

Univerzita Palackého v Olomouci

Fakulta tělesné kultury



---

Fakulta  
tělesné kultury

## **AKTUÁLNÍ STAV KOSTNÍ DENZITY U STUDENTŮ A STUDENTEK FTK UP STANOVENÝ LOKÁLNÍM DENZITOMETREM**

Diplomová práce

Autor: Mgr. Bc. David Koloděj

Studijní program: Trenérství a management sportu

Vedoucí práce: doc. RNDr. Miroslava Přidalová, Ph.D.

Olomouc 2024



## **Bibliografická identifikace**

**Jméno autora:** Mgr. Bc. David Koloděj

**Název práce:** AKTUÁLNÍ STAV KOSTNÍ DENZITY U STUDENTŮ A STUDENTEK FTK UP STANOVENÝ LOKÁLNÍM DENZITOMETREM

**Vedoucí práce:** doc. RNDr. Mirolsava Přidalová, Ph.D.

**Pracoviště:** Katedra přírodních věd v kinantropologii

**Rok obhajoby:** 2024

### **Abstrakt:**

Cílem této diplomové práce je hodnocení aktuálního stavu kostní tkáně, zejména kostní denzity u studentů a studentek Fakulty tělesné kultury Univerzity Palackého v Olomouci měřeného lokálním denzitometrem EXA-3000, který umožňuje přesné stanovení a vyhodnocení stavu kostní tkáně v oblasti předloktí a paty. Cílovou skupinou jsou studenti v období plné dospělosti, konkrétně věková skupina 19–39 let. V průběhu výzkumu byla shromážděna data z měření kostní denzity u studentů obou pohlaví. Celkově bylo pro výzkum vybráno 530 probandů. Výsledky práce naznačují že muži mají vyšší kostní denzitu než ženy. Rozdíly v kostní denzitě mezi mladší (19 – 30 let) a starší (30,1 – 39 let) skupinou studentů nebyly významné. Výsledky by mohly poskytnout užitečné informace o stavu kostní tkáně u studentů sportovní VŠ a zároveň mohou sloužit k porovnání pro budoucí studie u jiné populace, která není, tak pohybově aktivní. Tato práce může podnítit další výzkumy v oblasti diagnostiky a prevence onemocnění skeletu u mladé populace a přispět k optimalizaci programů prevence a zdravotního vzdělávání ve sportovním prostředí.

### **Klíčová slova:**

osteoporóza, osteopenie, pohybová aktivita, dospělost, studenti, sportovní VŠ

Souhlasím s půjčováním práce v rámci knihovních služeb.

## **Bibliographical identification**

**Author:** David Kolodej, M.Sc. B.Sc

**Title:** THE CURRENT BONE DENSITY STATUS OF MALE AND FEMALE STUDENTS OF THE FACULTY OF PHYSICAL CULTURE AT PALACKY UNIVERSITY IN OLOMOUC, MEASURED BY THE LOCAL DENSITOMETER

**Supervisor:** Assoc. Prof. Miroslava Pridalova, M.Sc. Ph.D.

**Department:** Department of Natural Sciences in Kinanthropology

**Year:** 2024

### **Abstract:**

The aim of this thesis is to evaluate the current state of bone tissue, especially bone density in male and female students of the Faculty of Physical Culture of Palacký University in Olomouc, measured with the local densitometer EXA-3000, which allows accurate determination and evaluation of bone tissue in the forearm and heel area. The target group is students in the period of full adulthood, specifically the age group 19-39 years. During the course of the research, data was collected from bone density measurements in students of both genders. A total of 530 probands were selected for the research. The results of the study suggest that males have higher bone density than females. The differences in bone density between younger (19-30 years) and older (30.1-39 years) group of students were not significant. The results could provide useful information about the bone tissue status of sports university students and also may serve as a comparison for future studies in other populations that are not, as physically active. This work may stimulate further research into the diagnosis and prevention of skeletal disorders in the young population and contribute to the optimization of prevention and health education programs in the sport setting.

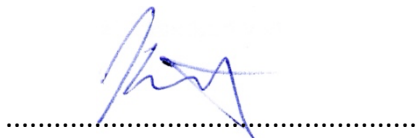
### **Keywords:**

Osteoporosis, Osteopenia, Physical activity, Adulthood, Students, University sport

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

Prohlašuji, že jsem tuto práci zpracoval samostatně pod vedením doc. RNDr. Miroslavy Přidalové, Ph.D., uvedl všechny použité literární a odborné zdroje a dodržoval zásady vědecké etiky.

V Ostravě dne 29. června 2024



Poděkování: Děkuji vedoucí diplomové práce paní doc. RNDr. Miroslavě Přidalové, Ph.D. za odbornou pomoc, trpělivost a cenné rady, které významně přispěli k zpracování této diplomové práce.

## OBSAH

Obsah .....	7
1 Úvod .....	9
2 Přehled poznatků .....	10
2.1 Ontogeneze člověka .....	10
2.1.1 Období plné dospělosti (18–30 let).....	10
2.1.2 Období mladého věku (30–45 let) .....	11
2.2 Fyziologické a somatické změny v období plné dospělosti .....	11
2.3 Fyziologické a somatické změny v období mladého věku .....	13
2.4 Pohyb v ontogenezi .....	15
2.4.1 Význam pohybu u dospělého.....	15
2.5 Základy osteologie.....	16
2.5.1 Struktura kostní tkáně.....	17
2.5.2 Metabolismus kostní tkáně.....	19
2.5.3 Osifikace kostí z hlediska ontogeneze.....	21
2.5.4 Kostní remodelace .....	23
2.5.5 Kostní denzita BMD a BMC .....	24
2.5.6 Adaptace skeletálního systému na PA .....	26
2.5.7 Kostní denzita u sportovců.....	29
2.6 Kostní onemocnění související s poruchou kostní denzity .....	31
2.6.1 Osteopenie.....	31
2.6.2 Osteoporóza.....	32
2.6.3 Prevence osteoporózy .....	34
2.7 Diagnostické metody pro kvalitativní analýzu kostní tkáně .....	35
2.7.1 Diagnostika osteoporózy.....	37
2.7.2 Validita měření.....	38
2.7.3 Indikace k měření BMD a BMC.....	40
3 Cíle.....	41
3.1 Hlavní cíl .....	41
3.2 Dílčí cíle .....	41
3.3 Výzkumné otázky.....	41
4 Metodika .....	42
4.1 Statistické zpracování dat.....	44
4.1.1 Elementární statistické zpracování dat .....	44

5	Výsledky .....	46
5.1	Hodnocení kostní denzity (BMD) .....	46
5.2	Hodnocení kostní denzity (Z-skóre) .....	50
5.3	Hodnocení kostní denzity (T-skóre) .....	54
6.	Diskuze .....	61
6.1.	Diskuze k VO1: Jaký je průměrný stav kostní denzity u studentů a studentek FTK UP ve srovnání se standardními referenčními hodnotami pro jejich věkovou skupinu? .....	61
6.2.	Diskuze k VO2: Má věk studentů a studentek FTK UP vliv na jejich kostní denzitu? Jsou zde patrné rozdíly mezi mladšími a staršími jedinci? .....	61
6.3.	Diskuze k VO3: Jaká je prevalence osteopenie a osteoporózy, mezi studenty a studentkami FTK UP? .....	62
8.	Závěr .....	65
9.	Souhrn .....	66
10.	Summary .....	67
11.	Referenční seznam .....	69
12.	Přílohy .....	79



# 1 ÚVOD

Kostní denzita (hustota), jako klíčový ukazatel skeletálního zdraví, má významný vliv na celkovou kvalitu života jednotlivce. Změny v kostní denzitě mohou být indikativní pro různé patologické stavy, včetně osteoporózy, která je jedním z hlavních faktorů rizika pro fraktury kostí. V posledních desetiletích získává výzkum kostní denzity a prevence osteoporózy stále větší pozornost (Povýšil et al., 2017, s. 1; Džupa & Jenšovský 2018 s. 9–10; Žofková, 2012, s. 10).

Tato diplomová práce se zaměřuje na aktuální stav kostní denzity u studentů a studentek Fakulty tělesné kultury Univerzity Palackého v Olomouci (FTK UP) a její stanovení pomocí lokálního denzitometru EXA 3000. Analyzována byla kostní denzita u mladých jedinců, což je populace často přehlížená v kontextu osteopenie, osteoporózy a skeletálního zdraví obecně.

V teoretické části této práce je nejprve představena charakteristika sledované skupiny skupiny, dále kapitoly věnované osteologii a patofyziologii kostních onemocnění a v neposlední řadě možnostem diagnostiky kostní denzity. Dále jsou diskutovány faktory ovlivňující kostní denzitu a rizikové faktory spojené s vývojem osteoporózy. Následně je představena metodologie výzkumu, včetně popisu použitého denzitometrického zařízení a způsobu sběru dat. Poté jsou formulovány cíle a hypotézy práce.

Cílem této práce je poskytnout komplexní přehled o kostní denzitě u studentů a studentek vysoké školy (VŠ) studujících na fakultě tělovýchovného zaměření, tedy populace, která má vyšší objem a intenzitu pohybové aktivity (PA). Dílčím cílem DP je posoudit variabilitu kostní denzity a případné odchylky od normativních hodnot, doporučených pro tuto populační skupinu.

Výsledky byly předány participantům, jsou prezentovány v této DP jako dílčí studie zabývající se kostním zdravím VŠ studujících s vyšší PA. Užitečné informace nejen pro studenty a studentky fakulty tělesné kultury slouží především k příp. profylaktickým opatřením osteoporózy u této cílové skupiny.

## 2 PŘEHLED POZNATKŮ

### 2.1 Ontogeneze člověka

Ve své práci se budu zaměřovat na studenty FTK UP – tělovýchovných oborů. Standardní doba studia včetně postgraduálního je od 19 do 28 let. Ve výzkumném souboru jsou však i studenti kombinované nebo dálkové formy studia, z tohoto důvodu budu ve své práci zkoumat skupinu 19–39 let. Charakteristiku daných věkových skupin z hlediska ontogeneze, fyziologických a somatických změn uvádím v této kapitole.

Průběh vývoje lidského jedince od oplození vajíčka, až do jeho smrti se nazývá ontogeneze. V každé fázi ontogenetického vývoje můžeme pozorovat řadu změn. Tyto změny jsou dvojího druhu: růstové a vývojové. Oba procesy jsou primárně určeny dědičnými faktory, jejichž uplatnění však ovlivňují faktory prostředí (Machová, 2002, s. 178).

Podle světové zdravotnické organizace (WHO) se období dospělosti dělí na následující kategorie:

- období plné dospělosti (18–30 let)
- období mladého věku (30–45 let)
- období středního věku (45–60 let)
- období stárnutí (60–75 let)
- období starého věku (75–90 let)
- období kmetské (nad 90 let)

#### **2.1.1 Období plné dospělosti (18–30 let)**

Období plné dospělosti začíná ve věku 18 let a pokračuje až do 30 let. V úvodní fázi tohoto období dosahuje jedinec své konečné výšky, u některých se dokončuje prořezávání třetích stoliček a zaznamenává se nárůst výkonnosti a objemu kosterního svalstva, což vede ke zvýšení celkové hmotnosti. Fyziologické systémy jsou na vrcholu své vitální kapacity a funkce. Paralelně s tím dochází k rozšiřování vrstvy podkožního

tuku. Z biologické perspektivy je tato fáze optimálním obdobím pro založení rodiny. Někteří jedinci však dosahují sociální zralosti až uprostřed tohoto rozmezí, neboť ještě dokončují svou kvalifikační přípravu prostřednictvím studia (Klementa et al., 1981, s. 292–293; Papalia et al., 2021, s. 521–622).

### **2.1.2 Období mladého věku (30–45 let)**

Po dosažení 30. roku života vstupujeme do období mladého věku, které pokračuje až do věku 45 let. Toto období je charakterizováno stabilním vývojem. kdy dosahuje tělesný rozvoj svého vrcholu a regresní změny jsou spíše malé. Mezi významnější vývojové změny patří postupné srůstání lebečních kostí, začínající u švu šířového asi 3 cm nad švem lambdovým. V druhé polovině tohoto období začínají vlasy postupně šedivět. Konec této fáze je doprovázen ochabováním svalstva, zvýšeným sklonem k ukládání tuku do podkoží a pozvolným přibýváním tělesné hmotnosti. Oční čočka začíná ztrácet svou pružnost a objevují se první příznaky stařecké dalekozrakosti. Somatické funkce se postupně snižují, zatímco v oblasti psychické dochází k akumulaci dalších životních zkušeností a psychickému zrání (Klementa et al., 1981, s. 292–293; Papalia et al., 2021, s. 521–622, Riegerová et al., 2006 s. 96).

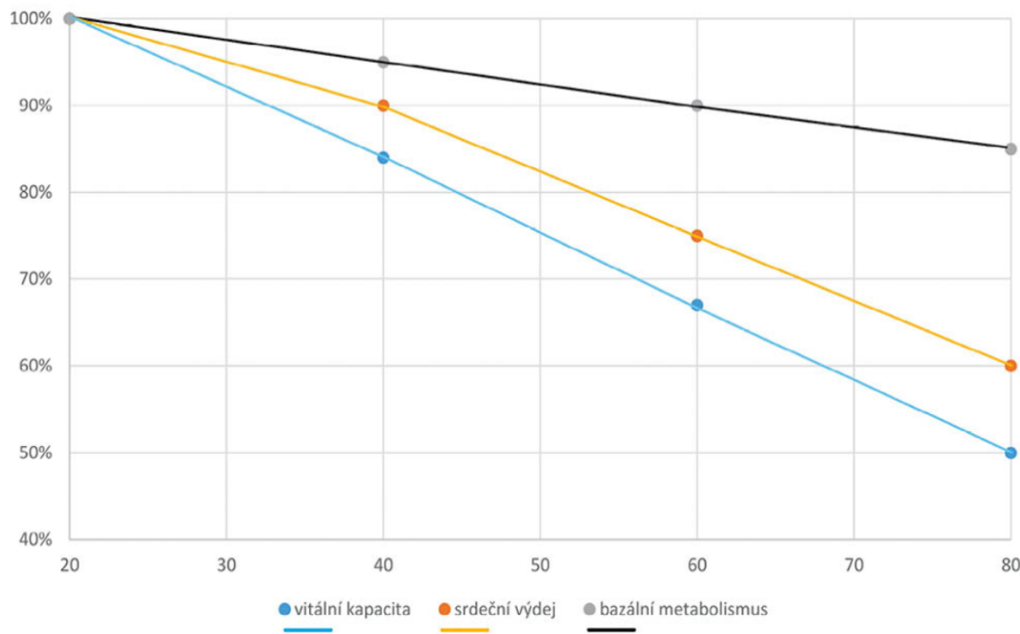
## **2.2 Fyziologické a somatické změny v období plné dospělosti**

Plná dospělost, trvající od 18 do 30 let, je období charakterizované významnými fyziologickými a somatickými změnami, kdy jedinci dosahují vrcholu svého fyzického zdraví a reprodukční schopnosti. Během této fáze prochází tělo různými proměnami, které jsou vedeny genetickými faktory, volbou životního stylu a vlivy prostředí. Lidé ve věku od dvaceti do čtyřiceti let jsou považováni za osoby v raném věku. V době, kdy dosáhneme rané dospělosti, je naše fyzické zrání dokončeno, i když se naše výška a hmotnost mohou mírně zvýšit. Lidé ve věku kolem dvaceti let jsou pravděpodobně na vrcholu svého fyziologického vývoje včetně svalové síly, reakční doby, smyslových schopností a srdeční činnosti (*Obrázek 1*). Kosterní systém rovněž dosahuje vrcholného zrání. Nejvyšší denzita (hustota) kostních minerálů je zaznamenána právě v období mezi 25. a 30. rokem života, a poté začíná klesat. Již od 30. roku života je pozorován úbytek Ca v kostní tkáni. Průměr BMD (bone mineral density/denzita kostních minerálů) u

mladých dospělých mužů je asi o 10 % vyšší než u žen stejného věku (Povýšil et al., 2017, s. 1–17). Reprodukční systém, motorické schopnosti, síla a respirační funkce fungují na nejlepší úrovni (Obrázek 1 a 2). Většina profesionálních sportovců je v této fázi na vrcholu svých sil (Tyler et al., 2020, s. 822).

### Obrázek 1

Závislost vybraných fyziologických funkcí na věku

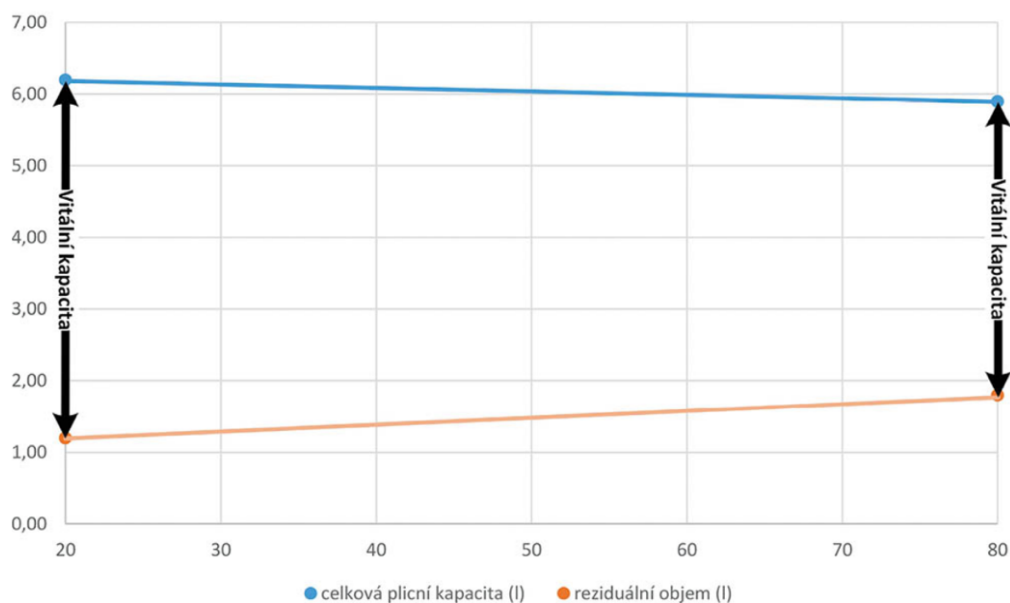


zdroj: Lékařská fyziologie (Kittnar et al., 2020)

Proces stárnutí ve skutečnosti začíná v rané dospělosti. Kolem třicátého roku věku začíná docházet k mnoha změnám v různých částech těla. Například oční čočka začíná tuhnout a zesilovat, což má za následek změny ve vidění (obvykle ovlivňují schopnost zaostřit na blízké předměty). Snižuje se citlivost na zvuk; u mužů k tomu dochází dvakrát rychleji než u žen. Vlasy mohou začít řídnout a šedivět kolem 35. roku věku, i když u některých jedinců k tomu může dojít dříve a u jiných později. Kůže se stává sušší a na konci rané dospělosti se začínají objevovat vrásky. K tomu patří i zhoršení reakční doby a schopnosti rychle se zotavit z fyzické námahy. Imunitní systém se také stává méně zdatným v boji proti nemocem a začíná se snižovat reprodukční schopnost (Tyler et al., 2020, s. 822).

## Obrázek 2

### Závislost plicního objemu na věku



zdroj: *Lékařská fyziologie* (Kittnar et al., 2020)

### 2.3 Fyziologické a somatické změny v období mladého věku

Po dosažení věku 30 let začíná fáze zralosti, která trvá až do 45 let. Toto období je charakterizováno stabilitou, přestože vývojové změny probíhají kontinuálně po celý život. Již v průběhu středního věku dochází k postupnému vývoji fyziologických změn téměř ve všech orgánových systémech, které jsou spojeny se stárnutím. První vizuální projevy stárnutí se objevují ve formě šedivých vlasů. Z hlediska smyslových orgánů dochází nejdříve k úbytku pružnosti oční čočky, což má za následek zhoršení zraku. V oblasti sluchu dochází nejprve k omezení vnímání vysokých tónů (Riegerová et al., 2006, s. 95).

S postupem věku dochází nejen ke změnám v různých orgánových systémech, ale také k proměnám ve složení tkání. Celkový objem tělesné vody se postupně snižuje, zejména kvůli úbytku intracelulární vody. Současně klesá objem plazmy a koncentrace plazmatických bílkovin, především albumin. Většina tkání vykazuje úbytek buněk a postupnou degeneraci organel a membránových struktur, včetně receptorů. To má za následek zpomalené dělení buněk, sníženou schopnost reakce na signály a omezení

reparačních schopností. Kromě toho se mění složení mezibuněčné hmoty, kde klesá podíl rozpustného kolagenu a stoupá obsah kalcia a hyaluronové kyseliny. Tyto změny ovlivňují difuzibilitu látek, což například ovlivňuje dýchání a vstřebávání živin (Kittnar et al., 2020, s. 720).

Stárnutí oběhového systému také ilustruje snižování funkčních rezerv viz *obr. 1 a 2*. Maximální tepová frekvence a tepový objem klesají, to omezuje maximální minutový srdeční výdej. V cévách se zvyšuje tuhost, což vede ke zvýšení arteriálního tlaku. Dýchací systém se stává méně elastickým a tím ovlivňuje výměnu plynů a snižuje ventilaci. Objem a kapacita plic klesají, a to má za následek pokles vitální kapacity a minutové ventilace (Kittnar et al., 2020, s. 721–722).

Trávicí systém se stává méně efektivním, což ovlivňuje produkci trávicích šťáv a absorpci živin. Produkce šťáv i motilita traktu se snižují. Snížená funkce jater a ledvin ovlivňuje detoxikaci a vylučování látek (Kittnar et al., 2020, s. 723).

Stárnutí je také spojeno s poklesem objemu svalové hmoty (v průměru o 6 kg mezi 30. a 80. rokem věku), která je nahrazována tukovou tkání. To vede k poklesu bazálního metabolismu (cca o 1 % ročně od 30. roku věku). Dochází k degenerativním změnám kloubních chrupavek a snižování objemu synoviální tekutiny, což vede k ztuhlosti kloubů a omezení jejich hybnosti (Kittnar et al., 2020, s. 724).

Kůže ztrácí vlhkost a elasticitu, což vede k tvorbě vrásek a pigmentových změn. Nervový systém se zmenšuje a dochází k redukci spojení mezi neurony, což ovlivňuje paměť, orientaci a motoriku. Termoregulační schopnosti se zhoršují, což může vést k potížím s udržení tělesné teploty (Kittnar et al., 2020, s. 725).

Stárnutí je tedy neodvratným, univerzálním a druhově specifickým biologickým procesem, který je charakterizován postupným snižováním funkčních rezerv, vitality, adaptabilní schopnosti a schopnosti udržovat homeostázu. Kromě fyziologického stárnutí (zdravého) se obvykle projevuje i patologické (nezdravé) stárnutí, což znamená zvýšený výskyt různých chorob spojených s vyšším věkem (Kalvach et al., 1997).

