klinických studií je dnes známo, že riziko cukrovky či jiných kardiovaskulárních problémů je s indexem WHR ve velmi těsném vztahu. U mužů se za rizikovou hodnotu považuje 0,95 a u žen 0,85 (Vítek, 2008).

Pignet-Vearvekův index pracuje s tělesnou hmotností v kilogramech, výškou v centimetrech a obvodem hrudníku rovněž v centimetrech, kdy z výsledné hodnoty lze určit typ tělesné stavby, a to: astenický, štíhlý, střední, silný či hyperstenický typ postavy.

Pracovní list se nachází v příloze 10.6 Pracovní list.

## 8 Závěr

Diplomová práce se zabývala analýzou tělesného složení u adolescentů SPŠS v Olomouci měřenou pomocí metody bioelektrické impedance prostřednictvím přístroje Tanita MC-980 MA Plus. Z naměřené hodnoty analyzovat a formulovat myšlenky, jak se do naměřených hodnot promítla pandemie Covid-19.

Soubor respondentů tvořilo celkem 1 171 chlapců a 73 dívek. Měření probíhalo během roku 2019 až 2023. Průměrný věk chlapců byl 17,02 let, dívek 16,90 let. Měření probíhalo o obou pohlaví ve věku v rozmezí od 15 do 20 let. Průměrná tělesná výška chlapců dosahovala 179,89 cm, dívek 166,17 cm. Průměrné tělesné hmotnosti činily u chlapců 73,06 kg, u dívek 61,24 kg. Z indexů tělesného složení byl pozorován BMI, přičemž průměrná hodnota mužů byla 22,54 kg/m<sup>2</sup>, což spadá dle Weir a Jan (2022) do kategorie normální hmotnosti. Dívkám byla naměřená průměrná hodnota BMI o něco málo nižší než u chlapců, konkrétně 22,17 kg/m<sup>2</sup>, což je také klasifikováno jako normální hmotnost.

Dalšími sledovanými somatickými parametry tělesného složení bylo množství tělesného tuku, tukuprosté hmoty, viscerálního tuku a celkové tělesné vody. V případě VFAT byl v rámci výzkumu pozorován a analyzován jen malý vzorek respondentů, protože přístroj vyhodnocuje VFAT až po 18. roce života jedince.

Tělesný tuk (BFM) se podílel na celkové tělesné hmotnosti u chlapců v průměru z 17,38%, hodnota BFMI byla 4,09 kg/m<sup>2</sup>, čímž se dle Kyle a kol. (2004) nachází v rozmezí doporučených hodnot. Ve stejném rozmezí se nacházely také dívky s BFMI (6,28 kg/m<sup>2</sup>), přičemž BFM bylo 27,54%.

Procentuální zastoupení tukuprosté hmoty představují u chlapců 82,62% a u dívek 72,46%. FFMI byl u chlapců naměřen s průměrnou hodnotou 18,45, u dívek 15,90. Z těchto výsledků lze odvodit, že jsou hodnoty kg/m<sup>2</sup> zastoupení tukuprosté hmoty u obou pohlaví v optimálním intervalu, která je při normální kategorii BMI dle Kyle a kol. (2004) pro chlapce 16,7–19,7 kg/m<sup>2</sup>, pro dívky 14,6–16,7 kg/m<sup>2</sup>. Zároveň lze z výsledných dat pozorovat fyziologickou transformaci u chlapců, kde se postava mění z klučičí na pánskou. U dívek změna není tak markantní, fyziologicky procházejí touto změnou podstatně dříve, okolo 13. roku.

Průměrné hodnoty celkové tělesné vody v l byly u dívek podstatně nižší, o 11,67 l než u chlapců. Nicméně procentuálně bylo zastoupení TBW u dívek optimální, rozdíl o pouhých 0,04%, u chlapců byly o 2,47 % nižší než doporučené hodnoty.

Na základě hodnot segmentální analýza tukové a tukuprosté hmoty bylo vyhodnoceno, že se největší množství tukové hmoty nachází, u obou pohlaví, v oblasti trupu, naopak nejmenší zastoupení bylo v oblasti horních končetin. Stejně rozložení se týkalo také tukuprosté hmoty, kdy chlapci i dívky měli největší množství tukuprosté hmoty v oblasti trupu a nejmenší v horních končetinách. Z hlediska lateralit bylo rozložení tuku a tukuprosté hmoty u obou pohlaví proporcionální.

Pandemie Covid-19 se na tělesném složení adolescentů v rámci SPSŠ Olomouc výrazně nepodepsala. Významnější změna byla pozorována v úbytku tukuprosté hmoty u chlapců mezi lety 2020–2022 o 0,3 %, u dívek dokonce o 2,49 % v časovém období 2019–2020.

Výše zmíněné výsledky diplomové práce mohou být mírně zkreslené díky obtížnému dodržování standardizovaných podmínek, kdy měření v lehkém oděvu se u každého jedince lehce lišilo. Mimo jiné se nepodařilo změřit každý rok stejné studenty.