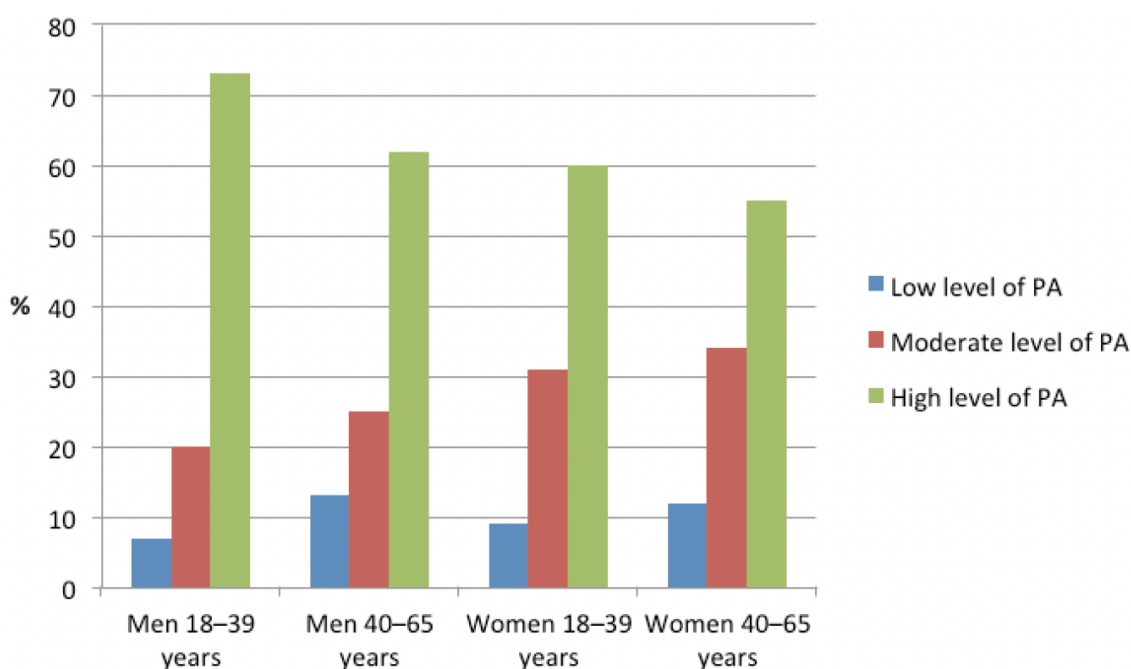
## 2.4 Pohyb v ontogenezi

### 2.4.1 Význam pohybu u dospělého

U dětí a mladistvých má pohyb přímý dopad na formování tvaru a funkce jejich těla, zatímco u dospělých je klíčový pro udržení těchto funkcí a struktur a podporuje homeostázu. Důležitost pohybu trvá po celý život a je nezbytná ve všech fázích vývoje. Pohyb podněcuje činnost orgánů i celého organismu a je výsledkem předchozího životního stylu a výchovy. Rozhodnutí o pohybových aktivitách v dospělosti se tedy formuje již v dětství. Potřeba pohybu trvá celý život, a pokud není uspokojena, mohou se vyvinout poruchy. Není možné najednou přestat (ani začít) s cvičením (Dylevský et al., 1997, s. 26).

#### Obrázek 3

*Prevalence pohybové aktivity u českých mladších a starších mužů a žen*



zdroj: *Physical activity in the lifestyle of the adult and senior population in the Czech Republic* (Pelclová, 2015, s. 61)

Se stárnutím bohužel pozorujeme úbytek pohybové aktivity (Obrázek 3). Důvodů může být mnoho od socioekonomických až po zdravotní. Pohybová aktivita a sportovní činnosti se stávají stále důležitějšími pro starší lidi. Pohyb sehrává významnou úlohu v prevenci nemocí, ale také v zpomalení regresivních procesů. Regresivní změny se projevují v tkáních kloubů, svalů a cév. Ze sportovního hlediska můžeme již v období

mladého věku, tedy od 31 let, hovořit o začátku středního věku, zejména u výkonnostních sportovců. V některých disciplínách dochází v tomto věku k výraznému poklesu maximální výkonnosti. Stejně jako doba nástupu vrcholné výkonnosti není ani doba jejího snížení pro všechny činnosti a jedince fixní. Při posuzování dynamiky maximální výkonnosti je důležité respektovat postupný pokles. Nejdříve dochází k omezení pohyblivosti (po 20. roce, s poklesem na počátku třetího desetiletí), následuje pokles rychlosti (po 22.–24. roce, s vrcholem poklesu mezi 30.–50. rokem). Vytrvalost začíná klesat po dosažení vrcholu kolem 30. roku. Nakonec klesá obratnost a statická síla kolem 30.–40. roku. Tyto faktory je nutné brát v úvahu při volbě sportovních aktivit. Vrcholový sport by měl být ukončen do 40. roku života. Pohybová aktivita přispívá k dodržování humanistické zásady "přidání života k letům". Sice nezajišťuje imunitu proti stárnutí, ale výrazně usnadňuje celý proces stárnutí díky fyzické a psychické zdatnosti (Dylevský et al., 1997, s. 26–28).

## 2.5 Základy osteologie

Kostní (osseous) tkáň představuje mineralizovanou strukturu, která vzniká procesem nazývaným osifikace. Tento proces je aktivován osteoblasty, buněčnými jednotkami specializovanými na produkci kostní hmoty. Po jejich integraci do tkáně přecházejí osteoblasty v stadium osteocytů. Všechny kosti dohromady vytvářejí kostru, skelet, která je základem pasivního lokomočního aparátu. Na povrchu kostí, s výjimkou oblastí spojených svalovými a vazivovými strukturami a kloubními plochami, které jsou obvykle pokryty chrupavkou, se nachází vazivový obal zvaný periost, zatímco vnitřní povrchy jsou vystlány endosteem (Čihák & Grim, 2011, s. 497).

Kosti plní několik klíčových funkcí: poskytují oporu těla, chrání důležité vnitřní orgány, umožňují pákovou aktivaci svalů, uchovávají minerály jako vápník a fosfor (nedostatek těchto minerálů může vést k oslabení kostí a zvýšenému riziku zlomenin), podporují krvetvorbu a imunitní systém a slouží jako zásobárna energie v podobě lipidů v žluté kostní dřeni. Zdravá kostní tkáň tedy ovlivňuje mnoho fyziologických funkcí (Botek et al., 2017, s. 84).



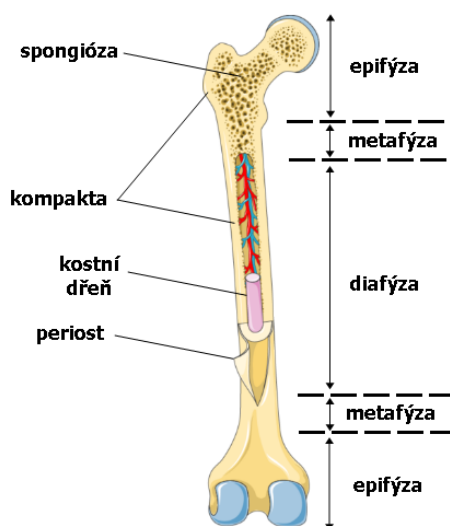
### 2.5.1 Struktura kostní tkáně

Kostní matrix se skládá ze dvou hlavních složek: organického osteoidu, který představuje 35 % a minerální složky, tvořící 65 %. V této matrix se nacházejí různé typy kostních buněk, jako jsou například osteocyty, které jsou zodpovědné za ukládání kostní hmoty a osteoklasty, které ji naopak odbourávají a udržují tak rovnováhu kostní hmoty.

Osteoid obsahuje hlavně kolagen typu I, glykosaminoglykany a další proteiny. Tvrdost kostní matrix je způsobena přítomností anorganické sloučeniny hydroxyapatitu ( $\text{Ca}_{10}[\text{PO}_4]_6[\text{OH}]_2$ ). Kostní matrix může mít dvě histologické formy: vláknitou a lamelární. Vláknitá kost vzniká rychle během embryonálního vývoje nebo hojení zlomenin, nemá takovou strukturální integritu jako lamelární kost kvůli neuspořádanému uspořádání kolagenu. Přítomnost vláknitých kostí u dospělých obvykle signalizuje abnormalitu, ale není specifická pro žádný konkrétní stav. V typickém průřezu dlouhé kosti (Obrázek 4) je hustá kůra obklopená centrální medulou s kostními trabekuly (Kumar, Abbas & Aster, 2017, s. 797–798; Barrett et al., 2015, s. 383).

Obrázek 4

Schéma kosti stehenní (femur)

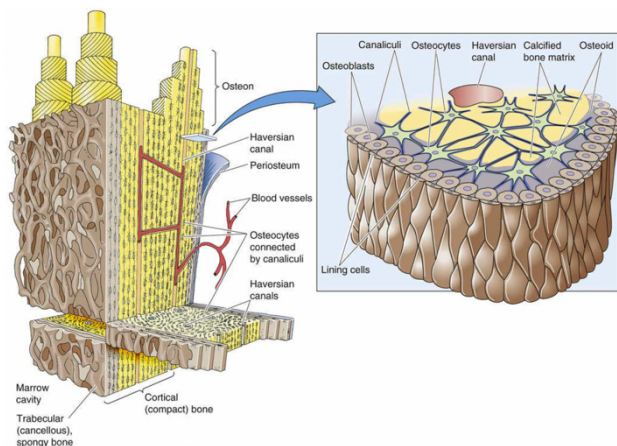


© Servier Medical Art  
upravil: dr. Jiří Štefánek

zdroj: <https://www.stefajir.cz/kost-obecne-informace>

Obrázek 5

Schéma kortikální a trabekulární kosti



zdroj: *Medical Physiology* (Boron & Boulpaep, 2016)

Za fyziologických okolností je každá kost lidského skeletu tvořena dvěma histologickými typy kosti – kompaktní kosti nazývané také (kortikální, corticalis) a trabekulární kosti, známé též jako (houbovitá/spongiózní/trámčitá kost, trabecularis), (Obrázek 5). Kost kortikální představuje 80 % celkové hmoty skeletu a propůjčuje mu tuhost potřebnou v zátěži. Části skeletu bohaté na trámčinu (zbývajících 20 % skeletální masy) zajišťují pružnost těch částí skeletu, které jsou vystaveny nárazům a jiným ipmaktům (obratle, juxtaartikulární úseky dlouhých kostí) a umožňují jejich absorpci. Dlouhé kosti jsou tvořeny převážně kortikální kostí, těla obratlů zase naopak trámčitou kostí (Neumann, 2017; Seeman 2003).

Kortikální (také nazývaná kompaktní) kost představuje 80 % z celkové kostní hmoty. Kortikální kost je vnější vrstva (kůra) všech kostí a tvoří podstatnou část dlouhých kostí těla. Je to hustá tkáň složená převážně z kostních minerálních a extracelulárních matrixových prvků, přerušovaná pouze pronikáním do krevních cév a řídkou populací osteocytů uhnízděných uvnitř kosti. Tyto osteocyty jsou vzájemně propojeny mezi sebou a s osteoblasty na povrchu kosti pomocí canaliculi, přes které osteocyty rozšiřují buněčné procesy. Tato spojení umožňují přenos  $Ca^{2+}$  z nitra kosti na povrch, což je proces zvaný osteocytická osteolýza (Boron & Boulpaep, 2016, s. 967–970; Barrett et al., 2015, s. 383).

Trabekulární (známá též jako spongiózní/houbovitá) kost tvoří 20 % z celkové kostní hmoty. Nachází se ve vnitřku kostí a je zvláště výrazná v rámci obratlů. Je tvořena sítí tenkých, houbovitých trabekulárních, neboli kostních špiček, uspořádaných do mřížkovitého vzoru, které přesahují z kůry do medulární dutiny. Síť kostních špiček je v mnoha oblastech lemována osteoblasty a osteoklasty, buňkami podílejícími se na remodelaci kostí. Trabekulární kost je neustále syntetizována a resorbována těmito buněčnými prvky. Kostní obraty se vyskytují také v kortikální kosti, ale frakční rychlost obratu je mnohem nižší. Když rychlost kostní resorpce v průběhu času překročí rychlost syntézy, ztráta kostního minerálu vyvolá onemocnění zvané osteoporóza (Boron & Boulpaep, 2016, s. 967–970; Barrett et al., 2015, s. 383).

Kortikální část kostí se primárně stará o mechanickou a ochrannou funkci, zatímco trabekulární kost hraje důležitou roli v metabolických procesech (Dylevský et al., 1997, s. 105–107).

### **2.5.2 Metabolismus kostní tkáně**

Kostní tkáň plní v těle řadu funkcí, z nichž nejdůležitější jsou funkce opory (pro svalový systém), ochrany (pro kostní dřev jako místo tvorby krve) a zásobní (pro ukládání vápníku a fosfátů). Při dlouhodobé metabolické acidóze může kostní tkáň uvolňovat fosfáty a bikarbonáty jako pufry (Botek et al., 2017, s. 84).

V kostech se nachází tři hlavní typy buněk:

- Osteoblasty, umístěné na povrchu matrix, produkují a organizují kostní hmotu a regulují její mineralizaci. Vycházejí z mezenchymálních kmenových buněk pod periosteem a později migrují do medulárního prostoru.
- Osteocyty, umístěné uvnitř kosti, jsou propojené pomocí canaliculi a zajišťují komunikaci. Regulují hladiny vápníku a fosfátů, vnímají mechanické signály a reagují na ně biologicky, což se nazývá mechanotransdukce.
- Osteoklasty, nalezené na povrchu kosti, jsou specializované vícejaderné makrofágy, které resorbují kost. Připojují se k matrix a vytvářejí resorpční jámy, kde uvolňují kyselinu a proteázy, zejména matrixové metaloproteázy (MMP), které rozkládají kostní tkáň.
- Mezibuněčná hmota – obsahuje organickou složku (kolagen a další proteiny) a anorganickou složku (různé formy apatitu, tj. fosforečnanu vápenatého), (Boron & Boulpaep, 2016, s. 967; Dylevský et al., 1997, s. 101–102).

Osteoblasty jsou buňky přibližně kubického tvaru s četnými poměrně dlouhými výběžky, kterými jsou propojeny s dalšími osteoblasty. Tato propojení umožňují látkovou výměnu v kosti. Osteoblasty jsou bohatě vybaveny organelami, což svědčí o jejich schopnosti produkce bílkovin. Avšak postupně redukuje svou organelovou výbavu, částečně stahuje své výběžky a transformují se do protáhlých, vřetenitých osteocytů. V kosti jsou tak současně přítomny osteocyty i osteoblasty. Osteoblasty se nacházejí

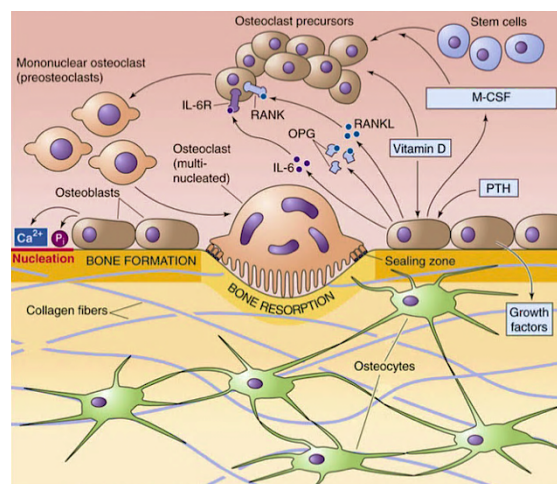
především na místech v kosti, kde probíhá novotvorba nebo přestavba kostní tkáně. V dospělosti nejsou osteoblasty v kosti rovnoměrně rozloženy a mezi 20. a 45. rokem obsazují pouze 2–8 % kostní tkáně (Dylevský et al., 1997, s. 101–102).

Osteoklasty jsou velké buňky s mnoha jádry, které se vyskytují na místech přestavby kosti, kde dochází ke resorpci kostní hmoty. Osteoklasty jsou jedním ze čtyř typů kostních buněk. Jsou to obrovské buňky (o průměru přibližně 150–200  $\mu\text{m}$ ) s mnoha nepravidelnými výběžky a několika desítkami jader. Osteoklasty se nacházejí ve vyhloubených jamkách, kde ničí kostní tkáň. Rozvolňují přitom kostní matrix; mají tedy opačnou funkci než osteoblasty. Vylučují proto různé kolagenázy, další enzymy a dále produkují vodíkové kationty, čímž rozpouští vápenaté krystaly. Aktivita osteoklastů je přísně regulována – roli hrají různé cytokiny a hormony parathormon a kalcitonin (Jelínek et al., n.d.; Dylevský et al., 1997, s. 101–102).

Osteocyty se podílejí na uvolňování minerálů z kostní tkáně a jsou součástí regulačních mechanismů, které udržují hladinu vápníku v tělesných tekutinách, zejména v krevní plazmě. Látková výměna v kostní tkáni je ztížena její mineralizací. Cesta, kterou přesto dochází k vysoce intenzivní a regulované látkové výměně uvnitř kostní tkáně, je realizována především kontakty výběžků kostních buněk. Doba života osteocytů je přibližně dvacet let. Když osteocyty zaniknou, již nejsou nahrazovány a malé prostorové mezery, ve kterých buňky leží, zůstávají prázdné (Dylevský et al., 1997, s. 101–102).

## Obrázek 6

### Formace a resorpce kostní tkáně



zdroj: *Medical Physiology* (Boron & Boulpaep, 2016)

Kost je tedy živou tkání, která neustále prochází procesy stavby a rozkladu (Obrázek 6). Hormonální regulace metabolismu kostí je klíčová. Parathormon stimuluje aktivitu osteoklastů, což vede k rozkladu kostní tkáně a uvolňování vápníku a fosfátů do krve. Kalcitonin inhibuje činnost osteoklastů, což vede ke zvýšenému ukládání vápníku v kostech a sníženému rozkladu kostí. Kalcitriol (aktivní forma vitamínu D) zvyšuje absorpci vápníku a fosfátů v tenkém střevě, což zajišťuje dostupnost těchto látek pro výstavbu kostí a podporuje syntézu kolagenu aktivací osteoblastů. Další hormony ovlivňující metabolismus kostí zahrnují estrogeny (mají podobnou funkci jako kalcitonin), somatotropin (stimuluje tvorbu kostní tkáně), inzulín (podporuje aktivitu osteoblastů), glukokortikoidy (snížují tvorbu kostní hmoty inhibicí proteosyntézy) a thyroïdní hormony (stimulují osteoklasty), (Botek et al., 2017, s. 84).

### **2.5.3 Osifikace kostí z hlediska ontogeneze**

Osifikace, známá též jako kostní tvorba, představuje proces vytváření a ztuhnutí kostí. Vývoj kostní tkáně je kontinuálním procesem, který probíhá od početí až po dospělost. Tento proces se odehrává skrze tři klíčové fáze: embryonální, fetální a postnatální (Dylevský et al., 1997; s. 108–110).

Během embryogeneze se dlouhé kosti vyvíjejí z chrupavčité tkáně procesem endochondrální osifikace. Embryonální vývoj kostí započíná formováním kostní tkáně z totipotentních mezenchymálních buněk. Přibližně v 8. týdnu těhotenství je centrální část chrupavčité tkáně resorbována, čímž se vytvoří medulární kanálek. Současně v diafýze začnou osteoblasty ukládat kůru pod okostici, čímž vzniká primární centrum osifikace a kost roste radiálně. Na každém podélném konci (epifýze) probíhá endochondrální osifikace centrifugálním způsobem (sekundární centrum osifikace). Nakonec se deska chrupavky zachytí mezi dvěma expandujícími centry osifikace, čímž se vytvoří fýza neboli růstová ploténka. Chondrocyty v růstové ploténce procházejí sekvenčním proliferováním, hypertrofií a apoptózou. V oblasti apoptózy matrix mineralizuje a je zásobován kapilárami, které poskytují živiny pro osteoblasty, jež syntetizují osteoidy. Tento proces vede k podélnému růstu kostí. Intramembránová osifikace je naproti tomu zodpovědná za vývoj plochých kostí. Kostí lebeční například vznikají osteoblasty přímo z vláknité vrstvy tkáně, bez anlagenu chrupavky. Zvětšení plochých kostí je dosaženo

nanesením nové kosti na již existující povrch (Hasegawa et al., 2022; Džupa & Jenšovský, 2018, s. 14–20; Kumar, Abbas & Aster, 2017, s. 798–799).

Například kost stehenní (femur) prochází procesem osifikace z pěti chrupavčitých základů: diafýzy, dvou epifýz a dvou apofýz, umístěných v každém trochanteru. Osifikace v oblasti diafýzy femuru začíná v 7. týdnu fetálního vývoje. Distální epifýza osifikuje v 9. měsíci prenatálního vývoje a slouží jako jedna ze známek plného donošení plodu. Proximální epifýza, která se nachází v hlavici femuru osifikuje kolem 6. měsíce po narození. Apofýzy osifikují postupně s velkým trochanterem kolem 3.–4. roku věku a s malým trochanterem kolem 8. až 11. roku. Pro růst je klíčová distální epifýza, která je aktivnější v růstu. Uzavírání epifýzových a apofýzových štěrbin probíhá dříve na proximální části femuru (proximální epifýza je epifýza, která se nachází blíže středu těla). U malého trochanteru po 14. roce, u velkého trochanteru po 16. roce, u hlavice femuru po 17. roce a na distální straně po 18. roce věku. Tvorba osifikačních jader i splývání osifikačních plotének probíhá zpravidla dříve u dívek (Povýšil et al., 2017, s. 15–16).

Během dětství se kostní hmota akumuluje pomalu. Nicméně s nástupem puberty a růstového spurtu se získávání minerální složky kostí urychluje, dosahuje svého vrcholu krátce po dosažení maximálního přírůstku výšky. U evropské populace je vrchol kostní minerální akrece zaznamenán ve věku kolem 12,5 let u dívek a 14,1 let u chlapců (Bailey et al., 1999). Během čtyř let od tohoto vrcholu se získá přibližně 39 % celkového tělesného minerálního obsahu kostí, a do čtyř let po něm se dosáhne 95 % dospělé kostní hmoty (Baxter-Jones et al., 2011).

Existuje několik faktorů ovlivňujících osifikaci, včetně genetiky, stravy a fyzické aktivity. Například nedostatek vápníku nebo vitamínu D může zpomalit proces osifikace, zatímco pravidelná fyzická aktivita může posílit a zahustit kosti. Osifikace je klíčový proces pro vývoj a udržení integrity kostry a narušení tohoto procesu může vést k různým kostním abnormalitám a dalším zdravotním problémům. Z tohoto důvodu je nezbytné zajistit, aby děti a dospívající získávali potřebné živiny a zapojovali se do fyzické aktivity podporující zdravý vývoj kostí.

#### **2.5.4 Kostní remodelace**

I když se kostra dospělého může jevit jako statická, prochází konstantní obměnou prostřednictvím pečlivě regulovaného procesu známého jako remodelace. V průběhu života dochází k neustálé remodelaci (přestavbě) kostní tkáně v souvislosti s přizpůsobováním kostí zátěži, reparováním mechanických poškození či metabolismem Ca a fosfátů. Na mikroskopické úrovni dochází k této remodelaci v rámci specializovaných struktur zvaných kostní (nebo základní) multicelulární jednotky kde se na kostním povrchu odehrává vázaná aktivita osteoblastů a osteoklastů. Tyto děje v rámci BMU jsou pevně regulovány buněčnými interakcemi a cytokiny (Botek et al., 2017, s. 84; Kumar, Abbas & Aster, 2017, s. 799; Barrett et al., 2015, s. 383–386).