Jelikož věřím, že znalost a poznání vlastního těla vede k ovlivnění životního stylu jedince, vytvořila jsem pracovní list se zaměřením na indexy tělesného složení určený pro střední školy. Pracovní list byl takto sestaven pro případ, že není k dispozici měření metodou BIA. Mimo jiné lze pracovní list lehce využít v terénu, jelikož k měření těla postačí pouze krejčířský metr. K základnímu posouzení, jak na tom naše těla jsou, pracovní list ideálně postačí.

## 9 Referenční seznam

BUNC, Václav. Možnosti stanovení tělesného složení u dětí bioimpedanční metodou. *Časopis lékařů českých*. 2007, roč. 146, č. 5, s. 492-496. ISSN 0008-7335.

FIALOVÁ, Ludmila. *Jak dosáhnout postavy snů: možnosti a limity korekce postavy: pohyb a postava, výživa a udržení hmotnosti, lékařské zákroky a kosmetická péče*. Zdraví & životní styl. Praha: Grada, 2007. ISBN isbn978-80-247-1622-0.

HALUZÍK, Martin; SUCHARDA, Petr; HOLÉCZY, Pavol; MÁLKOVÁ, Iva; SADÍLKOVÁ, Aneta et al. *Obezita: doporučený diagnostický a terapeutický postup pro všeobecné praktické lékaře 2023*. Doporučené postupy pro praktické lékaře. Praha: Centrum doporučených postupů pro praktické lékaře, Společnost všeobecného lékařství ČLS JEP, [2023]. ISBN 978-80-88280-45-3.

KAPUŠ, Ondřej. *Somatometrie*. Učební materiály. Univerzita Palackého, Olomouc. 2023.

KORBEL, Václav. *Pandemie a očekávání rodičů ohledně návratnosti investic do vzdělávání dětí*. Studie (Institut pro demokracii a ekonomickou analýzu). Praha: Národohospodářský ústav AV ČR, 2023. ISBN 978-80-7344-656-7.

KOTULÁN, Jaroslav. *Zdravotní nauky pro pedagogy*. 3. vyd. Brno: Masarykova univerzita, 2012. ISBN 978-80-210-5763-0.

KYLE U, Morabia A, Schutz Y, Pichard C (2004). Sedentarism affects body fat mass index and fat-free mass index in adults aged 18 to 98 years. *Nutrition* 20(3). DOI: 10.1016/j.nut.2003.11.019

LUKASKI, Henry Charles. *Body composition: health and performance in exercise and sport*. Boca Raton: CRC Press/Taylor & Francis Group, 2017. ISBN 9781498731676.

LÓPEZ-SÁNCHEZ, Guillermo Felipe; SGROI, Maurizio; D'OTTAVIO, Stefano; DÍAZ-SUÁREZ, Arturo; GONZÁLEZ-VÍLLORA, Sixto et al. Body Composition in Children and Adolescents Residing in Southern Europe: Prevalence of Overweight and Obesity According to Different International References. *Frontiers in Physiology*. 2019.

MACEK, Petr. *Adolescence: psychologické a sociální charakteristiky dospívajících*. Praha: Portál, 1999. ISBN 80-7178-348-x.

MALÁ, Lucia; MALÝ, Tomáš a ZAHÁLKA, František. *Body composition in soccer*. Prague: Charles University, Karolinum Press, 2023. ISBN 978-80-246-5408-9.

MATIAŠKO, Maroš. K OTÁZCE VĚKOVÉ HRANICE TRESTNÍ ODPOVĚDNOSTI. REALITA A MYSTIFIKACE. *Trestněprávní revue*. 2008.

MUNI MED. *Poruchy výživy II – hodnocení metabolického stavu, tuková tkáň*. 2020.

PAŘÍZKOVÁ, Jana. *Rozvoj aktivní hmoty a tuku u dětí a mládeže*. Praha: Státní zdravotnické nakladatelství, 1962.

PETRŮ, Dominika. *Hodnocení vybraných tělesných ukazatelů u dětí v Ústeckém kraji*. Ústí nad Labem: Univerzita J.E. Purkyně v Ústí nad Labem, 2015. ISBN 978-80-7414-984-9.

PERTOLD, Filip a ŠATAVA, Jiří. *Obezita v České republice: mezinárodní srovnání s využitím dat z projektu SHARE*. Studie (Institut pro demokracii a ekonomickou analýzu). Praha: Národohospodářský ústav AV ČR, 2018. ISBN 978-80-7344-466-2.

RIEGEROVÁ, Jarmila; PŘIDALOVÁ, Miroslava a ULBRICHOVÁ, Marie. *Aplikace fyzické antropologie v tělesné výchově a sportu: (příručka funkční antropologie)*. 3. vyd. Olomouc: Hanex, 2006. ISBN isbn80-85783-52-5.

ROKYTA, Richard. *Fyziologie pro bakalářská studia v medicíně, přírodovědných a tělovýchovných oborech*. Lékařství. Praha: ISV, 2000. ISBN 80-85866-45-5.

ŘÍČAN, Pavel. *Cesta životem*. Pyramida (Panorama). Praha: Panorama, 1990. ISBN 80-7038-078-0.

VÁGNEROVÁ, Marie. *Psychopatologie pro pomáhající profese*. Vyd. 5. Praha: Portál, 2012. ISBN 978-80-262-0225-7.

VÍTEK, Libor. *Jak ovlivnit nadváhu a obezitu*. Zdraví & životní styl. Praha: Grada, 2008. ISBN 978-80-247-2247-4.

WEBER, David; LEONARD, Mary B. a ZEMEL, Babette S. *Body Composition Analysis in the Pediatric Population*. *NIH-PA Author Manuscript*. 2014.

WELLS, Jonathan C. K. *Toward Body Composition Reference Data for Infants, Children, and Adolescents*. 2014.



## Internetové zdroje

Anonymous. *Segmentální multifrekvenční analyzátor MC-980 MA Plus s vysokou kapacitou*. Online. Dostupné z: <https://www.tanita-eshop.cz/tanita-mc-980-ma-plus>.

CENTRES FOR DISEASE CONTROL AND PREVENTION. *Healthy Weight, Nutrition, and Physical Activity - About Child & Teen BMI*. Online. 2022. Dostupné z: [https://www.cdc.gov/healthyweight/assessing/bmi/childrens\\_bmi/about\\_childrens\\_bmi.html#how-is-BMI-used](https://www.cdc.gov/healthyweight/assessing/bmi/childrens_bmi/about_childrens_bmi.html#how-is-BMI-used).

GÁBA, Aleš; CHMELÍK, František; JAKUBEC, Lukáš a BOTEK, Michal. Analýza tělesného složení u adolescentních dívek s rozdílnou pohybovou aktivitou. Online. Roč. 2013. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/publication/259194163\\_Analyza\\_telesneho\\_slozeni\\_u\\_adolescentnich\\_divek\\_s\\_rozdilnou\\_pohybovou\\_aktivitou](https://www.researchgate.net/publication/259194163_Analyza_telesneho_slozeni_u_adolescentnich_divek_s_rozdilnou_pohybovou_aktivitou).

GUPPY, Fergus M. a WALLACE, Joanne A. The Measurement of Body Composition in an Athletic Population: The Importance of DXA. Online. *Measurement and Control*. 2012, roč. 45, č. 6, s. 177-181. ISSN 0020-2940. Dostupné z: <https://doi.org/10.1177/002029401204500603>.

HEYMSFIELD, S. B. Development of imaging methods to assess adiposity and metabolism. *International Journal of Obesity*, 2008

HUBÍK, Jiří. Ta váha si mě neváží. Online. 2018. Dostupné z: <https://ipure.cz/archiv/magazin/ta-vaha-si-me-nevazi/>.

KARATZI, Kalliopi; POULIA, Kalliopi-Anna; PAPAKONSTANTINOOU, Emilia a ZAMPELAS, Antonis. The Impact of Nutritional and Lifestyle Changes on Body Weight, Body Composition and Cardiometabolic Risk Factors in Children and Adolescents during the Pandemic of COVID-19: A Systematic Review. Online. 2021. Dostupné z: <https://www.mdpi.com/2227-9067/8/12/1130#>.

KURIYAN, Rebecca. Body composition techniques. Online. *IJMR - Indian Journal of Medical Research*. 2018. Dostupné

z: [https://journals.lww.com/ijmr/fulltext/2018/48050/body\\_composition\\_techniques.19.aspx](https://journals.lww.com/ijmr/fulltext/2018/48050/body_composition_techniques.19.aspx).

KUTAC, P.; BUNC, V.; SIGMUND, M.; BUZGA, M. a KRAJCIGR, M. Changes in the body composition of boys aged 11–18 years due to COVID-19 measures in the Czech Republic. Online. 2022. Dostupné z: <https://link.springer.com/article/10.1186/s12889-022-14605-8>.

RAPEE, Roland M.; OAR, Ella L.; JOHNCO, Carly J.; FORBES, Miriam K.; FARDOULY, Jasmine et al. Adolescent development and risk for the onset of social-emotional disorders: A review and conceptual model. Online. In: *Behaviour Research and Therapy*. 2019. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0005796719301871>.

SIGMUND, E.; BAŽURA, P.; SIGMUNDOVÁ, D.; PAVELKA, J.; VORÁČOVÁ, J. et al. Trendy a koreláty obezity českých adolescentů ve vztahu k socioekonomickému statusu rodin mezi lety 2002–2018. Online. *Prakt. Lék.* 2019, č. 4. Dostupné z: <https://www.prolekare.cz/casopisy/prakticky-lekar/2019-4-7/trendy-a-korelaty-obezity-ceskych-adolescentu-ve-vztahu-k-socioekonomickemu-statusu-rodin-mezi-lety-2002-2018-113613>.

UNESCO Institute of Statistics, Regional Dashboard - Covid-19 Response. *Covid-19 Response* [online].

202. Dostupné z: <http://covid19.uis.unesco.org/global-monitoring-school-closures-covid19/regional-dashboard/>

WANG, Zi-Mian; PIERSON, Richard a HEYMSFIELD, Steven. The five-level model: a new approach to organizing body-composition research. Online. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 1992.