Stěžejní signální dráha řídící remodelaci zahrnuje tři klíčové faktory: (1) aktivátor transmembránového receptoru NF- $\kappa$ B (RANK), přítomný na osteoklastálních prekurzorech; (2) RANK ligand (RANKL), exprimovaný osteoblasty a buňkami kostní dřene; (3) osteoprotegerin (OPG), sekreční „klamný“ receptor syntetizovaný osteoblasty, který inhibuje interakci mezi RANK a RANKL. Signalizace RANK aktivuje transkripční faktor NF- $\kappa$ B, klíčový pro vznik a přežití osteoklastů. Další základní dráhy zahrnují monocyty stimulující faktor (M-CSF), produkovaný osteoblasty, a WNT proteiny, které se váží na receptory LRP5 a LRP6 na osteoblastech, stimulující tvorbu OPG (Kumar, Abbas & Aster, 2017, s. 799; Barrett et al., 2015, s. 383–386).

Kostní tkáň reaguje výrazně na mechanické stresové podněty, které mají klíčový vliv na procesy diferenciací a formace osteoklastů a osteoblastů, a tím i na resorpční a formační funkce kostí (Robling, 2002; Li et al., 2021). Tato stimulace prostřednictvím mechanického namáhání zásadně ovlivňuje mikroprostředí kostní tkáně a její metabolismus. Nedostatek této stimulace může vést k degeneraci mikrostruktury kostí, ztrátě hmotnosti a poruchám metabolismu, což nakonec může přerůst do osteoporózy (Brand, 2010). Situace, kde není kostní tkáň vystavena mechanickému stresu, jako je fixace končetin v dlaze, dlouhodobá hospitalizace, snížená fyzická aktivita a beztlížnost astronautů ve vesmíru, může způsobit významný úbytek kostní hmoty (Berg et al., 2007; Ragnarsson, 2015). Naopak, mechanická zátěž způsobená například cvičením může v

mnoha případech obnovit kostní hmotu a zvrátit tyto nepříznivé účinky (Iura et al., 2015; Suniaga et al., 2018).

Podle systematického přehledu od Faienza et al. (2020) je remodelace kostí celoživotní proces, který je řízen WNT- $\beta$ -kateninovou dráhou a systémem RANK-RANKL/OPG. Stárnutí kostí, charakterizované nerovnováhou mezi tvorbou a resorpcí kostí, může přispět k rozvoji osteopenie a osteoporózy. Studie naznačují, že fyzická aktivita během růstu zvyšuje akumulaci kostní hmoty a oddaluje nástup osteoporózy. Důkazy ukazují, že fyzická aktivita je spojena s vyšší densitou minerálů v kostech a nižším rizikem zlomenin. Tento přínos se udržuje s věkem, přestože se fyzická aktivita v dospělosti snižuje. Podpora fyzické aktivity může mít mnoho výhod nejen pro zdraví kostí, ale také slouží jako preventivní opatření proti osteoporóze a dalším patologiím. Reakce kostní tkáně na mechanické podněty je ovlivněna faktory jako je věk, hormonální hladiny a další metabolické faktory, stejně jako věk, kdy jedinec začal s pravidelným cvičením, intenzita, délka a frekvence cvičení. Zdůrazňuje se, že podpora fyzické aktivity během vývoje kostí může maximalizovat šance na udržení kvality kostní tkáně a oddálit nástup osteoporózy v pozdějším věku (Faienza et al., 2020).

Podle systematického přehledu od Jürimäe, Gruodyte-Racienne, & Baxter-Jones et al., (2018) má množství kostní hmoty získané v dětství a adolescenci vliv na celoživotní zdraví kostí.

### **2.5.5 Kostní denzita BMD a BMC**

BMD (Bone Mineral Density), denzita kostních minerálů, představuje množství kostního minerálu v dané kostní tkáni. Odvodí se vydělením BMC (g) plochou (cm<sup>2</sup>). BMD je vyjádřena jako počet gramů na centimetr čtvereční (g/cm<sup>2</sup>). Tato hodnota se může měřit v konkrétních oblastech těla (lumbální oblast páteře, proximální oblast femuru, předloktí, pata atd.) nebo celotělově. Klinicky je BMD klíčovým ukazatelem, zejména pro posouzení rizika osteoporotických zlomenin u starší populace, která je ohrožená. Určité oblasti, jako je bederní páteř a krček stehenní kosti, jsou běžně sledovány kvůli své klinické relevanci, protože právě zde se často vyskytují zlomeniny. Měření kostní denzity (BMD) je důležitým indikátorem zdraví kosterního systému, které



určuje pevnost a odolnost kostí. Vyšší hodnoty BMD naznačují silnější kosti, zatímco nižší hodnoty BMD naznačují slabší kosti. Genetické faktory jsou hlavním určujícím faktorem BMD, nicméně prostředí a užívání léků může mít také vliv na její modulaci (Caballero, Finglas & Toldrá, 2015 [kapitola: Osteoporosis, Nayak, s. 181–185]; Matalová et al., 2018, s. 23–24; Džupa & Jenšovský, 2018, s. 63–65).

BMC (Bone Mineral Content), obsah kostních minerálů, je míra kostního minerálu v dané oblasti, vyjádřená v gramech (g). Tato hodnota se měří buď v konkrétních místech těla nebo jako celková hodnota pro celé tělo. BMC vyjadřuje absolutní hodnotu minerálů v kostní tkáni. Obsah kostních minerálů s věkem klesá; tento proces stárnutí se nazývá "osteopenie". Je třeba jej odlišit od souvisejícího patologického procesu, při kterém dochází ke změně kostní struktury a vzniku "osteoporózy" (Solomons, 2017, s. 400–404).

Je důležité rozlišovat mezi BMC a BMD. Zatímco BMC měří absolutní množství minerálů v kostech, BMD vyjadřuje BMC normalizované na objem kostní tkáně, což nám dává představu o jejich denzitě (Caballero, Finglas & Toldrá, 2015 [kapitola: Osteoporosis, Nayak, s. 181–185]).

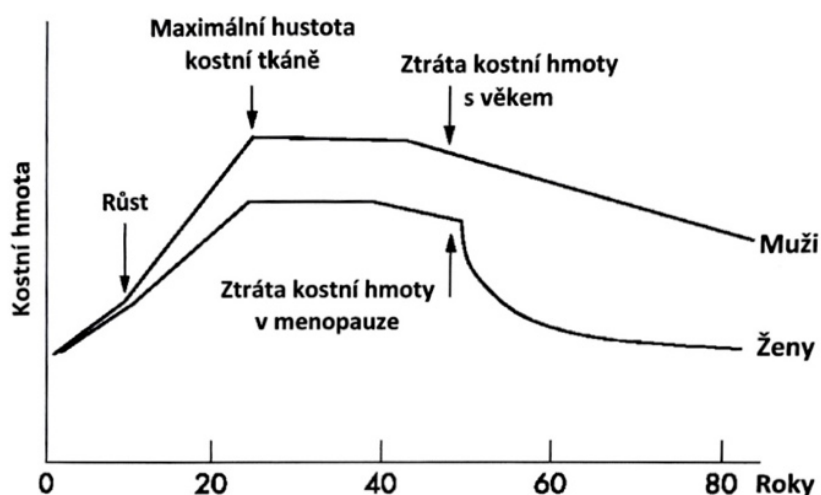
Obě BMD a BMC jsou důležitými ukazateli pevnosti kostí a jsou používány k hodnocení rizika zlomenin a osteoporózy. Je důležité dbát na udržení vysoké kostní denzity a množství minerálních látek uložených v kostech, aby se zabránilo riziku zlomenin a osteoporózy (Krugh & Langaker, 2023).

Nejvyšší hustota minerálů v kostech (peak bone mass) je dosažena přibližně mezi 20. a 25. rokem věku a udržuje se zhruba 5–10 let (*Obrázek 7*). Následně nastává trvalý úbytek kostní hmoty (cca 0,5 % ročně), při kterém převažuje odbourávání tkáně nad tvorbou nové. Hustota minerálů v kostech má tedy tendenci klesat s věkem, přičemž rychlost tohoto poklesu závisí na faktorech jako je genetika, pohlaví, hormonální stav, medikamenty, pohybová aktivita, kouření apod. Již od 30 let věku dochází k úbytku vápníku v kostní tkáni (Povýšil et al., 2017, s. 16; Botek et al., 2017; s. 84). Po dosažení 35 let věku muži i ženy obvykle ztrácejí 0,3–0,5 % své hustoty minerálů v kostech ročně v důsledku stárnutí. Estrogen je klíčový pro udržení hustoty minerálů v kostech u žen. Po menopauze, kdy klesá hladina estrogenu, se ztráta hustoty minerálů v kostech zrychlí.

Během dekády mezi 50. a 60. rokem života ženy ztratí asi 10 % své hustoty minerálů v kyčli, zatímco u mužů je tento úbytek pouze 2 % (Looker et al., 1998). To vede k výraznému zvýšení rizika osteoporózy v klimakteriu, která postihuje až 1/3 ženské populace (celkově 7–8 % populace v ČR) (Botek et al., 2017, s. 84). Zrychlený úbytek kostní hmoty po menopauze je hlavní příčinou osteoporózy u žen, která je označována jako postmenopauzální osteoporóza (Caballero, Finglas & Toldrá, 2015 [kapitola: Osteoporosis, Nayak, s. 181–185]). Po dosažení věku 70 let začínají muži ztrácet hustotu minerálů v kostech podobným tempem jako ženy. Průměrná hustota minerálů v kostech u mladých dospělých mužů je asi o 10 % vyšší než u žen.

### Obrázek 7

*Vztah hustoty kostní tkáně, pohlaví a věku (Dogan & Posaci, 2002; upraveno Botek et al., 2017)*



#### 2.5.6 Adaptace skeletálního systému na PA

Díky mineralizaci má kostní tkáň schopnost odolávat jak tahovému, tak tlakovému namáhání, což přirozeně přispívá k její odolnosti vůči ohybu a krutu. Tato odolnost je především závislá na mechanických vlastnostech této "tuhé fáze" (známé jako Youngův model pružnosti)<sup>1</sup>. Nicméně, není možné opomenout viskózně-elastický charakter kostní tkáně, zvláště v období ontogeneze, a také v kontextu adaptační reakce na zatížení (známého jako "hydraulické zpevnění"). Únavové jevy, které se projevují při

<sup>1</sup> Youngův modul pružnosti je materiálová konstanta, tj. veličina charakteristická pro danou látku. Vypovídá o její pevnosti a možnosti její deformace.

opakovaném zatěžování kostní tkáně, jsou spojeny s viskózně-plastickými vlastnostmi kostní tkáně (Dylevský et al., 1997, s. 63).

### Tabulka 1

*Stručný přehled projevů adaptace*

Adaptace ústrojí lokomočního, tj. na kostech, šlachách, vazivu chrupavkách
a) zpevnění kosti ve směru tahu a tlaku změnou architektiky kostní tkáně
b) zvýšené ukládání minerálních solí v intersticiální substanci kosti

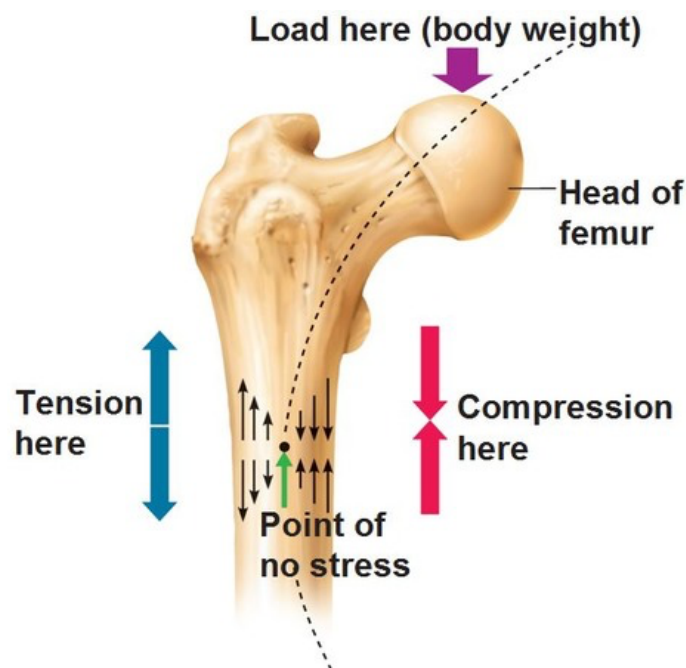
zdroj: *Fyziologie tělesných cvičení* (Máček, 1997, s. 16).

Schematicky lze složité procesy řízení a regulace růstu kostí rozdělit do dvou skupin na:

- vnitřní faktory (genetické informace obsažené v genomu chondrocytů, chondroblastů a fibroblastů);
- zevní faktory (nutritivní a hormonální vlivy, působení mechanických faktorů).

### Obrázek 8

*Odpověď kosti na mechanický stres/impakt*



zdroj: <https://o.quizlet.com/.ugbxx8k3fmxmya7v-vfaa.jpg>

Kosti a klouby v těle jsou schopny přizpůsobit se fyzické zátěži, která na ně působí, díky procesu známému jako Wolffův zákon (*Obrázek 8*). Wolffův zákon, formulovaný německým anatomem a chirurgem Julusem Wolffem v 19. století, uvádí, že kostní tkáň reaguje na síly, které na ni působí. Když je kost vystavena fyzické zátěži, zvýší svou hustotu a sílu v dané oblasti, což snižuje riziko zlomenin (Wolff, 1892). Tento princip adaptace je dále rozvíjen tzv. teorií mechanostatu, která říká, že muskuloskeletální systém je řízen mechanostatem, což je systém odpovědí, který reguluje množství kostní tkáně a její strukturu v reakci na mechanické zatížení. Mechanostat reaguje na napětí a deformační síly působící na kostní tkáň během aktivity, což vede k posílení kostní hmoty a struktury. Tímto způsobem pomáhá zachovat integritu a funkčnost kosterního systému (Frost, 2003)<sup>2</sup>.

Fyzická aktivita vyvolává řadu fyziologických adaptací v kosterním systému:

- Zvýšená minerální hustota/denzita kostí (BMD): Aktivita stimuluje osteoblasty a zabraňuje aktivitě osteoklastů, což vede k vyšší BMD. Studie naznačují, že zátěžové cvičení<sup>3</sup> a odporový trénink mohou zvýšit BMD (Kohrt et al., 2004; Kelley et al., 2001).
- Zlepšená struktura kostí: Pravidelná aktivita může zlepšit mikroarchitekturu kostí a snížit jejich zranitelnost. Během cvičení a tréninku dochází k adaptaci kostní struktury, což zvyšuje odolnost vůči stresu (Bemben & Bemben, 2010).

Přestože fyzická aktivita má řadu pozitivních účinků na kosterní systém, nesprávné či nadměrné cvičení může mít i negativní dopady:

- Stresové zlomeniny: Nadměrné cvičení může způsobit malé praskliny v kostech, známé jako stresové zlomeniny, nejčastěji v dolních končetinách u sportovců (Fredericson et al., 2006).

---

<sup>2</sup> Kost roste nebo se remodeluje v reakci na síly nebo požadavky na ni kladené.

<sup>3</sup> Zátěžové cvičení (Weight-bearing Exercises): je jakákoli činnost, kterou člověk vykonává na jedné nebo obou nohách. Vyžaduje, aby člověk nesl tělesnou hmotnost alespoň na jedné dolní končetině. Je to činnost, kterou kosterní systém vykonává proti gravitaci (Anderson & Duong, 2023).

- Osteoartritida: Opakované pohyby s vysokým dopadem mohou zvýšit riziko osteoartritidy, degenerativního onemocnění kloubů (Felson et al., 1997).
- Ztráta kostní hmoty: Neaktivita může vést k úbytku kostní hmoty, což zvyšuje riziko osteoporózy (Booth et al., 2012).

### **2.5.7 Kostní denzita u sportovců**

Denzita kostní tkáně u sportovců, zejména u mužů, může být vyšší díky intenzivní fyzické aktivitě, která zvyšuje tlakové zatížení kostí. Tato vyšší denzita kostní tkáně může snížit riziko zlomenin a osteoporózy. Nicméně některé studie naznačují, že příliš vysoká denzita kostní tkáně může souviset s vyšším rizikem určitých onemocnění, jako je hyperparatyreóza (zvýšená produkce parathormonu) a rakovina ledvin (Gregson et al., 2013). Navíc, zvýšená denzita kostní tkáně je spojena se zvýšenou prevalencí osteoartrózy kolene, charakterizované osteofyty (Hartley et al., 2020). Je klíčové udržovat vyváženou denzitu kostní tkáně, aby se minimalizovalo riziko těchto onemocnění. Pravidelné vyšetření denzity kostní tkáně může pomoci udržovat tento rovnovážný stav.

Pro osteoprotektivní účinky je klíčový vliv aktivit na kostní tkáň, známý jako „impakt“. Impakt může být chápán jako forma síly nebo kombinace různých sil, které působí na kostní tkáň. Aktivity s vysokým impaktem pozitivně ovlivňují denzitu kostní tkáně, přičemž tento vliv může být buď osteoprotektivní, nebo naopak osteodegenerativní. Je důležité provádět sport opakovaně a postupně zvyšovat intenzitu, s ohledem na individuální zdravotní stav a bez nadměrného přetěžování.

Podle Nikandera a spol. (2006) lze aktivity s impaktem rozdělit do následujících kategorií:

- aktivity s vysokým impaktem (např. trojskok, skoky do výšky, překážkový běh, volejbal);
- aktivity s odlišnými impakty (např. fotbal, squash);
- aktivity s vysokou magnitudou (např. vzpírání);
- opakované aktivity s nízkým impaktem (např. vytrvalostní běh);
- opakované aktivity bez impaktu (např. plavání).

## Tabulka 2

### *Přehled osteoprotektivních sportovních aktivit*

<b>SPORT</b>	<b>IMPAKT</b>	<b>AUTOR</b>
badminton	ano	(Gustavsson et al., 2003; Nikander et al., 2010; Tenforde et al., 2011)
basketbal	ano	(Dook et al., 1997; Scerpella et al., 2018; Dias Quiterio et al., 2011; Tenforde et al., 2011)
běh	ano	(Dook et al., 1997; Nikander et al., 2010; Rantalainen et al., 2013; Emslander et al., 1998; Hindi et al., 2012; Duncan et al., 2002; Feldman et al., 2012; Wilks et al., 2009)
fotbal	ano	(Wittich et al., 1998; Scerpella et al., 2018; Pettersson et al., 2000; Nikander et al., 2010; Nichols et al., 2007; Tenforde et al., 2011)
gymnastika	ano	(Mudd et al., 2007; Taaffe et al., 1997; Dias Quiterio et al., 2011; Hind et al., 2012; Tenforde et al., 2011)
házená	ano	(Dias Quiterio et al., 2011)
hokej	ano	(Scerpella et al., 2018; Gustavsson et al., 2003)
judo	ano	(Andreoli et al., 2001; Tenforde et al., 2011)
karate	ano	(Andreoli et al., 2001; Tenforde et al., 2011)
lacrosse	ano	(Nichols et al., 2007)
pozemní hokej	ano	(Dook et al., 1997)
rychlo-chůze	ano	(Wilks et al., 2009)
rychlostní bruslení	ano	(Tenforde et al., 2011)
skok do výšky	ano	(Nikander et al., 2010; Nichols et al., 2007)

skoky přes překážky	ano	(Nikander et al., 2010; Rantalainen et al., 2013; Tenforde et al., 2011)
skoky přes švihadlo	ano	(Pettersson et al., 2000)
softbal	ano	(Mudd et al., 2007; Nichols et al., 2007)
squash	ano	(Nikander et al., 2010; Tenforde et al., 2011)
step aerobik	ano	(Tenforde et al., 2011)
tenis	ano	(Nikander et al., 2010; Nichols et al., 2007; Tenforde et al., 2011)
troj-skok	ano	(Nikander et al., 2010; Nichols et al., 2007)
volejbal	ano	(Nikander et al., 2010; Nichols et al., 2007; Tenforde et al., 2011)
vzpírání	ano	(Rantalainen et al., 2013; Nichols et al., 2011)

převzato z: *Porovnání kostní denzity tkáně u závodníků a rekreačních sportovců CrossFit* (Koloděj, 2023)

## 2.6 Kostní onemocnění související s poruchou kostní denzity

### 2.6.1 Osteopenie

Osteopenie je termín používaný v klinické praxi k označení snížení denzity kostních minerálů (BMD) pod normální úroveň, avšak ještě nedosahuje úrovně diagnostikované jako osteoporóza (Varacallo & Fox, 2014). Jedná se o předstupeň osteoporózy. Světová zdravotnická organizace (WHO) definuje osteopenii jako T-skóre mezi -1 až -2,5, přičemž hodnoty menší než -2,5 jsou diagnostické pro osteoporózu. Pokles hodnoty BMD odráží základní narušení mikroarchitektury kostí, a osteopenie a osteoporóza jsou vnímány jako kvantitativní, nikoliv kvalitativní poruchy mineralizace kostí (Porter & Varacallo, 2022).

Osteopenie obvykle vzniká sekundárně v důsledku nerovnováhy mezi aktivitou osteoklastů a osteoblastů, což vede ke kvantitativnímu úbytku kostní hmoty (El Sayed, Nezwiek & Varacallo, 2022).

## 2.6.2 Osteoporóza

Osteoporóza je radiograficky identifikována jako pokles kostní denzity nejméně 2,5 směrodatné odchylky pod průměrem vrcholu kostní denzity (T-skóre), (Obrázek 9 a 10). Tento stav může být lokalizovaný nebo generalizovaný, postihující celý skelet. Ačkoli osteoporóza může pramenit ze sekundárních příčin, jako jsou endokrinní poruchy (např. hypertyreóza), gastrointestinální potíže (např. podvýživa) nebo některé léky (např. kortikosteroidy), primární osteoporóza je nejčastější. Primární osteoporóza, zejména senilní a postmenopauzální typ, je předmětem této kapitoly. Vrcholu kostní hmoty se obvykle dosahuje v průběhu mladé dospělosti a je primárně ovlivněná genetickými faktory, včetně polymorfismů v genech souvisejících s kostním metabolismem. Významně k tomu, ale přispívá také fyzická aktivita, svalová síla, strava a hormonální rovnováha. Po dosažení vrcholu kostní hmoty přetrvává kostní obměna s čistým deficitem kostní tvorby, což vede k průměrnému ročnímu úbytku kostní hmoty o 0,7 %. Zatímco mnoho aspektů zůstává nejasných, pokroky v molekulární biologii vrhly světlo na patogenезi osteoporózy (Kumar, Abbas & Aster, 2017, s. 801–802).

### Obrázek 9

*Průřez osteoporotickým obratlem (vpravo) zkráceným kompresními zlomeninami ve srovnání s normálním obratlem (vlevo)*

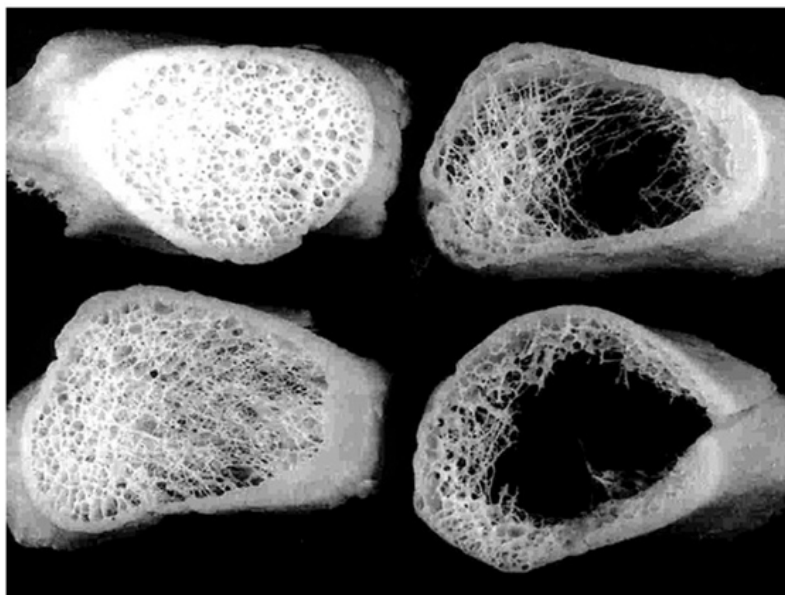


zdroj: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/joim.12369>



## Obrázek 10

### *Postupná degradace kostní hmoty při osteoporóze*



zdroj: [https://www.meddata.cz/\\_img/products/sunlight/other/sunlight\\_bones.jpg](https://www.meddata.cz/_img/products/sunlight/other/sunlight_bones.jpg)

Níže uvádím změny v kostní denzitě způsobené různými faktory.

- Změny související s věkem: osteoblasty starších jedinců vykazují snížené proliferační a biosyntetické schopnosti a sníženou citlivost na růstové faktory ve srovnání s mladšími protějšky, což vede ke snížené kostní formaci. Tuto formu osteoporózy označujeme jako senilní osteoporóza.
- Snížená fyzická aktivita: Pokles fyzické aktivity související s věkem zhoršuje senilní osteoporózu. Mechanické síly z fyzické aktivity obvykle stimulují remodelaci kostí, přičemž imobilizace nebo ochrnutí vede k úbytku kostní hmoty. Odporová cvičení, jako je posilování, jsou účinnější při zvyšování kostní denzity než vytrvalostní aktivity, jako je jízda na kole.
- Genetické faktory: Zatímco defekty jednoho genu vysvětlují pouze malý zlomek případů osteoporózy, celogenomové asociační studie spojily polymorfismy v různých genech, zejména v signalizační dráze WNT, s osteoporózou.

- **Výživa:** Nedostatečný příjem vápníku ve stravě, zejména u dospívajících, omezuje vrcholovou kostní denzitu. Nedostatek vápníku, zvýšené hladiny parathormonu (PTH) a snížené hladiny vitamínu D mohou přispívat k rozvoji osteoporózy.
- **Hormonální vlivy:** V prvních deseti letech po menopauze mohou ženy zaznamenat významné roční snížení kostní denzity v důsledku nedostatku estrogenu, přičemž téměř 40% postmenopauzálních žen je postiženo osteoporózou. Snížené hladiny estrogenu zvyšují resorpci kosti, což vede k osteoporóze. Navíc snížený estrogen může vyvolat sekreci zánětlivých cytokinů, což dále stimuluje aktivitu osteoklastů.

Osteoporóza se projevuje různými klinickými projevy v závislosti na postižených kostech. Zlomeniny obratlů, časté v hrudní a bederní oblasti, způsobují bolest a mohou vést k významnému úbytku tělesné výšky a deformacím, jako je bederní lordóza a kyfoslóza. Zlomeniny krčku stehenní kosti, pánve nebo páteře mohou vést ke komplikacím spojeným s pohyblivostí (Kumar, Abbas & Aster, 2017, s. 801–802; Barrett et al., 2015, s. 386–387; Boron & Boulpaep, 2016, s. 969).

### **2.6.3 Prevence osteoporózy**

Prevence a léčebné strategie senilní a postmenopauzální osteoporózy zahrnují cvičení, dostatečný příjem vápníku a vitamínu D a farmakologické látky jako jsou např. bisfosfonáty, které snižují resorpci kostí. Mezi nejznámější lék patří Denosumab, protilátka proti RANKL, je slibnou léčbou některých případů postmenopauzální osteoporózy.

Vývoj nových látek k léčbě osteoporózy zůstává hlavní výzvou ve farmakoterapii osteoporózy. Ačkoli zvýšený příjem vápníku a cvičení mohou zpomalit jeho progresi, jejich účinnost je omezená. Bisfosfonáty jako etidronát mohou snížit četnost zlomenin obratlů, pokud jsou podávány cyklicky. Fluorid sice stimuluje osteoblasty a zvyšuje kostní denzitu, ale má omezenou účinnost v léčbě osteoporózy (Kumar, Abbas & Aster, 2017, s. 801–802; Barrett et al., 2015, s. 386–387; Boron & Boulpaep, 2016, s. 969)

## 2.7 Diagnostické metody pro kvalitativní analýzu kostní tkáně

Osteoporózu je obtížné diagnostikovat včas prostřednictvím běžných rentgenových snímků či krevních testů. Pro přesnou analýzu kostní denzity existují specializované zobrazovací techniky, jako je duální rentgenová absorpciometrie (DXA) a kvantitativní počítačová tomografie (QCT) (International Osteoporosis Foundation, n.d.).

Diagnostika osteoporózy vyžaduje měření kostní denzity a hodnocení rizika zlomenin. Měření kostní denzity je klíčové pro stanovení léčby a prevenci vzniku osteoporózy. DXA je nejčastěji používanou metodou pro měření kostní denzity. Tato technika využívá rentgenové paprsky k posouzení kostní denzity a odhalení poruch souvisejících s kostmi, jako je osteoporóza. DXA je považována za nejrozšířenější a klinicky ověřenou metodu měření kostní hmoty (International Osteoporosis Foundation, n.d.). Je neinvazivní a relativně rychlá, což ji činí vhodnou volbou pro mnoho pacientů.

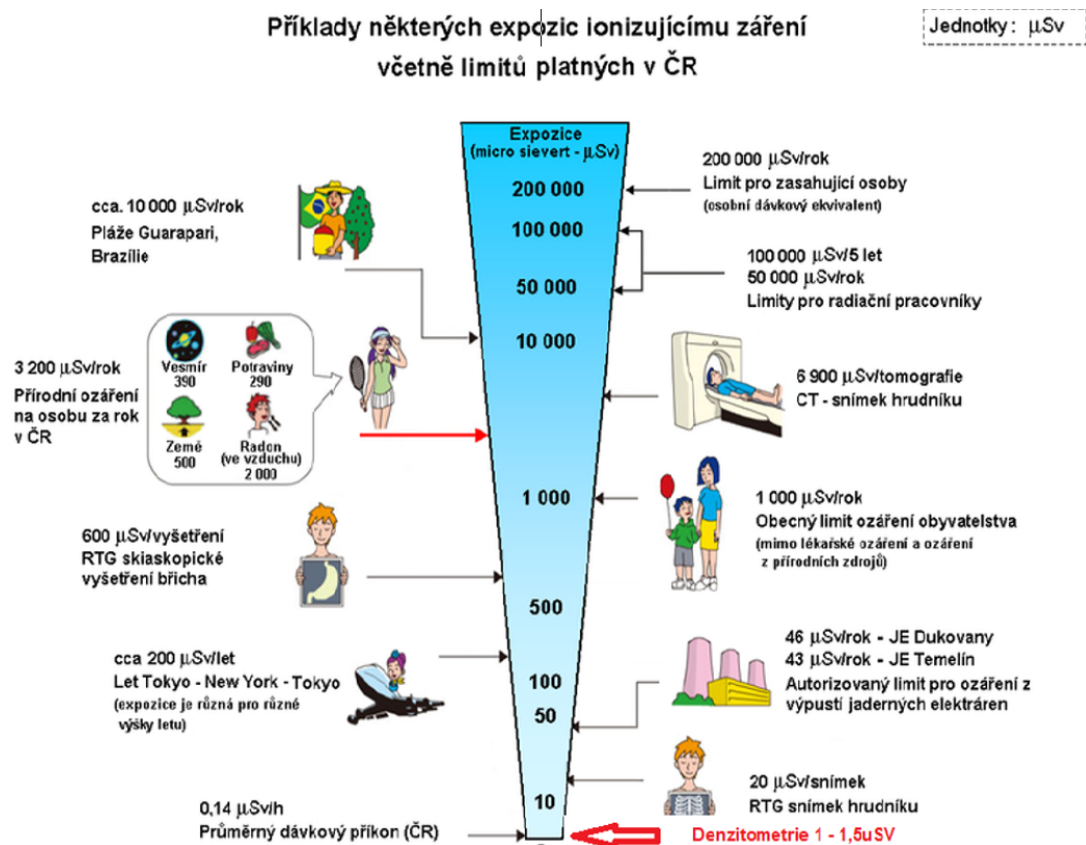
Další metodou pro měření kostní hmoty je QCT (kvantitativní výpočetní tomografie), která poskytuje detailní snímky kostí a umožňuje měření kostní denzity. QCT je zvláště užitečná pro měření kostní hmoty v páteři a kyčli, ale vyžaduje vyšší dávku záření než DXA, což z ní činí méně preferovanou možnost pro běžné vyšetření kostní hmoty (Jenšovský & Džupa, 2018, s. 68).

Kvantitativní ultrasonometrie (QUS) poskytuje informace o kvalitě a struktuře kosti pomocí ultrazvukového vyšetření kostní tkáně, eliminujícího radiační zátěž (Hovorková, n.d.).

DXA je považována za zlatou standardní metodu měření kostní denzity díky své přesnosti, stabilní kalibraci, nízké dávce záření a rychlému provedení (Obrázek 11). Nicméně její finanční náročnost a omezená dostupnost brání jejímu použití ve všech výzkumných centrech (Blake & Fogelman, 2007).

### Obrázek 11

Příklady některých expozic ionizujícímu záření včetně limitů platných v ČR



Jako alternativa k celotělové metodě DXA byla vyvinuta periferní duální rentgenová absorpciometrie (pDXA), která měří kostní denzitu periferního skeletu. Tato zařízení mají menší velikost, snáze se přenášejí, vyžadují minimální prostor a jsou ekonomicky dostupnější. Jejich schopnost rozlišit trabekulární a kortikální kosti je přínosem (Blake & Fogelman, 2007; Hans et al., 2008). Nicméně, není možné přesně porovnávat zařízení měřící pDXA, protože se liší v kalibraci, místech měření, softwaru pro analýzu a provozních metodách (Shepherd et al., 2002).

Protože osteoporóza je systémové onemocnění, změny v kostní denzitě se vyskytují nejen v osovém skeletu hodnoceném DXA, ale i v periferních částech. Korelační koeficienty mezi měřeními hustoty kostí na různých místech kostry obvykle dosahují hodnot kolem  $r = 0,6$  a  $0,7$  (Blake & Fogelman, 2007).

### **2.7.1 Diagnostika osteoporózy**

Standardem pro zjištění BMD je dvouenergieová rentgenová absorpciometrie (DXA, dříve DEXA), stanovující množství kostního minerálu v plošné projekci analyzovaného úseku skeletu ( $\text{g}/\text{cm}^2$ ).

Naměřená hodnota se srovnává s průměrnou hodnotou u mladých zdravých jedinců, (typicky 20–35 let, kdy dochází k vrcholu kostní hmoty), odchylka od průměru stanovuje tzv. T-skóre, které určuje v podstatě směrodatnou odchylku od průměru (SD). Každý pokles SD o jedna, představuje úbytek kostního minerálu asi o 10 %. Platí, že každým snížením denzity kostního minerálu o jednu směrodatnou odchylku se riziko fraktury zdvojnásobuje. Je-li tedy denzita snížena o 2,5 směrodatné odchylky, je riziko pětinašobné (Phillips a Phillipov, 2006; Kanis et al., 2007).

Podle WHO následně dělíme naměřené hodnoty BMD do tří skupin:

- Normální BMD (T-skóre do  $-1,0$  SD)
- Osteopenie (T-skóre mezi  $-1,0$  a  $-2,4$  SD)
- Osteoporóza (T-skóre  $-2,5$  SD a nižší)

Naměřený výsledek denzity kostního minerálu je možné porovnávat rovněž s průměrným výsledkem zjištěným u zdravé populace téhož pohlaví a věku, který se označuje jako Z-skór. Z-skóre se používá se především u osob mladších 50 let (u žen před menopauzou). Z-skóre vyšší než  $-2$  je definováno jako nad očekávané rozmezí pro daný věk, skóre nižší než  $-2$  je definováno jako pod očekávání pro očekávané rozmezí pro daný věk (Shepherd & Blake, 2007; Kanis et al., 2007).

Standardně měříme v oblasti lumbální páteře (L1–L4) a proximální části femuru: krček, trochanter, intershaft a Wardův trojúhelník (Matalová, 2018, s. 23; Džupa & Jenšovský, 2018, s 65–66 s).

Referenční hodnoty pro měření kostní denzity jsou ukládány do databází a jsou k dispozici pro různé pohlaví a věkové skupiny. Tyto hodnoty jsou používány k hodnocení rizika vzniku osteoporózy a křehkosti kostí pomocí Z-skóre nebo T-skóre (Matalová, 2018, s. 23; Džupa & Jenšovský, s. 65–66; Krugh a Langaker, 2023).

### **2.7.2 Validita měření**

Validita měření je důležitá pro správnou interpretaci výsledků kostní denzitometrie. DXA je považována za nejspolehlivější metodu pro měření kostní denzity a má vysokou validitu. Existují však některé limitace a chyby v měření DXA, které je třeba zvážit při interpretaci výsledků.

Při porovnávání výsledků stejného pacienta, který byl skenován pomocí zařízení DXA od různých výrobců, je třeba dbát opatrnosti, protože mezi jednotlivými značkami jsou nepatrné odchylky důležitých parametrů. Tyto parametry zahrnují použité napětí, filtrační mechanismy, detekci okrajů a úpravu tloušťky měkkých tkání. Aby bylo možné výsledky porovnávat v čase, měli by být pacienti, pokud možno skenováni pomocí stejného zařízení a měřeni stejným proškoleným personálem (Ferrari a Roux, 2018).

Testování kostní denzity pomocí DXA je kvantitativní, neinvazivní, poměrně levný, pohodlný diagnostický postup pro osteoporózu. Nicméně klinický význam osteoporózy je důležitý u zlomenin, které mohou vzniknout. Měření BMD jako takové není pouze diagnostickým nástrojem, ale také nástrojem hodnocení rizikových faktorů, který umožňuje klinickým lékařům stratifikovat riziko zlomenin u jednotlivců. Kvůli tomu má nástup technologie DXA za následek některé nezamýšlené důsledky (zmatenost mezi pacienty a některými zdravotnickými pracovníky) a je potřeba jasně rozlišovat mezi využitím BMD pro diagnózu versus pro hodnocení rizika (Kanis et al., 2002). Výsledky kostní denzity ukazující osteopenii nebo osteoporózu automaticky neznamenaají, že dojde ke zlomenině. Ve skutečnosti většina jedinců, kteří utrpí zlomeniny, nemá BMD T-skóre nižší než -2,5 směrodatné odchylky. Většina pacientů se zlomeninami má

osteopenii spíše než osteoporózu, jak je definována pomocí BMD (Pasco et al., 2006). To lze vysvětlit tím, že riziko zlomeniny ovlivňuje několik dalších jiných než kostních faktorů. Navíc vzhledem k tomu, že DXA měří pouze jeden z determinantů kostní síly, BMD, ostatní determinanty v patofyziologické definici osteoporózy nejsou brány v úvahu.

I přes toto omezení se při použití DXA ukázalo, že klíčové komponenty a nástroje pro identifikaci pacientů se zvýšeným rizikem zlomeniny jsou vertebrální nebo kyčelní BMD T-skóre (Pasco et al., 2006).

Při osteopenii nebo osteoporóze by bylo důležité zvážit změny životního stylu a dostupné terapie pro zpomalení úbytku kostní hmoty a pomoc při prevenci zlomenin. Poziční dokument předních klinických lékařů v této oblasti také navrhl, aby všechny zlomeniny u starších lidí vyvolaly sekundární preventivní hodnocení, včetně životního stylu, nefarmakologických a farmakologických zásahů pro snížení budoucího rizika zlomeniny (Kanis et al., 2012). Omezení DXA pro identifikaci jedinců, u kterých dojde ke zlomenině rizikových partií, vedla k vývoji kalkulačky FRAX®, která integruje BMD s dalšími, alespoň částečně na BMD nezávislými rizikovými faktory.

Testování kostní denzity má další omezení v tom, že poskytuje měřítko množství kostní tkáně ve vyšetřovaném segmentu, ale neposkytuje informace o kvalitě kosti (Siris et al., 2012). Chceme-li se posunout dopředu, jsou vyžadovány nové diagnostické modality, které zachycují všechny aspekty rizika zlomenin a mohou pohotově poskytnout klinicky významné informace týkající se determinantů kvality kostí, které zahrnují měřítko mikroarchitektury kostí, obratu, mineralizace a aktuálního poškození. Dosud je páteřní a stehenní axiální DXA stále upřednostňovaným nástrojem pro diagnostiku a přijímání terapeutických rozhodnutí.

Je důležité brát v úvahu tyto limitace a chyby při interpretaci výsledků měření DXA a zohlednit je při stanovení léčby nebo prevenci vzniku osteoporózy.

Data v mém výzkumu byla naměřena pomocí přístroje využívající metodu pDXA, konkrétně se jednalo o přístroj EXA 3000 (Osteosys, Korea). Tento přístroj hodnotí kostní denzitu v oblasti předloktí a paty. Je to přístroj 3. generace DXA, která využívá kuželovitého paprsku pDXA, který poskytuje lepší rozlišení za kratší čas. Při vyšetření

bylo sledováno množství minerálů v daném segmentu (BMC, kg), kostní denzita (BMD, g/cm<sup>2</sup>), T-skóre a Z-skóre.

Studie prokazující validitu EXA 3000 přímo s přístrojem využívající celotělovou DXA nebyla zatím publikována. Přesto se tento přístroj používá pro zkoumání rizika osteoporózy pro oblast předloktí a paty, a to především v polských studiích zaměřujících se na ženy po menopauze (Ignasiak, Skrzek, & Dąbrowska, 2009; Ignasiak et al., 2011; Skrzek, Ignasiak, & Koziel, 2011; Skrzek et al., 2015).

### **2.7.3 Indikace k měření BMD a BMC**

- pacienti, u nichž lze na základě rentgenového vyšetření či jiné zobrazovací metody předpokládat výskyt osteoporózy;
- stav po zlomenině při prodělání minimální nebo neadekvátní úrazové síly;
- zlomenina obratle neúrazového původu;
- pacienti dlouhodobě užívající kortikoidy nebo léčiva snižující množství kostní hmoty;
- pacienti se zvýšenou funkcí příštítných tělísek nebo dalšími onemocněními související se ztrátou kostní hmoty – při zjištění osteoporózy je nutná úprava medikace základního onemocnění;
- při stanovení rizika zlomenin u menopauzálních a postmenopauzálních žen, které mají ještě jiné rizikové faktory (kouření, dědičnost, věk nad 65 let, bolesti zad, imobilizace, poruchy štítné žlázy atd.) a při zjištění osteoporózy chtějí podstoupit léčbu a také následná kontrola efektivní léčby;
- ženy po hormonální léčbě;
- osoby nad 65 let, kde je přítomen některý z rizikových faktorů – osteopenie nebo osteoporóza dle rentgenu, snížení výšky o více než 3 cm od věku 25 let, výskyt osteoporózy v rodině, nízké BMI pod 19, nemoci s porušeným vstřebáváním živin z potravy, revmatoidní artritida, endokrinní nebo metabolická onemocnění (Hovorková, n.d.).



## **3 CÍLE**

### **3.1 Hlavní cíl**

Hlavním cílem diplomové práce je na základě vyšetření lokálním (pDXA) denzitometrem EXA-3000 stanovit a vyhodnotit aktuální stav kostní denzity v oblasti předloktí a paty u studentů a studentek FTK UP ve věku 19–39 let.

### **3.2 Dílčí cíle**

1. Srovnat hustotu kostní tkáně u mužů a žen.
2. Srovnat hustotu kostní tkáně dle věku (sk1. 19–30 let, sk2. 30.1–39 let).
3. Srovnat získané údaje ve vztahu k běžné zdravé populaci odpovídajícího věku a pohlaví (Z-skóre).
4. Srovnat získané údaje s průměrnou hodnotou u mladých zdravých jedinců (T-skóre).

### **3.3 Výzkumné otázky**

1. Jaký je průměrný stav kostní denzity u studentů a studentek FTK UP ve srovnání se standardními referenčními hodnotami pro jejich věkovou skupinu?
2. Má věk studentů a studentek vliv na jejich kostní denzitu? Jsou zde patrné rozdíly mezi mladšími a staršími jedinci?
3. Jaká je prevalence osteopenie a osteoporózy, mezi studenty a studentkami FTK UP?

## 4 METODIKA

Měření dat pro výzkum probíhalo v letech 2012–2022 na FTK UPOL. Data byla naměřena pomocí pDXA lokálního denzitometru značky EXA 3000 (Osteosys, Korea). Celkově bylo pro statistické zpracování vybráno 530 probandů z řad studentů a studentek fakulty tělesné kultury univerzity Palackého v Olomouci ve věku 19–39 let.

Před měřením podepsali všichni účastníci informovaný souhlas a souhlas s anonymním užitím zjištěných výsledků k vědeckým účelům. Tím potvrdili, že byli seznámeni s průběhem denzitometrického měření přístrojem EXA 3000 (Osteosys, Korea), (Obrázek 12). Přístroj slouží k vyšetření a hodnocení kostní denzity v oblasti paty a předloktí. Jedná se o radiologické vyšetření s nízkou dávkou ozáření. Měření nesmí podstupovat děti a těhotné ženy, dále lidé, kteří mají kovové implantáty, či jiný kovový stabilizační materiál ve vyšetřovaných segmentech z důvodu zkreslení výsledků.