Weir CB, Jan A. (2023). BMI Classification Percentile And Cut Off Points. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing

WILMORE, J. H. (1995). Variations in physical activity habits and body composition. *Int J Obes Relat Metab Disord*, 19 Suppl 4, S107-112

WORLD HEALTH ORGANIZATION. *Adolescent health*. Online. Dostupné z: [https://www.who.int/health-topics/adolescent-health#tab=tab\\_1](https://www.who.int/health-topics/adolescent-health#tab=tab_1).

WORLD HEALTH ORGANIZATION. *EUROPEAN REGIONAL OBESITY REPORT 2022*.

Online. World Health Organization, 2022. ISBN 978-92-890-5773-8. Dostupné také

z: <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/353747/9789289057738-eng.pdf?sequence=1>.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. *Growth reference data for 5-19 years. 2007*. Retrieved from <https://www.who.int/growthref/en/>

WORLD HEALTH ORGANIZATION. *Malnutrition*. Online. 2023. Dostupné z: [https://www.who.int/health-topics/malnutrition#tab=tab\\_1](https://www.who.int/health-topics/malnutrition#tab=tab_1).

## **Akademické práce**

BALAŠ, David. *Stravovací návyky adolescentů*. Diplomová práce, Ph.D. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2022.

CINAŘOVÁ, Monika. *Tělesné složení u tanečnicků na základě metody bioelektrické impedance*. Bakalářská práce, Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2012.

JAKUBCOVÁ, Bc. Kristýna. *Analýza složení těla studentů středních škol vybraných regionů v ČR*. Brno: Masarykova Univerzita, 2019.

MAREČKOVÁ, Adela. *Stanovení tělesného složení na základě metody bioelektrické impedance u seniorské populace*. Diplomová práce, Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2010.

ŠPINLEROVÁ, Monika. *Bioelektrická impedanční analýza v praxi nutriční ambulance*. Online, Diplomová práce, Brno: Masarykova Univerzita, 2016.

## **Obrázky použité v pracovních listech**

*Jak se správně změřit*. Online. In: Favorit APPAREL. Dostupné z: <https://apparel.favorit.cz/jak-se-spravne-zmerit/>.

*Krejčí Svinovací metr kreslený — Vektor*. Online. In: Depositphotos. Dostupné z: <https://depositphotos.com/cz/vector/tailors-tape-measure-cartoon-19584563.html>.

## 10 Přílohy

### 10.1 Seznam obrázků

<b>OBRÁZEK 1</b> CHEMICKÝ, ANATOMICKÝ A DVOUKOMPONENTOVÝ MODEL TĚLESNÉHO SLOŽENÍ (UPRAVENO PODLE RIEGEROVÉ A KOL., 2006) .....	13
<b>OBRÁZEK 2</b> PĚTISTUPŇOVÝ MODEL TĚLESNÉHO SLOŽENÍ ČLOVĚKA (UPRAVENO PODLE GUPPY A KOL., 2012) .....	16
<b>OBRÁZEK 3</b> PERCENTILOVÝ GRAF PRO DÍVKY VE VĚKU 5–19 LET (ZDROJ: WHO, 2007) .....	22
<b>OBRÁZEK 4</b> PERCENTILOVÝ GRAF PRO CHLAPCE VE VĚKU 5–19 LET (ZDROJ: WHO, 2007).....	22
<b>OBRÁZEK 5</b> TANITA MC-980 MA PLUS (ZDROJ: <a href="https://www.tanita-eshop.cz/tanita-mc-980-ma-plus">HTTPS://WWW.TANITA-ESHOP.CZ/TANITA-MC-980- MA-PLUS</a> ) .....	28
<b>OBRÁZEK 6</b> ČASOVÁ OSA BEZPEČNOSTNÍCH OPATŘENÍ TÝKAJÍCÍ SE ŠKOL V ČESKÉ REPUBLICE (ZDROJ: KORBEL, 2023) .....	36

## 10.2 Seznam tabulek

<b>TABULKA 1</b> PĚTISTUPŇOVÝ MODEL TĚLESNÉHO SLOŽENÍ ČLOVĚKA (UPRAVENO PODLE MALÁ A KOL.,2023) .....	14
<b>TABULKA 2</b> KLASIFIKACE BODY MASS INDEXU (BMI) U CHLAPCŮ A DÍVEK (UPRAVENO PODLE WEIR A JAN, 2022).....	20
<b>TABULKA 3</b> KLASIFIKACE BFMI A FFMI V ZÁVISLOSTI NA BMI U MUŽŮ A ŽEN (UPRAVENO PODLE KYLE A KOL., 2004).....	23
<b>TABULKA 4</b> PRŮMĚRNÉ MNOŽSTVÍ CELKOVÉ TĚLESNÉ VODY V ZÁVISLOSTI NA VĚKU (A POHLAVÍ) (UPRAVENO PODLE ROKYTY, 2000) .....	24
<b>TABULKA 5</b> ZÁKLADNÍ CHARAKTERISTIKA + BMI (BODY MASS INDEX) MĚŘENÝCH CHLAPCŮ I DÍVEK MĚŘENÝCH V LETECH 2019–2023 .....	31
<b>TABULKA 6</b> TĚLESNÝ TUK (BFM) A TUKUPROSTÁ HMOTA (FFM) MĚŘENÝCH CHLAPCŮ I DÍVEK MĚŘENÝCH V LETECH 2019–2023 .....	32
<b>TABULKA 7</b> ŠTÍHLÁ TĚLESNÁ HMOTA (LBM), VISCERÁLNÍ TUK (VFAT) A CELKOVÁ TĚLESNÁ VODA (TBW) MĚŘENÝCH CHLAPCŮ I DÍVEK MĚŘENÝCH V LETECH 2019–2023 .....	33
<b>TABULKA 8</b> HODNOTY SEGMENTÁLNÍ ANALÝZY TUKOVÉ HMOTY MĚŘENÝCH CHLAPCŮ I DÍVEK MĚŘENÝCH V LETECH 2019–2023 .....	34
<b>TABULKA 9</b> HODNOTY SEGMENTÁLNÍ ANALÝZY TUKUPROSTÉ HMOTY MĚŘENÝCH CHLAPCŮ I DÍVEK MĚŘENÝCH V LETECH 2019–2023 .....	34
<b>TABULKA 10</b> ZÁKLADNÍ CHARAKTERISTIKA SLEDOVANÉHO SOUBORU CHLAPCŮ DLE ROKU MĚŘENÍ (N = 1 171) .....	35
<b>TABULKA 11</b> ZÁKLADNÍ CHARAKTERISTIKA SLEDOVANÉHO SOUBORU DÍVEK DLE ROKU MĚŘENÍ (N = 73).....	36
<b>TABULKA 12</b> ZÁKLADNÍ CHARAKTERISTIKA SLEDOVANÉHO SOUBORU CHLAPCŮ DLE VĚKOVÝCH KATEGORIÍ (N = 1 171) .....	37
<b>TABULKA 13</b> ZÁKLADNÍ CHARAKTERISTIKA SLEDOVANÉHO SOUBORU DÍVEK DLE VĚKOVÝCH KATEGORIÍ (N = 73) .....	38

### 10.3 Seznam zkratek

ATH – aktivní tělesná hmota (lean body mass)

BC – tělesné složení

BM – tělesné buňky

BFM – tělesný tuk (body fat mass)

BFMI – index tělesného tuku

BIA – elektrická bioimpedance

BMI – body mass index

DEXA – duální rentgenová absorpciometrie

ECPL – extracelulární pevné látky

ECT – extracelulární tekutina

FFM – tukuprostá hmota (fat-free mass)

FFMI – index tukuprosté hmoty

FM – tuková hmota (fat mass)

LBM – štíhlá tělesná hmota

PA – pohybová aktivita

Rtg – rentgenové vyšetření

TBW – celková tělesná voda

VFAT – viscerální tuk

WHO – World Health Organization

WHR – waist-to-hip ratio

## 10.4 Informovaný souhlas

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI



Přírodovědecká  
fakulta

### Informovaný souhlas s antropometrickým a účastí ve výzkumu

---

#### 1. Antropometrické měření

Měření je založeno na neinvazivních metodách – **vyšetření tělesného složení** pomocí multifrekvenční bioelektrické impedance (MFBI). MFBI je vhodná pro klinickou a terénní determinaci tělesného složení. Spočívá na rozdílech šíření vysokofrekvenčního střídavého elektrického proudu nízké intenzity v různých biologických strukturách. Tukuprostá hmota, obsahující vysoký podíl vody a elektrolytů, je dobrým vodičem, zatímco tuková tkáň se chová jako izolátor. Výzkumné měření bude realizováno pomocí přístroje Tanita MC-980 MA Plus (více zde: <https://tanita.eu/products/professional-body-composition-monitors/mc-980ma-plus>). Měření bude probíhat za přítomnosti vyškoleného personálu po dobu jedné minuty.

#### Obecná organizace výzkumu

Před vlastním vyšetřením absolvuje proband (student/studentka) krátkou instruktáž (vysvětlení základních pravidel nutných pro validní průběh měření). Dále bude zařazen do databáze, ve které budou uvedeny jeho personálie (jméno, příjmení, pohlaví a datum narození) a základní antropometrické charakteristiky (tělesná hmotnost, tělesná výška). Taktéž získá své osobní identifikační číslo, které zabezpečí jeho **anonymitu** při zpracování a interpretaci výsledků. Proband následně podstoupí měření tělesného složení pomocí multifrekvenčního přístroje Tanita MC-980 MA Plus.

#### **Standardní podmínky pro přesnost měření na přístroji Tanita MC-980 MA Plus:**

- měří se na boso, v lehkém oděvu
- nejméně 2 hodiny před měřením je doporučeno jíst pouze lehce stravitelná jídla v malém množství;
- neprovádět pohybovou aktivitu vysoké intenzity těsně před měřením;
- před měřením je doporučeno zajít na toaletu;
- před měřením se není vhodné sprchovat;



- je potřeba odložit si před měřením všechny kovové předměty a předměty jako jsou mobil, klíče, šperky, kovový opasek...
- měření nesmí podstoupit osoby s kardiostimulátorem a měření není doporučováno těhotným ženám.