### Obrázek 12

*Přístroj pDXA (EXA 3000) pro měření kostní denzity v oblasti paty a předloktí*



zdroj: <https://osteosys.com/en/product/exa-3000/>

## Obrázek 13

Vzorový výstup z přístroje EXA 3000 pro předloktí a patu

### REPORT

#### Enter Hospital Name

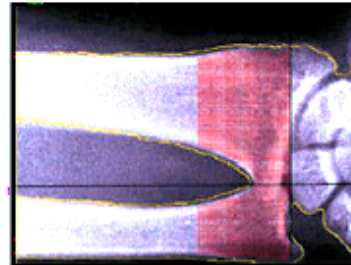
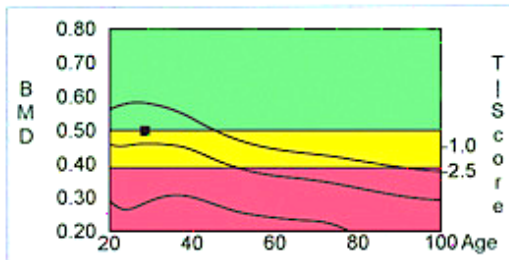
#997-11 Dongnam Bldg., Daechidong Kangnam-ku

Phone : 02-3016-2600

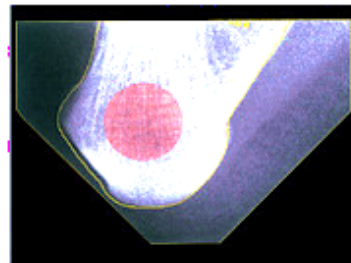
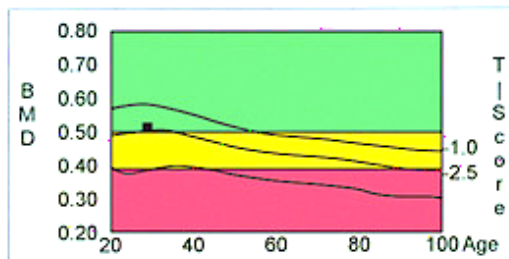
#### Patient Information

Patient ID : A1020394-KOR12344  
First Name : jackson  
Birth Date : 1970-01-01  
Height : 180 Cm  
Ethnic : European  
Scan Times : 3  
Last Name : bal  
Gender : Male  
Weight : 70 Kg  
Menopause : No  
Regi. Date : 2002-02-21

#### Forearm



#### Calcaneus



#### Result

Scan Site	BMD	T-Score	T-Ratio	Z-Score	Z-Ratio
Forearm	0.572	1.50	90.00	1.50	85.00
Calcaneus	0.572	1.50	90.00	1.50	85.00

#### Comment

Doctor Name : minsoo kim

EXA-3000

OsteoSys  
www.osteosys.com

## 4.1 Statistické zpracování dat

Pro zpracování dat byl použit statistický software IBM SPSS Statistics 29 (IBM, USA). U dat byla vypočtena základní statistika (průměr, median, maximum, minimum, SD). Dále byl proveden Lillieforsův test pro testování normality dat. Vzhledem k neparametrickému rozdělení byl dále použit neparametrický test pro dva nezávislé soubory Mann-Whitney U test. Data jsou interpretována na střední až velké hladině statistické a významnosti.

Statistická významnost (Mann Whitney-U test):

- $p < 0,05$  → střední statistická signifikance
- $p < 0,01$  → vysoká statistická signifikance

### 4.1.1 Elementární statistické zpracování dat

V tabulkách níže uvádím základní rozdělení a charakteristiku zkoumaných skupin ve své diplomové práci, konkrétně vstupní somatické parametry a věk.

#### Tabulka 3

*Přehled somatických parametrů zkoumané skupiny studentů FTK UP*

<b>Muži 19–39 let, n = 240</b>				
	Věk	Tělesná výška (cm)	Tělesná hmotnost (kg)	BMI (kg/m <sup>2</sup> )
<b>Průměr</b>	26,83	180,70	78,06	23,89
<b>Medián</b>	26	180,55	78	23,82
<b>± SD</b>	3,31	6,96	9,45	2,43

#### Tabulka 4

*Přehled somatických parametrů zkoumané skupiny studentek FTK UP*

<b>Ženy 22–34 let, n = 290</b>				
	Věk	Tělesná výška (cm)	Tělesná Hmotnost (kg)	BMI (kg/m <sup>2</sup> )
<b>Průměr</b>	26,76	167,98	61,55	21,79
<b>Medián</b>	26	167,69	60	21,53
<b>± SD</b>	2,95	5,89	8,32	2,58

Obě skupiny mají medián věku 26 let. Obě skupiny jsou zároveň dle klasifikace WHO BMI<sup>4</sup> v normě do hodnoty 24,9 kg/m<sup>2</sup>.

#### Tabulka 5

*Klasifikace BMI dle WHO*

<b>BMI</b>	<b>Nutritional status</b>
Below 18.5	Underweight
18.5–24.9	Normal weight
25.0–29.9	Pre-obesity
30.0–34.9	Obesity class I
35.0–39.9	Obesity class II
Above 40	Obesity class III

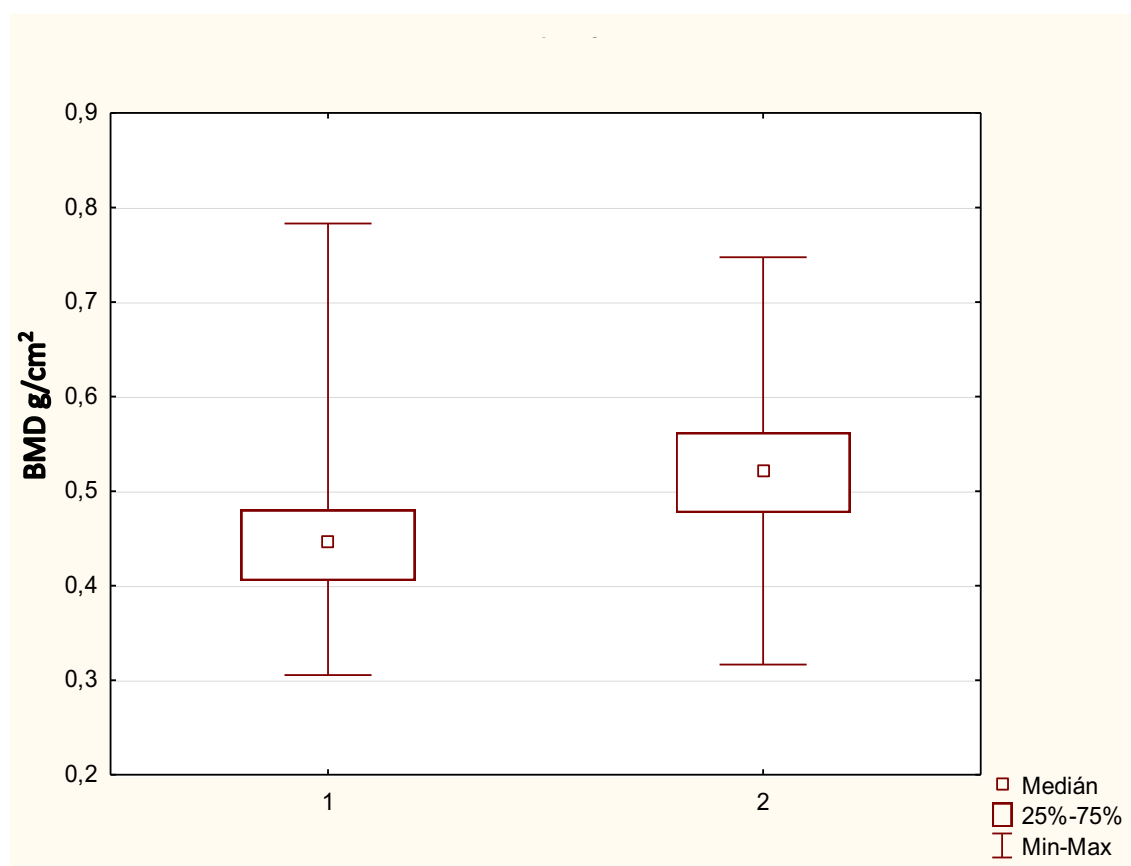
zdroj: <https://www.who.int/europe/news-room/fact-sheets/item/a-healthy-lifestyle---who-recommendations>

<sup>4</sup> Index tělesné hmotnosti, obvykle označovaný zkratkou BMI (z anglického body mass index) je číslo používané jako indikátor podváhy, normální tělesné hmotnosti, nadváhy a obezity, umožňující statistické porovnávání tělesné hmotnosti lidí s různou výškou. Index BMI je možné spočítat vydělením hmotnosti daného člověka druhou mocninou jeho výšky (Nuttal, 2015).

## 5 VÝSLEDKY

### 5.1 Hodnocení kostní denzity (BMD)

Všechna výzkumem získaná data jsem po statistickém zpracování v programu IBM SPSS Statistics 29 (IBM, USA) převedl do tabulek a grafů. V této kapitole jsou uvedeny grafy ve formě box-plotů<sup>5</sup> k porovnání hodnot BMD mezi skupinou studentek a studentů FTK UP v oblasti předloktí a paty a dále porovnání Z-Skóre mezi studenty včetně odchylek od referenčních hodnot. Statistické srovnání BMD, Z-skóre a dalších proměnných dle pohlaví a věku uvádím v souhrnné tabulce na konci kapitoly.



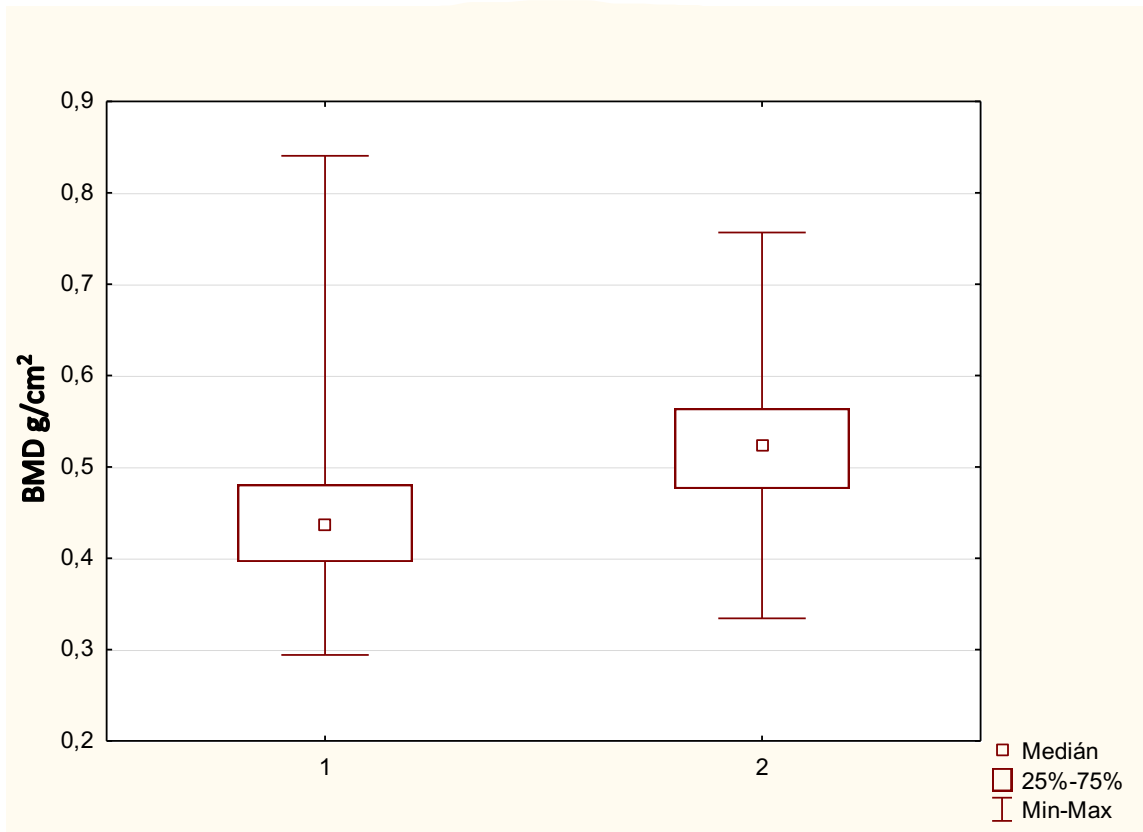
\*1 = ženy, 2 = muži

**Graf 1**

*Porovnání naměřených hodnot BMD v oblasti pravého předloktí u žen a mužů*

<sup>5</sup> V deskriptivní statistice je boxplot neboli krabicový graf či krabicový diagram jeden ze způsobů grafické vizualizace numerických dat pomocí jejich kvartilů. Střední „krabicová“ část diagramu je shora ohraničena 3. kvartilem, zespodu 1. kvartilem a mezi nimi se nachází linie vymezující medián.

Z grafu výše je patrné, že muži mají vyšší hodnoty BMD v oblasti pravého předloktí než ženy. Nejnižší BMD v oblasti pravého předloktí u žen (1) byla naměřena v hodnotě 0,305 g/cm<sup>2</sup>, naopak nejvyšší hodnota byla 0,783 g/cm<sup>2</sup>. U mužů (2) byla nejnižší změřená hodnota BMD 0,316 g/cm<sup>2</sup>, nejvyšší pak 0,747 g/cm<sup>2</sup> (Graf 1).

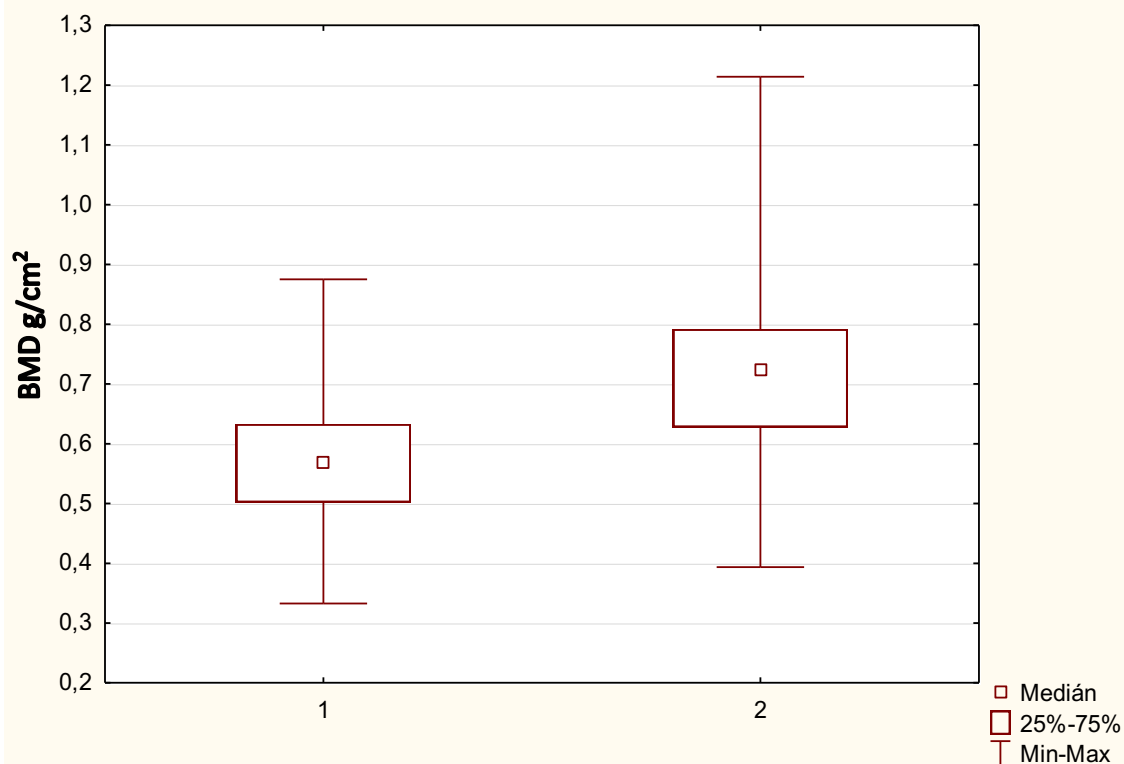


**Graf 2**

*Porovnání naměřených hodnot BMD v oblasti levého předloktí u žen a mužů*

Z grafu výše je patrné, že muži mají vyšší hodnoty BMD v oblasti levého předloktí než ženy. Nejnižší naměřená hodnota BMD ve skupině žen byla 0,294 g/cm<sup>2</sup>, nejvyšší pak 0,840 g/cm<sup>2</sup>. U mužů byla nejnižší naměřená hodnota BMD 0,334 g/cm<sup>2</sup>, nejvyšší pak 0,756 g/cm<sup>2</sup> (Graf 2).

Z výše uvedených grafů lze vypožorovat že rozdíly mezi pravým a levým předloktím u měřených studentů jsou zanedbatelné.

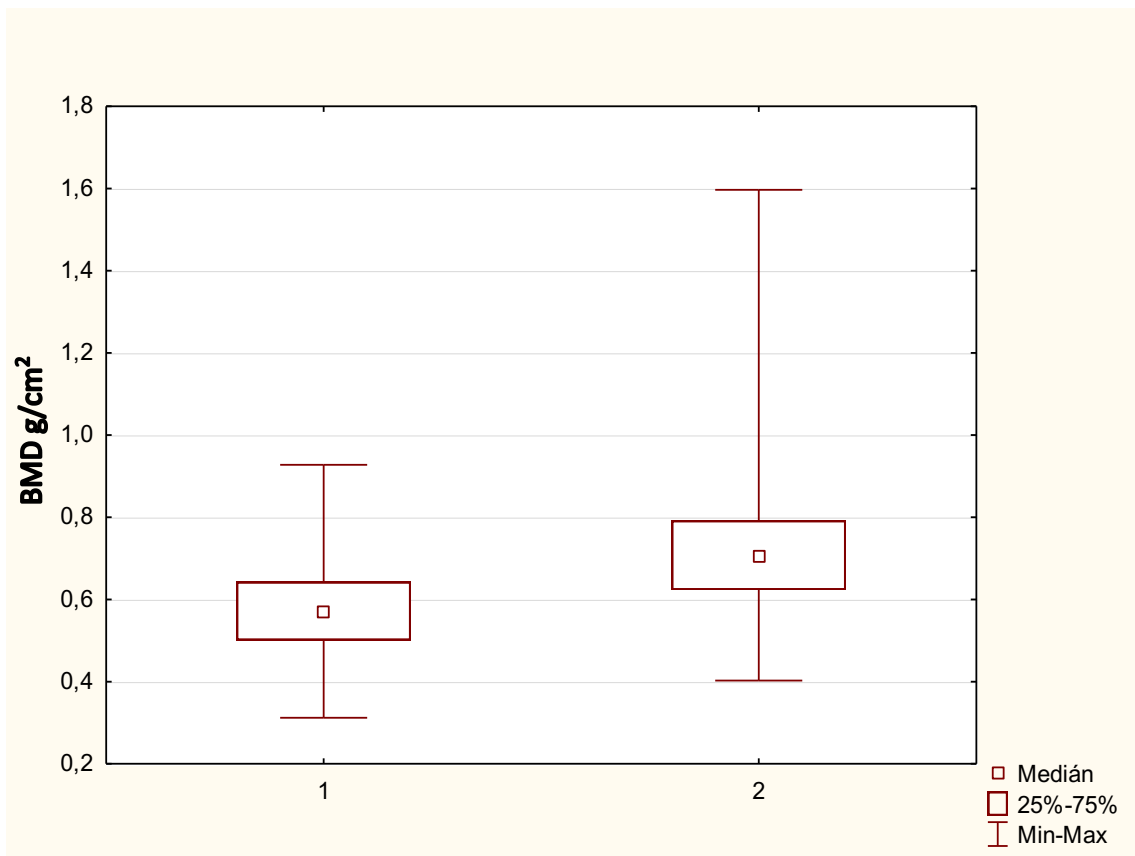


**Graf 3**

*Porovnání hodnot BMD v oblasti pravé patní kosti u žen a mužů*

Z grafu výše je patrné, že muži mají vyšší hodnoty BMD v oblasti pravé patní kosti než ženy. Nejnižší naměřená hodnota BMD ve skupině žen byla  $0,332 \text{ g/cm}^2$ , nejvyšší pak  $0,875 \text{ g/cm}^2$ . U mužů byla nejnižší naměřená hodnota BMD  $0,393 \text{ g/cm}^2$ , nejvyšší pak  $1,214 \text{ g/cm}^2$  (Graf 3).





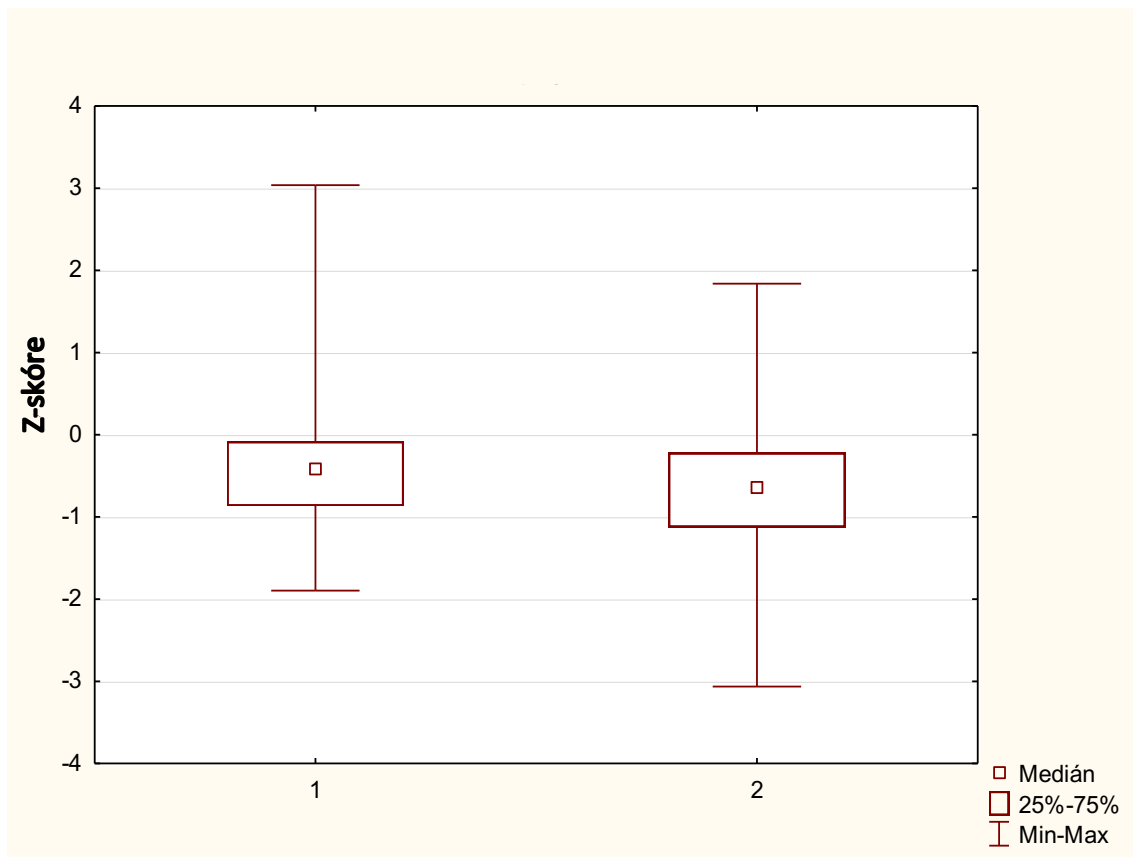
**Graf 4**

*Porovnání hodnot BMD v oblasti levé patní kosti u žen a mužů*

Z grafu výše je patrné, že muži mají vyšší hodnoty BMD v oblasti levé patní kosti než ženy. Nejnižší naměřená hodnota BMD ve skupině žen byla  $0,311 \text{ g/cm}^2$ , nejvyšší pak  $0,927 \text{ g/cm}^2$ . U mužů byla nejnižší naměřená hodnota BMD  $0,402 \text{ g/cm}^2$ , nejvyšší pak  $1,596 \text{ g/cm}^2$  (Graf 4).

Z výše uvedených grafů lze vyzorovat že rozdíly mezi pravou a levou patní kostí u měřených studentů jsou zanedbatelné s mírnou převahou vyšších hodnot BMD v oblasti pravé paty.