Při měření jsou **dodržovány hygienické podmínky**, a to za použití dezinfekčních ubrousků.

1. Byl(a) jsem podrobně informován(a) o cíli studie, o jejích postupech, a o tom, co se ode mě očekává. Beru na vědomí, že prováděná studie je výzkumnou činností.
2. Porozuměl(a) jsem tomu, že svou účast ve studii mohu kdykoliv přerušit či odstoupit. Moje účast ve studii je dobrovolná a anonymní.
3. Je zaručena ochrana mých osobních dat. Při vlastním provádění studie nemohou být osobní údaje poskytnuty jiným osobám než těm, které výzkum realizují. Údaje budou uchovány pouze bez identifikačních údajů, tzn. anonymní data pod číselným kódem.
4. Porozuměl(a) jsem tomu, že mé jméno se nebude nikdy vyskytovat v referátech o této studii. Já naopak nebudu proti použití výsledků z této studie.

**U studentů do 18. roku se podepisuje jeho zákonný zástupce.**

Jméno a příjmení studenta/studentky:

V.....dne.....

.....

podpis

## 10.5 Příklad numerického výstupu z měření pomocí BIA, 2023



# Body Composition Analyzer

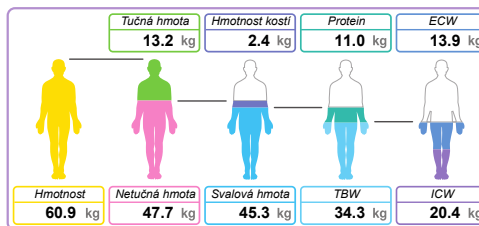
MC-980

Datum 18.04.2023 11:43

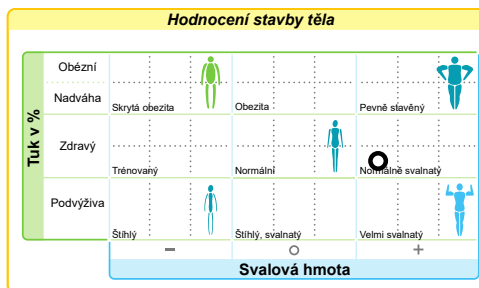
ID	anp91			Výška	156.0 cm
Jméno	[redacted]			PT	0.5 kg
Věk	23	žena	Typ	Normal	

### Detaily

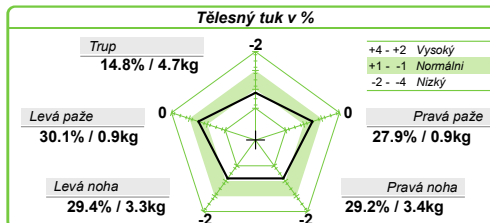
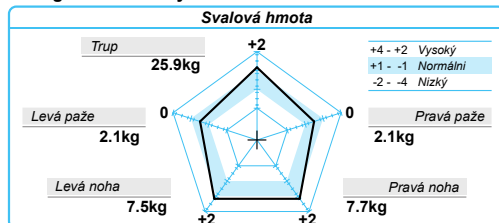
MC-980	Výsledek	Ideální hodnota	Cíle	
Hmotnost	60.9 kg	45.0-60.8 kg	kg	kg
Tuk v %	21.7 %	21.0-33.0 %	%	%
Tuk v kg	13.2 kg	12.7-23.5 kg	kg	kg
Netučná hmota	47.7 kg			
Svalová hmota	45.3 kg	33.6-42.5		
BMI	25.0	18.5-25.0		
Metabolický věk	12.0			



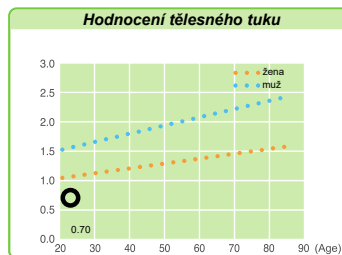
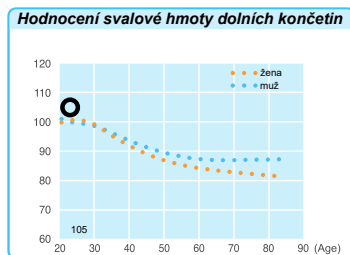
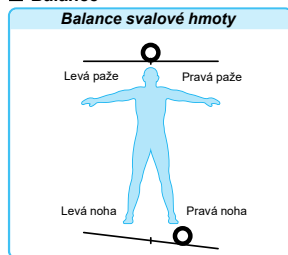
### BMR VDR TBW