## 5.2 Hodnocení kostní denzity (Z-skóre)

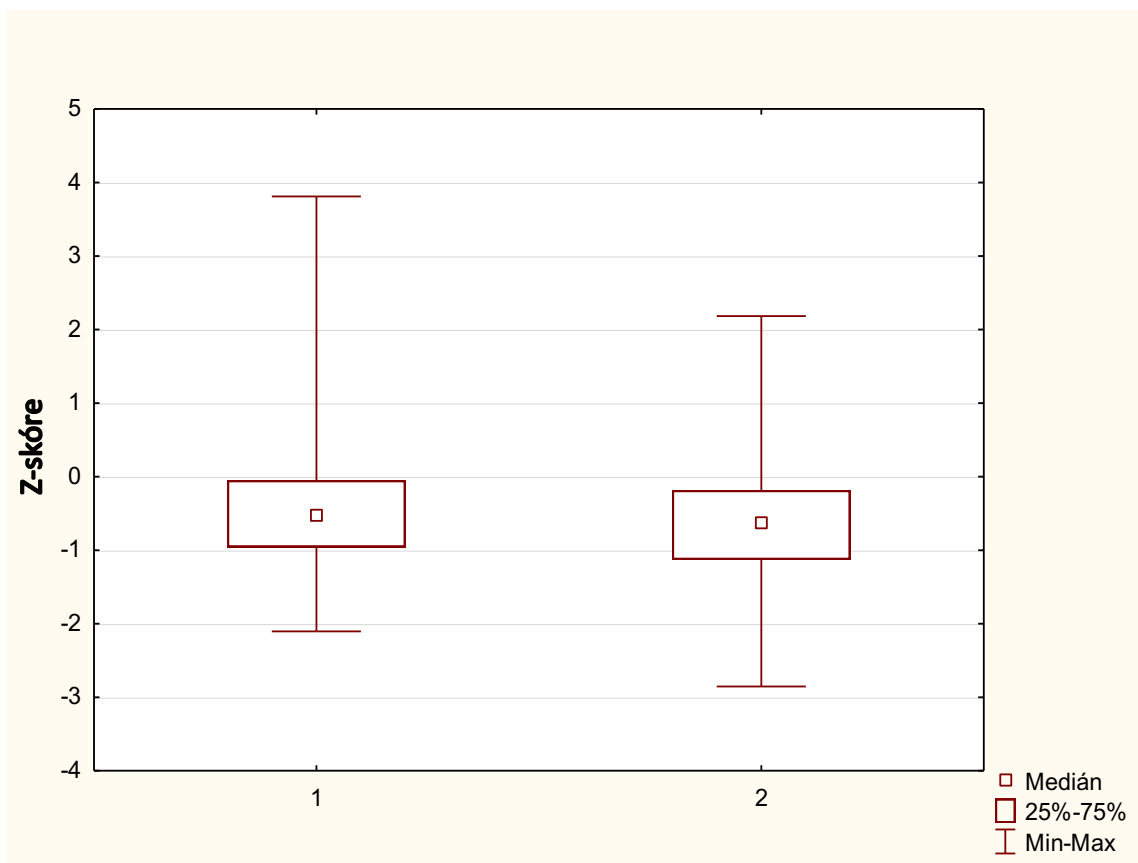


**Graf 5**

*Porovnání Z-skóre v oblasti pravého předloktí u žen a mužů*

Z grafu výše je patrné, že ženy mají vyšší hodnoty Z-skóre v oblasti pravého předloktí než muži. Nejnižší naměřená hodnota ve skupině žen byla -1,896 SD, nejvyšší pak 3,036 SD. U mužů byla nejnižší naměřená hodnota Z-Skóre -3,064 SD, nejvyšší pak 1,838 SD (*Graf 5*).

7 mužů z celkového počtu 240 (2,41 %) mělo Z-Skóre v oblasti pravého předloktí > -2 SD, žádná žena z celkového počtu 290 neměla Z-Skóre > -2 SD.

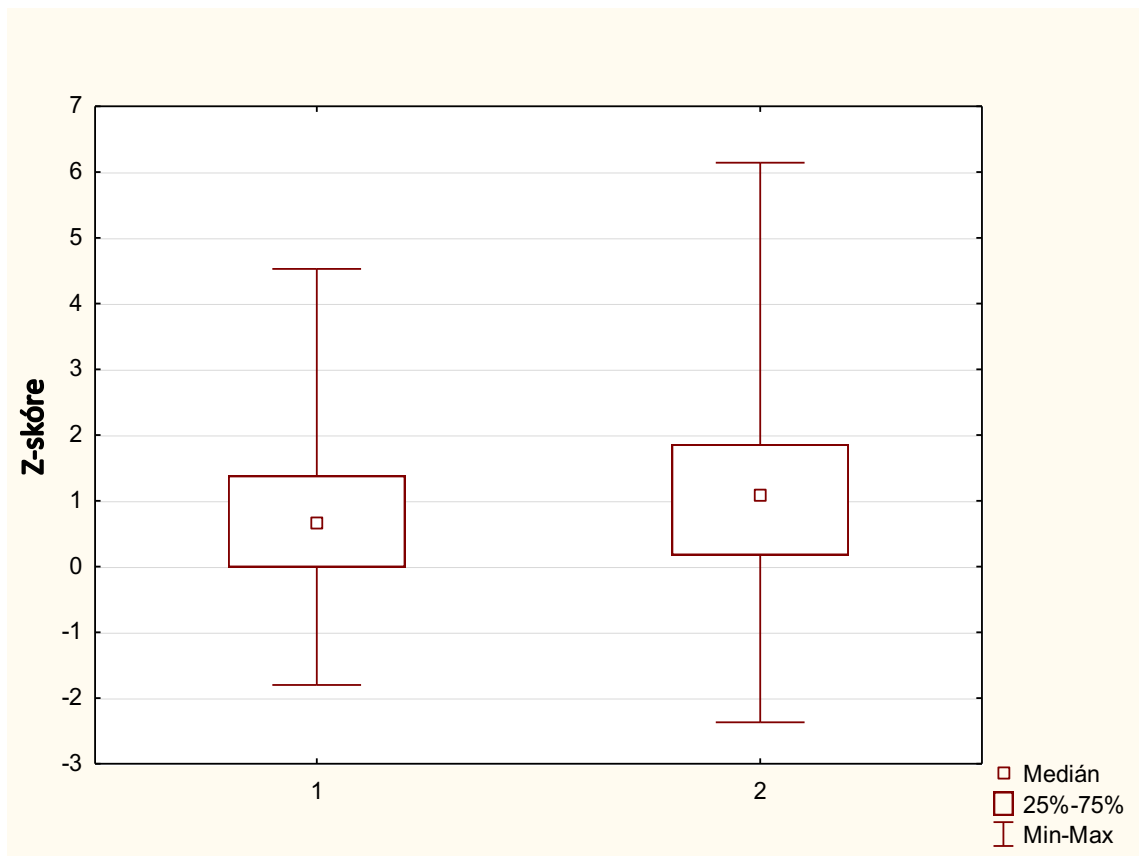


**Graf 6**

*Porovnání Z-skóre v oblasti levého předloktí u žen a mužů*

Z grafu výše je patrné, že ženy mají vyšší hodnoty Z-skóre v oblasti levého předloktí než muži. Nejnižší naměřená hodnota ve skupině žen byla -2,104 SD, nejvyšší pak 3,809 SD. U mužů byla nejnižší naměřená hodnota Z-Skóre -2,854 SD, nejvyšší pak 2,183 SD (Graf 6).

8 mužů z celkového počtu 240 (3,33 %) mělo Z-Skóre v oblasti levého předloktí > -2 SD, 1 žena z celkového počtu 290 (0,34 %) měla Z-Skóre > -2 SD.

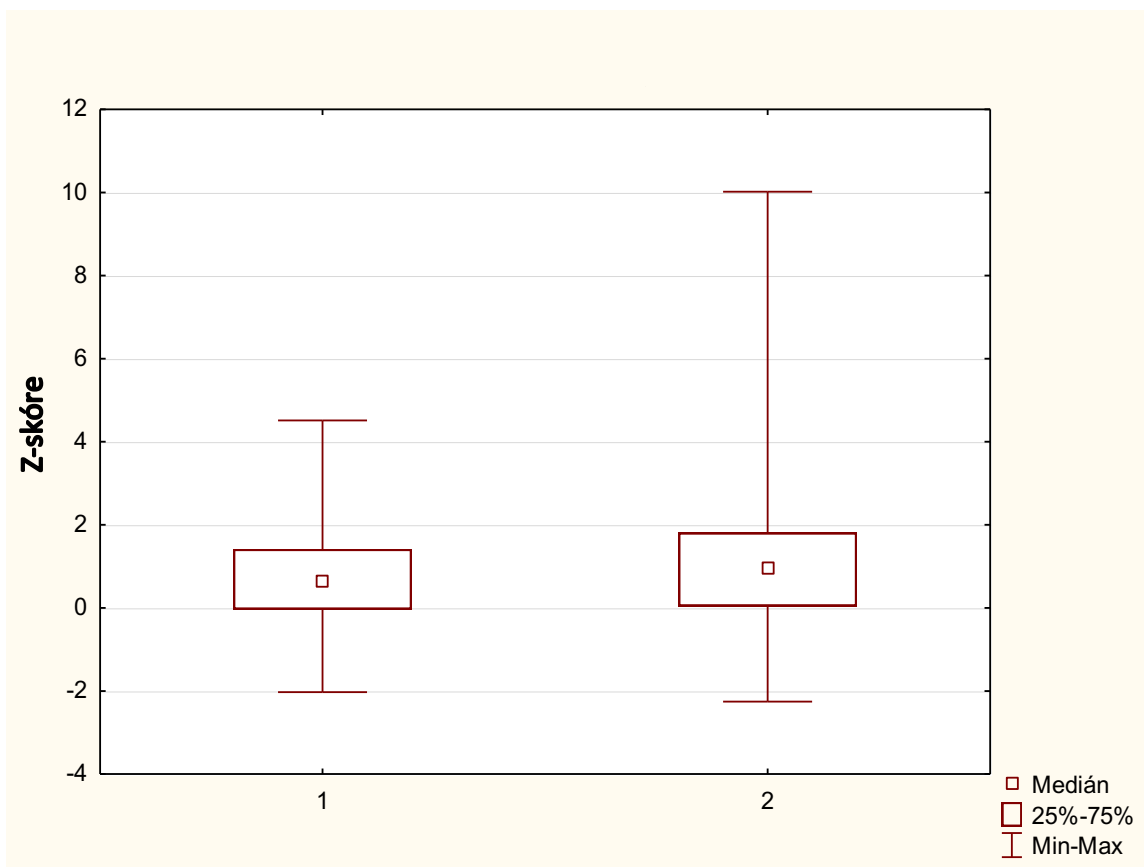


**Graf 7**

*Porovnání Z-skóre v oblasti pravé patní kosti u žen a mužů*

Z grafu výše je patrné, že muži mají vyšší hodnoty Z-skóre v oblasti pravé patní kosti než ženy. Nejnižší naměřená hodnota ve skupině žen byla -1,799 SD, nejvyšší pak 4,527 SD. U mužů byla nejnižší naměřená hodnota Z-Skóre -2,368 SD, nejvyšší pak 6,142 SD (Graf 7).

2 muži z celkového počtu 240 (0,68 %) měli Z-Skóre v oblasti pravé patní kosti > -2 SD, žádná žena z celkového počtu 290 neměla Z-Skóre > -2 SD.



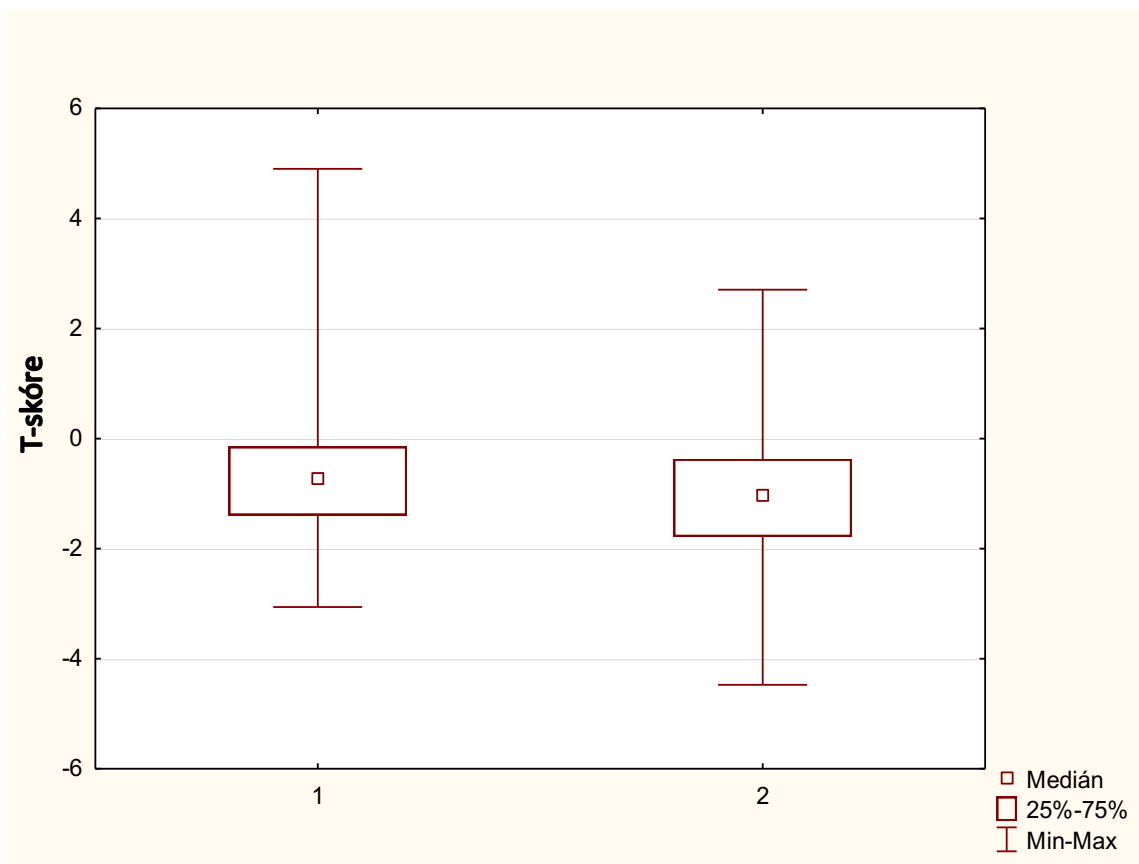
**Graf 8**

*Porovnání Z-skóre v oblasti levé patní kosti u žen a mužů*

Z grafu výše je patrné, že muži mají vyšší hodnoty Z-skóre v oblasti levé patní kosti než ženy. Nejnižší naměřená hodnota ve skupině žen byla -2,026 SD, nejvyšší pak 4,512 SD. U mužů byla nejnižší naměřená hodnota Z-Skóre -2,256 SD, nejvyšší pak 10,018 SD (*Graf 8*).

2 muži z celkového počtu 240 (0,68 %) měli Z-Skóre v oblasti levé patní kosti > -2 SD, 1 žena z celkového počtu 290 (0,34 %) měla Z-Skóre > -2 SD.

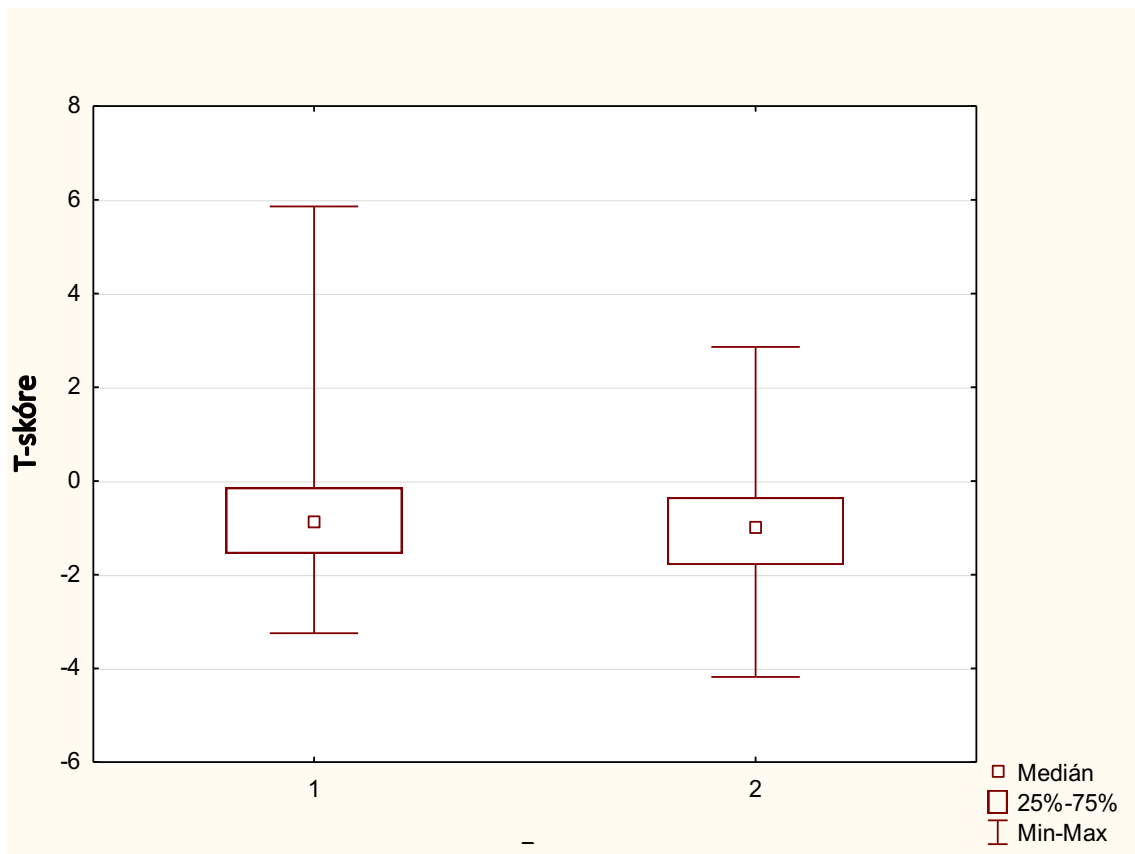
### 5.3 Hodnocení kostní denzity (T-skóre)



**Graf 9**

*Porovnání T-skóre v oblasti pravého předloktí u žen a mužů*

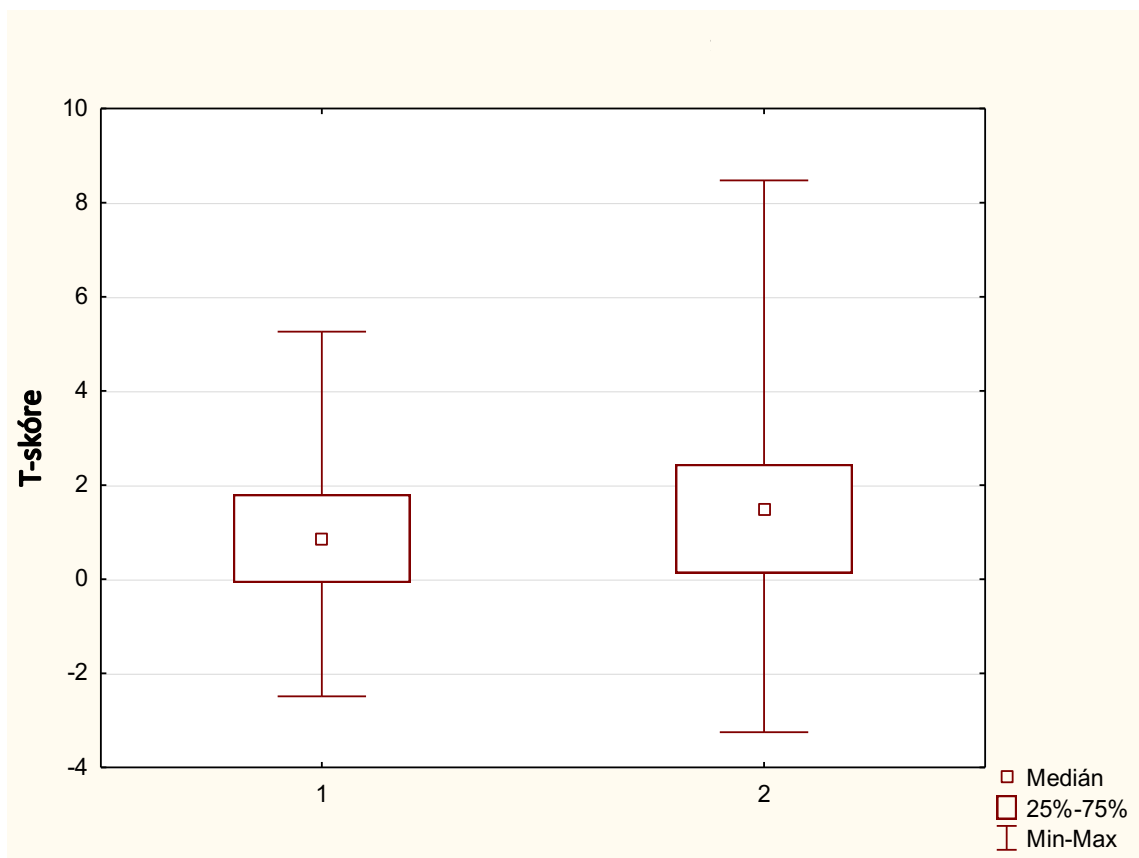
Z grafu výše je patrné, že ženy mají vyšší hodnoty T-skóre v oblasti pravého předloktí než muži. Nejnižší naměřená hodnota ve skupině žen byla -3,059 SD, nejvyšší pak 4,902 SD. U mužů byla nejnižší naměřená hodnota T-Skóre -4,473 SD, nejvyšší pak 2,707 SD (Graf 9).



**Graf 10**

*Porovnání T-skóre v oblasti levého předloktí u žen a mužů*

Z grafu výše je patrné, že ženy mají vyšší hodnoty T-skóre v oblasti levého předloktí než muži. Nejnižší naměřená hodnota ve skupině žen byla -3,247 SD, nejvyšší pak 5,858 SD. U mužů byla nejnižší naměřená hodnota T-Skóre -4,180 SD, nejvyšší pak 2,859 SD (Graf 10).

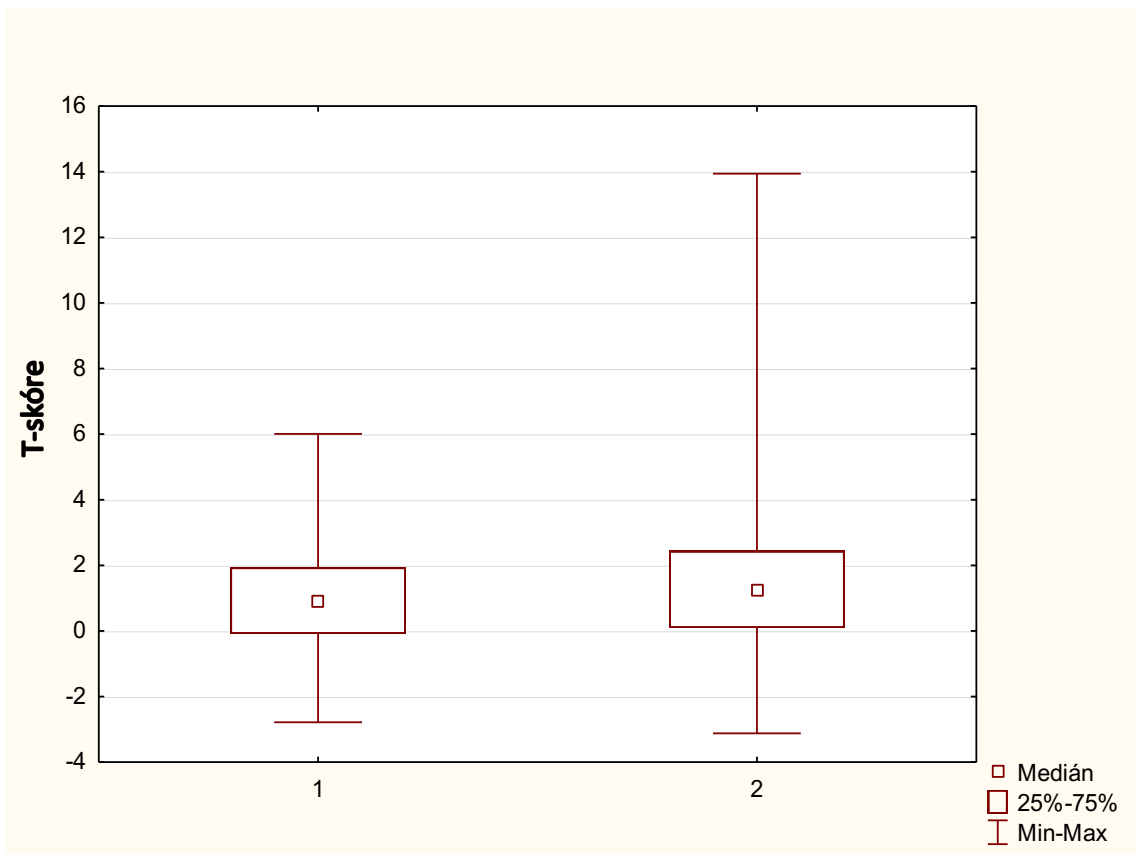


**Graf 11**

*Porovnání T-skóre v oblasti pravé patní kosti*

Z grafu výše je patrné, že muži mají vyšší hodnoty T-skóre v oblasti pravé patní kosti než ženy. Nejnižší naměřená hodnota ve skupině žen byla -2,489 SD, nejvyšší pak 5,258 SD. U mužů byla nejnižší naměřená hodnota T-Skóre -3,249 SD, nejvyšší pak 8,472 SD (Graf 11).





**Graf 12**

*Porovnání T-skóre v oblasti levé patní kosti*

Z grafu výše je patrné, že muži mají vyšší hodnoty T-skóre v oblasti levé patní kosti než ženy. Nejnižší naměřená hodnota ve skupině žen byla -2,786 SD, nejvyšší pak 6,007 SD. U mužů byla nejnižší naměřená hodnota T-Skóre -3,121 SD, nejvyšší pak 13,942 SD (*Graf 12*).

**Tabulka 6***Statistické srovnání sledovaných proměnných dle pohlaví*

<b>proměnná</b>	<b>Sčt poř. skup. 1</b>	<b>Sčt poř. skup. 2</b>	<b>U</b>	<b>Z upravené</b>	<b>p-hodn.</b>
Výška	48080,50	92634,50	5885,50	-16,4843	0,000000**
Hmotnost	48032,50	92682,50	5837,50	-16,5096	0,000000**
BMI	59758,00	80957,00	17563,00	-9,8218	0,000000**
BMD p. př.	55184,50	85530,50	12989,50	-12,4278	0,000000**
T-skór p. př.	82816,50	57898,50	28978,50	3,3169	0,000910**
Z-skór p. př.	82931,50	57783,50	28863,50	3,3825	0,000718**
BMD l. př.	55416,50	85298,50	13221,50	-12,2956	0,000000**
T-skór l. př.	81031,50	59683,50	30763,50	2,2998	0,021460*
Z-skór l. př.	81112,50	59602,50	30682,50	2,3460	0,018979*
BMD p. pat.	54301,00	86414,00	12106,00	-12,9313	0,000000**
T-skór p. pat.	70975,00	69740,00	28780,00	-3,4300	0,000604**
Z-skór p. pat.	71290,00	69425,00	29095,00	-3,2505	0,001152**
BMD l. pat.	55394,50	85320,50	13199,50	-12,3082	0,000000**
T-skór l. pat.	72401,50	68313,50	30206,50	-2,6172	0,008866**
Z-skór l. pat.	72567,50	68147,50	30372,50	-2,5226	0,011649*

vysvětlivky: (p. př. – pravé předloktí, l. př. – levé předloktí, p. pat. – pravá patní kost, l. pat. – levá patní kost); \*p < 0,05 (Mann Whitney-U test, statistická významnost); \*\*p < 0,01; + r 0,3-0,5 (ES – effect size, věcná významnost pro Mann Whitney-U test); ++r nad 0,5; NS – non significant (bez signifikance)

## Tabulka 7

Srovnání sledovaných proměnných, skupiny dle věku (19–30 let a 30,1–39 let)

proměnná	Sčt poř. skup. 1	Sčt poř. skup. 2	U	Z upravené	p-hodn.
Výška	120506,0	20209,00	15853,00	-0,68101	0,495867 <sup>NS</sup>
Hmotnost	118866,0	21849,00	14213,00	-2,03124	0,042232*
BMI	118816,5	21898,50	14163,50	-2,07121	0,038340*
BMD p. př.	118403,0	22312,00	13750,00	-2,41153	0,015886*
T-skór p. př.	119652,0	21063,00	14999,00	-1,38354	0,166500 <sup>NS</sup>
Z-skór p. př.	120013,0	20702,00	15360,00	-1,08642	0,277294 <sup>NS</sup>
BMD l. př.	120296,0	20419,00	15643,00	-0,85350	0,393383 <sup>NS</sup>
T-skór l. př.	121282,0	19433,00	16629,00	-0,04198	0,966518 <sup>NS</sup>
Z-skór l. př.	121600,0	19115,00	16414,00	0,21893	0,826704 <sup>NS</sup>
BMD p. pat.	120530,5	20184,50	15877,50	-0,66049	0,508937 <sup>NS</sup>
T-skór p. pat.	121696,5	19018,50	16317,50	0,29835	0,765433 <sup>NS</sup>
Z-skór p. pat.	122171,5	18543,50	15842,50	0,68930	0,490634 <sup>NS</sup>
BMD l. pat.	120025,5	20689,50	15372,50	-1,07613	0,281869 <sup>NS</sup>
T-skór l. pat.	120934,0	19781,00	16281,00	-0,32840	0,742613 <sup>NS</sup>
Z-skór l. pat.	121360,0	19355,00	16654,00	0,02140	0,982927 <sup>NS</sup>

Z výše uvedených tabulek je patrné, že statisticky významné rozdíly byly zjištěny u všech sledovaných proměnných při srovnání mezi pohlavím. Při rozdělení studentů a studentek na dvě skupiny dle věku lze pozorovat statisticky významný rozdíl pouze v proměnných: hmotnost, BMI a BMD pravého předloktí.

Nejvyšší hladiny statistické významnosti  $p < 0,0100$  související s kostní denzitou při srovnání dle pohlaví vykazují parametry: BMD pravého předloktí, T-skóre pravého předloktí, Z-skóre pravého předloktí, BMD levého předloktí, BMD pravé patní kosti, T-skóre pravé patní kosti, Z-skóre pravé patní kosti, BMD levé patní kosti, T-skóre levé patní kosti. Statisticky významné rozdíly na hladině  $p < 0,0500$  jsou: T-skóre levého předloktí, Z-skóre levého předloktí, Z-skóre levé patní kosti. Z výsledku rozdílů v lateralitě lze usuzovat, že studenti měli pravděpodobně dominantní pravou horní a pravou dolní končetinu.

## 6. DISKUZE

### 6.1. Diskuze k VO1: Jaký je průměrný stav kostní denzity u studentů a studentek FTK UP ve srovnání se standardními referenčními hodnotami pro jejich věkovou skupinu?

Dle výsledků měření bylo zjištěno že:

- 7 mužů z celkového počtu 240 (2,41 %) mělo Z-Skóre v oblasti pravého předloktí > -2 SD, žádná žena z celkového počtu 290 neměla Z-Skóre > -2 SD.
- 8 mužů z celkového počtu 240 (3,33 %) mělo Z-Skóre v oblasti levého předloktí > -2 SD, 1 žena z celkového počtu 290 (0,34 %) měla Z-Skóre > -2 SD.
- 2 muži z celkového počtu 240 (0,68 %) měli Z-Skóre v oblasti levé patní kosti > -2 SD, 1 žena z celkového počtu 290 (0,34 %) měla Z-Skóre > -2 SD.

Výsledky z měření periferní kostní denzity u studentů a studentek FTK UP naznačují, že studenti vysoké školy se sportovním zaměřením nejsou v porovnání s referenčními hodnotami osob stejného věku, stejného pohlaví a stejné etnické skupiny výrazně ohroženi úbytkem kostní denzity. Pro srovnání prevalence osteoporózy v ČR je 5–8 % (International Osteoporosis Foundation, 2021).

### 6.2. Diskuze k VO2: Má věk studentů a studentek FTK UP vliv na jejich kostní denzitu? Jsou zde patrné rozdíly mezi mladšími a staršími jedinci?

Po statistickém zpracování dat mezi skupinami mladších studentů a studentek 19–30 let a starších studentů a studentek 30,1–39 let byly zjištěny rozdíly pouze v parametrech: hmotnost, BMI a BMD pravého předloktí. U ostatních proměnných se neprokázal statisticky významný rozdíl. Signifikance zjištěných výsledků byla stanovena na hladině  $p < 0,0500$ .

### 6.3. Diskuze k VO3: Jaká je prevalence osteopenie a osteoporózy, mezi studenty a studentkami FTK UP?

Při porovnávání hodnot T-skóre, které se mj. používá u osob starších 50 let, u dětí nebo žen před menopauzou (T-skóre – naměřená hodnota se srovnává s průměrnou hodnotou u mladých zdravých jedinců, typicky 20–35 let, kdy dochází k vrcholu kostní hmoty) byly zjištěny následující výsledky:

#### Pravé předloktí

- Osteopenie (T-skóre mezi -1,0 a -2,4 SD)
  - Muži – 96 studentů (40 %)
  - Ženy – 107 studentek (36,89 %)
- Osteoporóza (T-skóre -2,5 SD a nižší)
  - Muži – 24 studentů (10 %)
  - Ženy – 6 studentek (2,06 %)

#### Levé předloktí

- Osteopenie (T-skóre mezi -1,0 a -2,4 SD)
  - Muži – 97 studentů (40,41 %)
  - Ženy – 109 studentek (37,58 %)
- Osteoporóza (T-skóre -2,5 SD a nižší)
  - Muži – 22 studentů (9,16 %)
  - Ženy – 10 studentek (3,44 %)

#### Pravá patní kost

- Osteopenie (T-skóre mezi -1,0 a -2,4 SD)
  - Muži – 9 studentů (3,75 %)
  - Ženy – 29 studentek (10 %)

- Osteoporóza (T-skóre  $-2,5$  SD a nižší)
  - Muži – 2 (0,83 %)
  - Ženy – 0

#### Levá patní kost

- Osteopenie (T-skóre mezi  $-1,0$  a  $-2,4$  SD)
  - Muži – 19 (7,91 %)
  - Ženy – 27 (9,31 %)
- Osteoporóza (T-skóre  $-2,5$  SD a nižší)
  - Muži – 3 (1,25 %)
  - Ženy – 2 (0,68 %)

Z výše uvedených výsledků se jeví, že se zejména v segmentech horních končetin téměř polovina studentů nachází v rozmezí osteopenie. Výsledky dolních končetin jsou nepatrně lepší. Tento fakt je především dán tím, že horní končetiny nejsou zatíženy hmotností těla a jsou méně namáhány, proto nedochází tak často k impulsům potřebným ke kostní remodelaci. Diagnostika osteopenie nebo osteoporózy je ovšem složitější.

Diagnostiku osteopenie nebo osteoporózy na základě denzitometrického vyšetření a dle výsledků T-skóre a Z-skóre provádí výhradně lékař s příslušnou atestací. Snížené hodnoty T nebo Z skóre nemusí nutně znamenat toto onemocnění. Diagnóza je závislá na dalších faktorech jako je pohlaví, genetika, nutriční stav, abúzus alkoholem nebo tabákovými výrobky, socioekonomický status, vyšetření krve, hormonální stav a mnoho dalších.

## 7. Limitace

Ve své práci shledávám několik limitací.

1. Před měřením nebyla provedena podrobná vstupní anamnéza, osobní anamnéza, zdravotní anamnéza např. historie osteoporózy v rodinně, dotazník na socioekonomický status, farmakologická anamnéza, nutriční screening a další rozšiřující informace o studentech, které by mi pomohly lépe usuzovat závěry výsledků. 2. Nebyl jsem schopen zajistit historii pohybové aktivity měřených studentů například dotazníkem ACLS, IPAQ apod., včetně záznamů o konkrétním druhu aktivit, impaktivních sportů, denní pohybové zátěži a druhu aktivity během práce a záznamů o sportovní aktivitě v rámci volného času. 4. Skupiny nejsou homogenní, velké rozdíly ve věku, hmotnosti, výšce a BMI. Pro budoucí výzkum by bylo možné například porovnávat studenty více škol a párovat následně dle BMI, dle věku do menších skupin apod.

Z výše uvedených důvodů se práce zabývá pouze aktuálním stavem kostní denzity a především rozdíly mezi pohlavím a věkem a nelze z ní usuzovat a ani hodnotit příčiny snížených nebo zvýšených hodnot denzity kostní tkáně. Práce slouží jako průzkum aktuálního stavu kostní denzity u studentů sportovně zaměřené vysoké školy a do budoucna z ní lze vycházet k dalším porovnáním a podrobnějšímu výzkumu.



## 8. ZÁVĚR

V své diplomové práci jsem se zabýval aktuálním stavem kostní denzity u studentů FTK UP. Celkově jsem ve své práci zpracoval 530 studentů a studentek ve věkovém rozmezí 19–39 let. U populace ve své práci jsem předpokládal, že výsledky Z-skóre nebudou významně odlišné od referenčních hodnot, což se v mé práci potvrdilo. U studentů sportovně zaměřených škol se předpokládá, že mají dostatek pohybu jak v rámci svého studia, tak i mimo něj, a tak jsou stimuly, které spouští remodelaci kostí a udržují je zdravé dostatečné. Statisticky významné rozdíly v kostní denzitě mezi studenty a studentkami byly zjištěny ve všech sledovaných parametrech souvisejících s kostní denzitou (BMD, T-skóre, Z-skóre) a to jak v oblasti předloktí, tak i patní kosti. Mimo faktor pohlaví, jsou statisticky významné rozdíly způsobené i hmotností a BMI. Při budoucích výzkumech by bylo vhodné sledovat rozdíly při menším počtu nezávislých proměnných na homogenním vzorku a zároveň co nejvíce eliminovat intervenující proměnné, nicméně vzhledem k povaze práce, kde jsem se zabýval aktuálním stavem kostní denzity bylo potřebné mít soubor co nejkompaktnější. Za zajímavé považuji rozdíly mezi horními a dolními končetinami, které jsou pravděpodobně ovlivněny přirozeným zatížením těla vlastní hmotností. Dále mírně vyšší hodnoty BMD na pravé straně těla značící dominantnější pravou polovinu těla u zkoumané skupiny studentů a studentek FTK UP. Naopak rozdíly při rozdělení skupin studentů na mladší 19–30 let a starší 30,1–39 let byly minimální a statisticky významná byla pro účely této práce hodnota BMD pravého předloktí. Pro větší rozdíly bych pravděpodobně musel zvolit větší vzorek studentů a zahrnout i studenty univerzity třetího věku. Měření odhalilo velmi zajímavá data, která jsou dle mého názoru přínosná a mohou být dále použita například při srovnání se studenty jiných sportovně zaměřených vysokých škol nebo jiného zaměření či všeobecně. Všechny vytyčené cíle práce byly splněny.

## 9. SOUHRN

Kostní denzita (hustota) je klíčovým ukazatelem skeletálního zdraví a má významný vliv na celkovou kvalitu života jednotlivce. Změny v kostní denzitě mohou signalizovat různé patologické stavy, včetně osteoporózy, která je jedním z hlavních rizikových faktorů pro fraktury kostí. Výzkum kostní denzity a prevence osteoporózy získává v posledních desetiletích stále větší pozornost.

Osteoporóza je velmi závažné onemocnění, které postihuje moderní společnost, často kvůli nedostatku pohybu. Tato nemoc, známá také jako „tichá epidemie 21. století“, vede k úbytku kostní hmoty. Postižené kosti jsou méně odolné vůči mechanickým vlivům, ztrácejí pružnost a pevnost, což zvyšuje riziko zlomenin.

Hlavním cílem této diplomové práce bylo pomocí lokálního denzitometru EXA-3000 vyhodnotit stav kostní tkáně v oblasti předloktí a paty u studentů a studentek FTK UP ve věku 19–39 let. Analyzována byla kostní denzita u mladých jedinců, což je populace často přehlížená v kontextu osteopenie, osteoporózy a skeletálního zdraví obecně.

V teoretické části této práce je nejprve představena charakteristika sledované skupiny, následovaná kapitolami věnovanými osteologii a patofyziologii kostních onemocnění, a možnostem diagnostiky kostní denzity. Diskutovány jsou také faktory ovlivňující kostní denzitu a rizikové faktory spojené s vývojem osteoporózy. Dále je popsána metodologie výzkumu, včetně popisu použitého denzitometrického zařízení a způsobu sběru dat, a formulovány cíle a hypotézy práce.

Výsledky ukázaly, že ženy mají nižší hustotu kostní tkáně než muži, přičemž věk v tomto kontextu nehrál roli. Dále bylo zjištěno, že frekvence výskytu osteoporózy se pohybuje u mužů mezi 0,83 % a 10 % a u žen mezi 0,68 % a 10 %. Prevalence osteoporózy v ČR je 5–7 %. Přínosem této práce je stanovení kostní denzity u specifické populace studentů vysoké školy se sportovním zaměřením, u nichž se předpokládá vyšší úroveň pohybové aktivity.

## 10. SUMMARY

Bone density (density) is a key indicator of skeletal health and has a significant impact on an individual's overall quality of life. Changes in bone density may indicate various pathological conditions, including osteoporosis, which is one of the main risk factors for bone fractures. Research on bone density and prevention of osteoporosis has been gaining increasing attention in recent decades.

Osteoporosis is a very serious disease that affects modern society, often due to lack of exercise. This disease, also known as the "silent epidemic of the 21st century", leads to bone loss. The affected bones are less resistant to mechanical influences, they lose flexibility and firmness, which increases the risk of fractures.

The main objective of this thesis was to use a local densitometer EXA-3000 to evaluate the condition of bone tissue in the area of the forearm and heel in students and students of FTK UP aged 19-39 years. Bone density in young individuals, which is a population often overlooked in the context of osteopenia, osteoporosis and skeletal health in general, was analysed.

In the theoretical part of this thesis, the characteristics of the study group are presented first, followed by chapters devoted to osteology and pathophysiology of bone diseases, and possibilities of bone density diagnosis. Factors influencing bone density and risk factors associated with the development of osteoporosis are also discussed. The methodology of the research is described below, including a description of the densitometry equipment used and the way of data collection, and the aims and hypotheses of the work are formulated.

The results showed that women have lower bone density than men, and age did not play a role in this context. Furthermore, the frequency of osteoporosis was found to be between 0.83% and 10% in men and between 0.68% and 10% in women. Prevalence of osteoporosis in the Czech population is around 5–7 %. The benefit of this work is the determination of bone density in a specific population of university

students with a sports orientation, who are expected to have a higher level of physical activity.

## 11. REFERENČNÍ SEZNAM

- Anderson, T. B., & Duong, H. (2023). Weight Bearing. In *StatPearls*. StatPearls Publishing.
- Andreoli, A., Monteleone, M., Van Loan, M., Promenzio, L., Tarantino, U., & De Lorenzo, A. (2001). Effects of different sports on bone density and muscle mass in highly trained athletes. *Medicine and science in sports and exercise*, 33(4), 507–511. <https://doi.org/10.1097/00005768-200104000-00001>
- Bailey, D. A., McKay, H. A., Mirwald, R. L., Crocker, P. R. E., & Faulkner, R. A. (1999). A Six-Year Longitudinal Study of the Relationship of Physical Activity to Bone Mineral Accrual in Growing Children: The University of Saskatchewan Bone Mineral Accrual Study. *Journal of Bone and Mineral Research*, 14(10), 1672–1679. <https://doi.org/10.1359/jbmr.1999.14.10.1672>
- Barrett, K. E., Barman, S. M., Boitano, S., & Brooks, H. (2015). *Ganong's Review of Medical Physiology 25th Edition*. McGraw Hill Professional.
- Baxter-Jones, A. D., Faulkner, R. A., Forwood, M. R., Mirwald, R. L., & Bailey, D. A. (2011). Bone mineral accrual from 8 to 30 years of age: An estimation of peak bone mass. *Journal of Bone and Mineral Research*, 26(8), 1729–1739. <https://doi.org/10.1002/jbmr.412>
- Bemben, D. A., & Bemben, M. G. (2010). Dose–response effect of 40 weeks of resistance training on bone mineral density in older adults. *Osteoporosis International*, 22(1), 179–186. <https://doi.org/10.1007/s00198-010-1182-9>
- Berg, H. E., Eiken, O., Miklavcic, L., & Mekjavic, I. B. (2007). Hip, thigh and calf muscle atrophy and bone loss after 5-week bedrest inactivity. *European journal of applied physiology*, 99(3), 283–289. <https://doi.org/10.1007/s00421-006-0346-y>
- Blake, G. M., & Fogelman, I. (2007). The role of DXA bone density scans in the diagnosis and treatment of osteoporosis. *Postgraduate medical journal*, 83(982), 509–517. <https://doi.org/10.1136/pgmj.2007.057505>

- Booth, F. W., Roberts, C. K., & Laye, M. J. (2012). Lack of Exercise Is a Major Cause of Chronic Diseases. *Comprehensive Physiology*, 1143–1211. <https://doi.org/10.1002/cphy.c110025>
- Boron, W. F., & Boulpaep, E. L., MD. (2016). *Medical physiology*. Elsevier.
- Botek, M., Neuls, F., Klimešová, I., & Vyhnánek, J. (2017-). *Fyziologie pro tělovýchovné obory: (vybrané kapitoly)*. Univerzita Palackého v Olomouci.
- Brand R. A. (2010). Biographical sketch: Julius Wolff, 1836-1902. *Clinical orthopaedics and related research*, 468(4), 1047–1049. <https://doi.org/10.1007/s11999-010-1258-z>
- Caballero, B., Finglas, P., & Toldrá, F. (2015). *Encyclopedia of Food and Health*. Elsevier Science Publishing Co Inc.
- Čihák, R. (2011). *Anatomie* (Třetí, upravené a doplněné vydání, ilustroval Ivan HELEKAL, ilustroval Jan KACVINSKÝ, ilustroval Stanislav MACHÁČEK). Grada.
- Dias Quiterio, A. L., Carnero, E. A., Baptista, F. M., & Sardinha, L. B. (2011). Skeletal mass in adolescent male athletes and nonathletes: relationships with high-impact sports. *Journal of strength and conditioning research*, 25(12), 3439–3447. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318216003b>
- Dook, J. E., James, C., Henderson, N. K., & Price, R. I. (1997). Exercise and bone mineral density in mature female athletes. *Medicine and science in sports and exercise*, 29(3), 291–296. <https://doi.org/10.1097/00005768-199703000-00002>
- Duncan, C. S., Blimkie, C. J., Cowell, C. T., Burke, S. T., Briody, J. N., & Howman-Giles, R. (2002). Bone mineral density in adolescent female athletes: relationship to exercise type and muscle strength. *Medicine and science in sports and exercise*, 34(2), 286–294. <https://doi.org/10.1097/00005768-200202000-00017>
- Dylevský, I. (1997). *Pohybový systém a zátěž*. Grada.