### Segmentální analýza

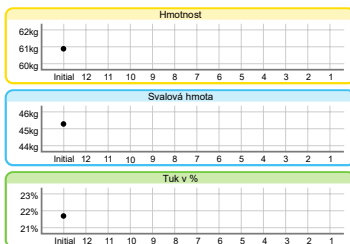


### Balance



### Historie

	Hmotnost	Svalová hmota	Tuk v %
Současné	60.9	45.3	21.7
Počáteční	60.9	45.3	21.7



### BIA Informace

	1kHz	5kHz	50kHz	250kHz	500kHz	1MHz	Fázový úhel
H-L	656.6	635.5	559.6	503.9	488.3	474.8	5.8°
RL	10.7	28.5	57.1	49.4	53.3	89.5	
LL	244.2	237.3	207.0	187.0	181.0	175.6	5.9°
RH	4.6	11.3	21.4	15.4	14.6	15.9	
LH	244.8	237.4	206.9	187.0	181.1	176.1	5.9°
L-L	368.8	357.8	314.8	279.6	272.3	269.3	6.1°
H-L	4.6	15.9	33.7	33.3	37.8	66.4	
LH	385.4	373.2	329.6	293.5	285.0	278.0	5.9°
L-L	4.1	16.0	33.9	33.5	36.7	60.8	
L-L	488.9	474.1	413.3	371.1	359.9	350.0	6.1°
	9.3	22.8	44.0	31.7	28.4	29.7	

© 2010 TANITA Corporation

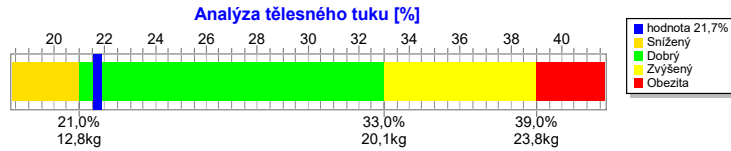
**Preventivní testování**

(Žena 23 Let)

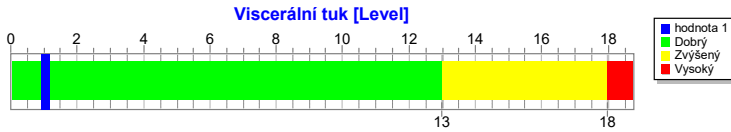
Měření na 18.04.2023 v 11:43 hodin

(Typ váhy: MC-980)

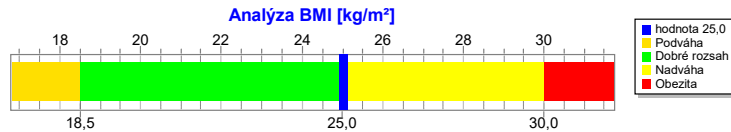
**Datum:** 18.04.2023  
**Tělesný tuk:** 21,7 %  
=13,2 kg



**Viscerální tuk:** 1 Level



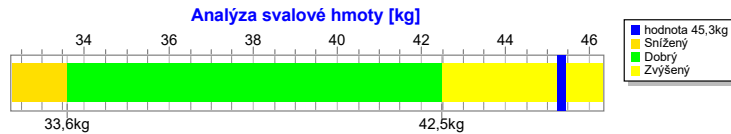
**Výška:** 156 cm  
**Hmotnost:** 60,9 kg  
**BMI:** 25,0 kg/m<sup>2</sup>



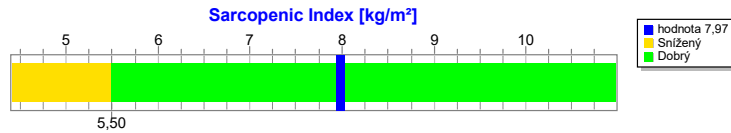
**Netučná hmota:** 47,7 kg  
**Svalová hmota:** 45,3 kg  
=74,4 %

**Kosterní svalstvo:** 27,3 kg  
=44,9 %

**Hmotnost kostí:** 2,4 kg



**Sarcopenic Index:** 7,97 kg/m<sup>2</sup>



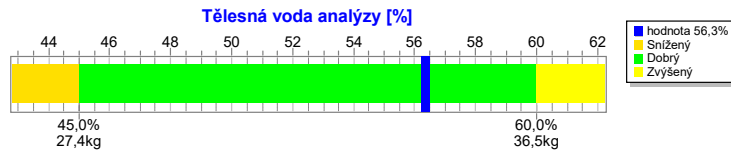
**Tělesná voda:** 56,3 %  
=34,3 kg

**ECW:** 13,9 kg

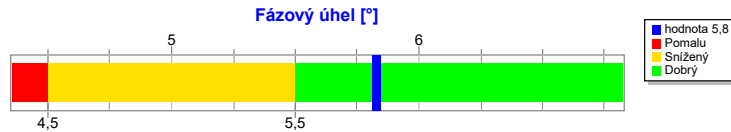
**ECW/TBW:** 40,5 %

**ICW:** 20,4 kg

**ICW / TBW:** 59,5 %



**Fázový úhel:** 5,8 °  
(@50kHz)



**Impedance:** 563 Ohm

**Metabolický věk:** 12 Roky

**Stupeň bazálního metabolismu:**  
6050 kJ = 1445 kcal

## 10.6. Pracovní list + řešení

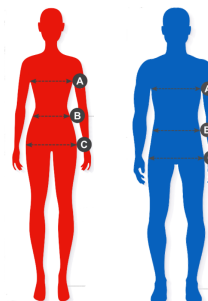
### Indexy tělesného složení



Pomůcky: krejčířský metr, váha

- Doplň následující tabulku, s vyplněnými daty budeš následně pracovat. Obvod hrudníku měř těsně pod lopatkami, ve předu veď metr těsně nad prsními bradavkami. Obvod pasu měř ve stoje v nejužším místě v oblasti pupíku a obvod boků rovněž ve stoje v nejširší oblasti s nohama u sebe.

Jméno a příjmení	
Pohlaví	
Věk	
Tělesná výška (cm)	
Tělesná hmotnost (kg)	
Obvod hrudníku (cm)	
Obvod pasu (cm)	
Obvod boku (cm)	



- Pomocí vzorce vypočítej BMI (body mass index) a s pomocí tabulky uveď do jaké hmotnostní kategorie tvé tělo spadá.

$$BMI = \frac{\text{hmotnost [kg]}}{(\text{výška [m]})^2}$$

.....  
 .....

Kategorie	BMI (kg/m <sup>2</sup> )
Podváha	<18,5
Norma	18,5–24,9
Nadváha	25,0–29,9
Obezita I. stupně	30,0–34,9
Obezita II. stupně	35,0–39,9
Obezita III. stupně	>40,0

- S pomocí vzorce vypočítej WHR (waist to hip ratio), který je ukazatelem rozložení podkožního tuku, který je ve větší míře pro zdraví rizikové. Prostřednictvím tabulky následně urči jaké je rozložení tuku tvého těla.

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

.....  
 .....

Zdravotní riziko (uložení tuku)	Žena	Muž
Minimální (spíše periferní)	<0,74	<0,84
Nízké (vyrovnané)	0,75-0,79	0,85-0,89
Střední (spíše centrální)	0,80-0,84	0,91-0,94
Vysoké (centrální)	>0,85	>0,95

- S pomocí vzorce vypočítej Pignet-Vearvekův index, který hodnotí typ tělesné stavby. K určení typu ti pomůže přiložená tabulka.

$$P-V = (\text{hmotnost [kg]} + \text{obvod hrudníku [cm]}) \cdot \frac{100}{\text{tělesná výška [cm]}}$$

.....  
 .....

Tělesný typ	Hodnoty indexu
Astenický	<70,0
Štíhlý	70,1-83,0
Střední	83,1-93,0
Silný	93,1-104,0
Hyperstenický	>104,1

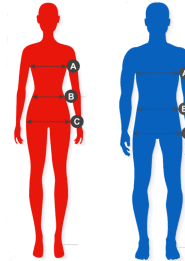
## Indexy tělesného složení



Pomůcky: krejčířský metr, váha

1. Doplň následující tabulku, s vyplněnými daty budeš následně pracovat. Obvod hrudníku měř těsně pod lopatkami, ve předu veď metr těsně nad prsními bradavkami. Obvod pasu měř ve stoje v nejužším místě v oblasti pupíku a obvod boků rovněž ve stoje v nejširší oblasti s nohama u sebe.

Jméno a příjmení	
Pohlaví	Žena
Věk	24
Tělesná výška (cm)	158
Tělesná hmotnost (kg)	60
Obvod hrudníku (cm)	55
Obvod pasu (cm)	72
Obvod boků (cm)	97



2. Pomocí vzorce vypočítej BMI (body mass index) a s pomocí tabulky uveď do jaké hmotnostní kategorie tvé tělo spadá.

$$BMI = \frac{\text{hmotnost [kg]}}{(\text{výška [m]})^2}$$

$$BMI = 24,03 \text{ kg/m}^2$$

S hodnotou 24,03 kg/m<sup>2</sup> je mé tělo klasifikováno jako normální hmotnost.

Kategorie	BMI (kg/m <sup>2</sup> )
Podváha	<18,5
Norma	18,5–24,9
Nadváha	25,0–29,9
Obezita I. stupně	30,0–34,9
Obezita II. stupně	35,0–39,9
Obezita III. stupně	>40,0

3. S pomocí vzorce vypočítej WHR (waist to hip ratio), který je ukazatelem rozložení podkožního tuku, který je ve větší míře pro zdraví rizikové. Prostřednictvím tabulky následně urči jaké je rozložení tuku tvého těla.

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

$$WHR = 0,74$$

Dle WHR indexu je zdravotní riziko (uložení tuku) minimální (spíše periferní).

Zdravotní riziko (uložení tuku)	Žena	Muž
Minimální (spíše periferní)	<0,74	<0,84
Nízké (vyrovnané)	0,75-0,79	0,85-0,89
Střední (spíše centrální)	0,80-0,84	0,91-0,94
Vysoké (centrální)	>0,85	>0,95

4. S pomocí vzorce vypočítej Pignet-Vearvekův index, který hodnotí typ tělesné stavby. K určení typu ti pomůže přiložená tabulka.

$$P-V = (\text{hmotnost [kg]} + \text{obvod hrudníku [cm]}) \cdot \frac{100}{\text{tělesná výška [cm]}}$$

$$P-V = 73,41$$

Dle Pignet-Vearvekova indexu spadá má postava do kategorie štíhlé postavy.

Tělesný typ	Hodnoty indexu
Astenický	<70,0
Štíhlý	70,1-83,0
Střední	83,1-93,0
Silný	93,1-104,0
Hyperstenický	>104,1