- El Sayed, S. A., Nezwek, T. A., & Varacallo, M. (2022). *Physiology, Bone*. In *StatPearls*. StatPearls Publishing.
- Emslander, H. C., Sinaki, M., Muhs, J. M., Chao, E. Y., Wahner, H. W., Bryant, S. C., Riggs, B. L., & Eastell, R. (1998). Bone mass and muscle strength in female college athletes (runners and swimmers). *Mayo Clinic proceedings*, 73(12), 1151–1160. <https://doi.org/10.4065/73.12.1151>
- Faienza, M. F., Lassandro, G., Chiarito, M., Valente, F., Ciaccia, L., & Giordano, P. (2020). How Physical Activity across the Lifespan Can Reduce the Impact of Bone Ageing: A Literature Review. *International journal of environmental research and public health*, 17(6), 1862. <https://doi.org/10.3390/ijerph17061862>
- Feldman, S., Capozza, R. F., Mortarino, P. A., Reina, P. S., Ferretti, J. L., Rittweger, J., & Cointry, G. R. (2012). Site and sex effects on tibia structure in distance runners and untrained people. *Medicine and science in sports and exercise*, 44(8), 1580–1588. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31824e10b6>
- Felson, D. T., Zhang, Y., Hannan, M. T., Naimark, A., Weissman, B., Aliabadi, P., & Levy, D. (1997). Risk factors for incident radiographic knee osteoarthritis in the elderly: the Framingham Study. *Arthritis and rheumatism*, 40(4), 728–733. <https://doi.org/10.1002/art.1780400420>
- Ferrari, S. L., & Roux, C. (2018). *Pocket Reference to Osteoporosis*. Springer Publishing.
- Fredericson, M., Jennings, F., Beaulieu, C., & Matheson, G. O. (2006). Stress fractures in athletes. *Topics in magnetic resonance imaging : TMRI*, 17(5), 309–325. <https://doi.org/10.1097/RMR.0b013e3180421c8c>
- Fredericson, M., Jennings, F., Beaulieu, C., & Matheson, G. O. (2006). Stress fractures in athletes. *Topics in magnetic resonance imaging : TMRI*, 17(5), 309–325. <https://doi.org/10.1097/RMR.0b013e3180421c8c>

- Frost H. M. (2003). Bone's mechanostat: a 2003 update. *The anatomical record. Part A, Discoveries in molecular, cellular, and evolutionary biology*, 275(2), 1081–1101. <https://doi.org/10.1002/ar.a.10119>
- Gregson, C. L., Hardcastle, S. A., Cooper, C., & Tobias, J. H. (2013). Friend or foe: high bone mineral density on routine bone density scanning, a review of causes and management. *Rheumatology (Oxford, England)*, 52(6), 968–985. <https://doi.org/10.1093/rheumatology/ket007>
- Gustavsson, A., Thorsen, K., & Nordström, P. (2003). A 3-year longitudinal study of the effect of physical activity on the accrual of bone mineral density in healthy adolescent males. *Calcified tissue international*, 73(2), 108–114. <https://doi.org/10.1007/s00223-002-2026-1>
- Hans DB, Shepherd JA, Schwartz EN, Reid DM, Blake GM, Fordham JN, Fuerst T, Hadji P, Itabashi A, Krieg MA, Lewiecki EM. Peripheral dual-energy X-ray absorptiometry in the management of osteoporosis: the 2007 ISCD Official Positions. *J Clin Densitom.* 2008 Jan-Mar;11(1):188-206. doi: 10.1016/j.jocd.2007.12.012. PMID: 18442759.
- Hartley, A., Hardcastle, S. A., Paternoster, L., McCloskey, E., Poole, K. E. S., Javaid, M. K., Aye, M., Moss, K., Granell, R., Gregory, J., Williams, M., Tobias, J. H., & Gregson, C. L. (2020). Individuals with high bone mass have increased progression of radiographic and clinical features of knee osteoarthritis. *Osteoarthritis and cartilage*, 28(9), 1180–1190. <https://doi.org/10.1016/j.joca.2020.03.020>
- Hasegawa, T., Hongo, H., Yamamoto, T., Abe, M., Yoshino, H., Haraguchi-Kitakamae, M., Ishizu, H., Shimizu, T., Iwasaki, N., & Amizuka, N. (2022). Matrix Vesicle-Mediated Mineralization and Osteocytic Regulation of Bone Mineralization. *International journal of molecular sciences*, 23(17), 9941. <https://doi.org/10.3390/ijms23179941>
- Hovorková, J. (n.d.). *Denzitometrie – vyšetření, které změří kvalitu kostní tkáně.*



- Ignasiak, Z., Kaczorowska, A., Katan, A., & Domaradzki, J. (2009). Evaluation of fitness of elderly women by means of Fullerton Test. *Physiotherapy/Fizjoterapia*, 17(2). <https://doi.org/10.2478/v10109-010-0007-x>
- IOF. (2020, January 20). *Diagnosis*. International Osteoporosis Foundation. <https://www.osteoporosis.foundation/patients/diagnosis>
- Iura, A., McNerny, E. G., Zhang, Y., Kamiya, N., Tantillo, M., Lynch, M., Kohn, D. H., & Mishina, Y. (2015). Mechanical Loading Synergistically Increases Trabecular Bone Volume and Improves Mechanical Properties in the Mouse when BMP Signaling Is Specifically Ablated in Osteoblasts. *PLoS one*, 10(10), e0141345. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0141345>
- Jenšovský, J., Džupa, V. (Ed.). (2018). *Diagnostika a léčba osteoporózy a dalších onemocnění skeletu*. Univerzita Karlova, nakladatelství Karolinum.
- Jürimäe, J., Gruodyte-Raciene, R., & Baxter-Jones, A. D. G. (2018). Effects of Gymnastics Activities on Bone Accrual during Growth: A Systematic Review. *Journal of sports science & medicine*, 17(2), 245–258.
- Kalvach, Z., & kol. (1997). *Úvod do gerontologie a geriatrie: integrovaný text pro interdisciplinární studium. Díl 1, Gerontologie obecná a aplikovaná*. Praha: Karolinum.
- Kanis J. A. (2002). Diagnosis of osteoporosis and assessment of fracture risk. *Lancet* (London, England), 359(9321), 1929–1936. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(02\)08761-5](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(02)08761-5)
- Kanis, J. A., McCloskey, E. V., Johansson, H., Cooper, C., Rizzoli, R., Reginster, J. Y., & Scientific Advisory Board of the European Society for Clinical and Economic Aspects of Osteoporosis and Osteoarthritis (ESCEO) and the Committee of Scientific Advisors of the International Osteoporosis Foundation (IOF) (2013). European guidance for the diagnosis and management of osteoporosis in postmenopausal women. *Osteoporosis international : a journal established as result of cooperation between the European Foundation for Osteoporosis and the National Osteoporosis Foundation of the USA*, 24(1), 23–57. <https://doi.org/10.1007/s00198-012-2074-y>

- Kanis, J. A., McCloskey, E. V., Johansson, H., Oden, A., Melton, L. J., 3rd, & Khaltsev, N. (2008). A reference standard for the description of osteoporosis. *Bone*, 42(3), 467–475. <https://doi.org/10.1016/j.bone.2007.11.001>
- Kelley, G. A., Kelley, K. S., & Tran, Z. V. (2001). Resistance training and bone mineral density in women: a meta-analysis of controlled trials. *American journal of physical medicine & rehabilitation*, 80(1), 65–77. <https://doi.org/10.1097/00002060-200101000-00017>
- Kittnar, O. (2020). *Lékařská fyziologie* (2., přeprac. a dopl. vyd). Grada Publishing.
- Klementa, J. (1981). *Somatologie a antropologie: vysokoškolská učebnice pro studium učitelství všeobecně vzdělávacích předmětů*. Státní pedagogické nakladatelství.
- Kohrt, W. M., Bloomfield, S. A., Little, K. D., Nelson, M. E., Yingling, V. R., & American College of Sports Medicine (2004). American College of Sports Medicine Position Stand: physical activity and bone health. *Medicine and science in sports and exercise*, 36(11), 1985–1996. <https://doi.org/10.1249/01.mss.0000142662.21767.58>
- Krugh, M., & Langaker, M. D. (2023). Dual-Energy X-Ray Absorptiometry. In *StatPearls*. StatPearls Publishing.
- Kumar, V., Abbas, A. K., & Aster, J. C. (2017). *Robbins Basic Pathology*. Elsevier.
- Li, Y., Ling, J., & Jiang, Q. (2021). Inflammasomes in Alveolar Bone Loss. *Frontiers in immunology*, 12, 691013. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2021.691013>
- Looker, A. C., Wahner, H. W., Dunn, W. L., Calvo, M. S., Harris, T. B., Heyse, S. P., Johnston Jr, C. C., & Lindsay, R. (1998). Updated Data on Proximal Femur Bone Mineral Levels of US Adults. *Osteoporosis International*, 8(5), 468–490. <https://doi.org/10.1007/s001980050093>
- Máček, M., & Máčková, J. (1997). *Fyziologie tělesných cvičení*. Masarykova univerzita.
- Machová, J. (2002). *Biologie člověka pro učitele*. Karolinum.
- Matalová, P. (2018). *Osteoporóza: pro studium i praxi*. Univerzita Palackého v Olomouci.

- Mudd, L. M., Fornetti, W., & Pivarnik, J. M. (2007). Bone mineral density in collegiate female athletes: comparisons among sports. *Journal of athletic training*, 42(3), 403–408.
- Neumann, D. A. (2017). *Kinesiology of the musculoskeletal system: Foundations for Rehabilitation*. Mosby.
- Nichols, J. F., & Rauh, M. J. (2011). Longitudinal changes in bone mineral density in male master cyclists and nonathletes. *Journal of strength and conditioning research*, 25(3), 727–734. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181c6a116>
- Nichols, J. F., Rauh, M. J., Barrack, M. T., & Barkai, H. S. (2007). Bone mineral density in female high school athletes: interactions of menstrual function and type of mechanical loading. *Bone*, 41(3), 371–377. <https://doi.org/10.1016/j.bone.2007.05.003>
- Nikander, R., Kannus, P., Rantalainen, T., Uusi-Rasi, K., Heinonen, A., & Sievänen, H. (2010). Cross-sectional geometry of weight-bearing tibia in female athletes subjected to different exercise loadings. *Osteoporosis international : a journal established as result of cooperation between the European Foundation for Osteoporosis and the National Osteoporosis Foundation of the USA*, 21(10), 1687–1694. <https://doi.org/10.1007/s00198-009-1101-0>
- Nikander, R., Sievänen, H., Uusi-Rasi, K., Heinonen, A., & Kannus, P. (2006). Loading modalities and bone structures at nonweight-bearing upper extremity and weight-bearing lower extremity: a pQCT study of adult female athletes. *Bone*, 39(4), 886–894. <https://doi.org/10.1016/j.bone.2006.04.005>
- Nikander, R., Sievänen, H., Uusi-Rasi, K., Heinonen, A., & Kannus, P. (2006). Loading modalities and bone structures at nonweight-bearing upper extremity and weight-bearing lower extremity: a pQCT study of adult female athletes. *Bone*, 39(4), 886–894. <https://doi.org/10.1016/j.bone.2006.04.005>
- Papalia, D. E., & Martorell, G. (2021). *Experience human development*.

- Pasco, J. A., Seeman, E., Henry, M. J., Merriman, E. N., Nicholson, G. C., & Kotowicz, M. A. (2006). The population burden of fractures originates in women with osteopenia, not osteoporosis. *Osteoporosis International*, 17(9), 1404–1409. <https://doi.org/10.1007/s00198-006-0135-9>
- Pettersson, U., Nordström, P., Alfredson, H., Henriksson-Larsén, K., & Lorentzon, R. (2000). Effect of high impact activity on bone mass and size in adolescent females: A comparative study between two different types of sports. *Calcified tissue international*, 67(3), 207–214. <https://doi.org/10.1007/s002230001131>
- Porter, J. L., & Varacallo, M. (2023). Osteoporosis. In *StatPearls*. StatPearls Publishing.
- Povýšil, C. (2017). *Patomorfologie chorob kostí a kloubů*. Galén.
- Ragnarsson K. T. (2015). Bone loss and fractures in limbs paralyzed by spinal cord injury: Prevention, diagnosis, and treatment. *The journal of spinal cord medicine*, 38(1), 10–12. <https://doi.org/10.1179/2045772314Y.0000000200>
- Rantalainen, T., Nikander, R., Daly, R. M., Heinonen, A., & Sievänen, H. (2011). Exercise loading and cortical bone distribution at the tibial shaft. *Bone*, 48(4), 786–791. <https://doi.org/10.1016/j.bone.2010.11.013>
- Rantalainen, T., Nikander, R., Heinonen, A., Cervinka, T., Sievänen, H., & Daly, R. M. (2013). Differential effects of exercise on tibial shaft marrow density in young female athletes. *The Journal of clinical endocrinology and metabolism*, 98(5), 2037–2044. <https://doi.org/10.1210/jc.2012-3748>
- Richard Jelínek (n.d.) *Histologie embryologie* [online]. 3. lékařská fakulta UK.
- Riegerová, J., Přidalová, M., & Ulbrichová, M. (2006). *Aplikace fyzické antropologie v tělesné výchově a sportu: (příručka funkční antropologie)* (3. vyd). Hanex.
- Robling, A. G., Hinant, F. M., Burr, D. B., & Turner, C. H. (2002). Improved Bone Structure and Strength After Long-Term Mechanical Loading Is Greatest if Loading Is Separated Into

- Short Bouts. *Journal of Bone and Mineral Research*, 17(8), 1545–1554. <https://doi.org/10.1359/jbmr.2002.17.8.1545>
- Scerpella, J. J., Buehring, B., Hetzel, S. J., & Heiderscheidt, B. C. (2018). Increased Leg Bone Mineral Density and Content During the Initial Years of College Sport. *Journal of strength and conditioning research*, 32(4), 1123–1130. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001929>
- Seeman, E. (2003). Periosteal bone formation — a neglected determinant of bone strength. *New England Journal of Medicine/the New England Journal of Medicine*, 349(4), 320–323. <https://doi.org/10.1056/nejmp038101>
- Shepherd, J. A., & Blake, G. M. (2007). T-scores and Z-scores. *Journal of clinical densitometry : the official journal of the International Society for Clinical Densitometry*, 10(4), 349–350. <https://doi.org/10.1016/j.jocd.2007.08.006>
- Siris, E. S., Boonen, S., Mitchell, P. J., Bilezikian, J., & Silverman, S. (2012). What's in a name? What constitutes the clinical diagnosis of osteoporosis?. *Osteoporosis international : a journal established as result of cooperation between the European Foundation for Osteoporosis and the National Osteoporosis Foundation of the USA*, 23(8), 2093–2097. <https://doi.org/10.1007/s00198-012-1991-0>
- Skrzek A, Ignasiak Z, Sławińska T, Domaradzki J, Fugiel J, Sebastjan A, Rożek K. Structural and functional markers of health depending on lifestyle in elderly women from Poland. *Clin Interv Aging*. 2015 Apr 21;10:781-92. doi: 10.2147/CIA.S79485. PMID: 25960643; PMCID: PMC4410822.
- Solomons, T. W. G., Fryhle, C. B., & Snyder, S. A. (2017). *Organic chemistry*.
- Suniaga, S., Rolvien, T., Vom Scheidt, A., Fiedler, I. A. K., Bale, H. A., Huyseune, A., Witten, P. E., Amling, M., & Busse, B. (2018). Increased mechanical loading through controlled swimming exercise induces bone formation and mineralization in adult zebrafish. *Scientific reports*, 8(1), 3646. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-21776-1>

- Taaffe, D. R., Robinson, T. L., Snow, C. M., & Marcus, R. (1997). High-impact exercise promotes bone gain in well-trained female athletes. *Journal of bone and mineral research : the official journal of the American Society for Bone and Mineral Research*, 12(2), 255– 260. <https://doi.org/10.1359/jbmr.1997.12.2.255>
- Tenforde, A. S., & Fredericson, M. (2011). Influence of sports participation on bone health in the young athlete: a review of the literature. *PM & R : the journal of injury, function, and rehabilitation*, 3(9), 861–867. <https://doi.org/10.1016/j.pmrj.2011.05.019>
- Tyler, S. (2020). *Human Behavior and the social Environment I* [E-book]. University of Arkansas. <https://uark.pressbooks.pub/hbse1/>
- Varacallo, M. A., & Fox, E. J. (2014). Osteoporosis and its complications. *The Medical clinics of North America*, 98(4), 817–xiii. <https://doi.org/10.1016/j.mcna.2014.03.007>
- Wilks, D. C., Winwood, K., Gilliver, S. F., Kwiet, A., Chatfield, M., Michaelis, I., Sun, L. W., Ferretti, J. L., Sargeant, A. J., Felsenberg, D., & Rittweger, J. (2009). Bone mass and geometry of the tibia and the radius of master sprinters, middle and long distance runners, race-walkers and sedentary control participants: a pQCT study. *Bone*, 45(1), 91–97. <https://doi.org/10.1016/j.bone.2009.03.660>
- Wittich, A., Mautalen, C. A., Oliveri, M. B., Bagur, A., Somoza, F., & Rotemberg, E. (1998). Professional football (soccer) players have a markedly greater skeletal mineral content, density and size than age- and BMI-matched controls. *Calcified tissue international*, 63(2), 112–117. <https://doi.org/10.1007/s002239900499>
- Žofková, I. (2012). *Osteologie a kalcium-fosfátový metabolismus: aktuální témata*. Grada.

## 12. PŘÍLOHY

Tabulka 8

*Popisné charakteristiky zkoumaného souboru studentů a studentek FTK UP*

Proměnná	N platných	Průměr	Int. spolehl.  -95,000%	Int. spolehl.  95,000%	Medián	Minimum
Věk	530	26,7943	26,5277	27,0610	26,0000	19,0000
Výška	530	173,7406	172,9716	174,5095	173,0000	153,0000
Hmotnost	530	69,0279	67,9959	70,0600	68,0000	43,0000
BMD p. př.	530	0,4813	0,4748	0,4879	0,4762	0,3054
T-skór p. př.	530	-0,8460	-0,9414	-0,7506	-0,8463	-4,4739
Z-skór p. př.	530	-0,5142	-0,5752	-0,4531	-0,5055	-3,0641
BMD l. př.	530	0,4800	0,4731	0,4868	0,4749	0,2942
T-skór l. př.	530	-0,8684	-0,9672	-0,7696	-0,9260	-4,1805
Z-skór l. př.	530	-0,5282	-0,5916	-0,4648	-0,5666	-2,8541
BMD p. pat.	530	0,6395	0,6280	0,6510	0,6227	0,3327
T-skór p. pat.	530	1,1622	1,0234	1,3009	1,0855	-3,2490
Z-skór p. pat.	530	0,8939	0,7903	0,9974	0,8428	-2,3683
BMD l. pat.	530	0,6365	0,6246	0,6484	0,6222	0,3119
T-skór l. pat.	530	1,1197	0,9729	1,2665	0,9428	-3,1217
Z-skór l. pat.	530	0,8603	0,7517	0,9689	0,7487	-2,2563
BMI	530	22,7449	22,5122	22,9775	22,5887	16,3847

**Tabulka 9***Popisné charakteristiky zkoumaného souboru studentů a studentek FTK UP*

<b>Proměnná</b>	<b>Maximum</b>	<b>Dolní kvartil</b>	<b>Horní kvartil</b>	<b>Sm.odch.</b>	<b>Var.koef.</b>
Věk	39,0000	24,0000	29,0000	3,12457	11,661
Výška	201,0000	166,5000	180,0000	9,01136	5,187
Hmotnost	120,0000	60,0000	78,0000	12,09446	17,521
BMD p. př.	0,7832	0,4288	0,5255	0,07719	16,036
T-skór p. př.	4,9025	-1,5617	-0,2013	1,11814	-132,173
Z-skór p. př.	3,0367	-0,9744	-0,1009	0,71531	-139,118
BMD l. př.	0,8405	0,4271	0,5297	0,08013	16,694
T-skór l. př.	5,8584	-1,6645	-0,1848	1,15808	-133,359
Z-skór l. př.	3,8097	-1,0246	-0,0926	0,74283	-140,637
BMD p. pat.	1,2141	0,5455	0,7308	0,13454	21,038
T-skór p. pat.	8,4725	0,0008	2,1556	1,62590	139,900
Z-skór p. pat.	6,1428	0,0368	1,6351	1,21393	135,807
BMD l. pat.	1,5969	0,5427	0,7284	0,13940	21,900
T-skór l. pat.	13,9421	-0,0415	2,1438	1,72052	153,662
Z-skór l. pat.	10,0183	-0,0071	1,6633	1,27254	147,923
BMI	37,4483	20,7967	24,5089	2,72670	11,988



**Tabulka 10**

*Popisné charakteristiky zkoumaného souboru studentů a studentek FTK UP ve věku 19–30 let*

<b>Proměnná</b>	<b>N platných</b>	<b>Průměr</b>	<b>Int. spolehl. -95,000%</b>	<b>Int. spolehl. 95,000%</b>	<b>Medián</b>	<b>Minimum</b>
Věk	457	26,0000	25,7706	26,2294	26,0000	19,0000
Výška	457	173,6582	172,8144	174,5020	173,0000	153,0000
Hmotnost	457	68,5462	67,4673	69,6250	67,0000	43,0000
BMD p. př.	457	0,4786	0,4715	0,4857	0,4729	0,3054
T-skór p. př.	457	-0,8697	-0,9730	-0,7663	-0,8640	-4,4739
Z-skór p. př.	457	-0,5258	-0,5920	-0,4596	-0,5160	-3,0641
BMD l. př.	457	0,4788	0,4715	0,4861	0,4721	0,2942
T-skór l. př.	457	-0,8658	-0,9719	-0,7596	-0,9364	-4,1805
Z-skór l. př.	457	-0,5238	-0,5919	-0,4558	-0,5651	-2,8541
BMD p. pat.	457	0,6391	0,6265	0,6517	0,6211	0,3327
T-skór p. pat.	457	1,1784	1,0240	1,3328	1,0727	-3,2490
Z-skór p. pat.	457	0,9150	0,7995	1,0306	0,8369	-2,3683
BMD l. pat.	457	0,6348	0,6219	0,6477	0,6181	0,3119
T-skór l. pat.	457	1,1172	0,9568	1,2776	0,9434	-3,1217
Z-skór l. pat.	457	0,8667	0,7478	0,9856	0,7527	-2,2563
BMI	457	22,6074	22,3752	22,8396	22,4082	16,3847

**Tabulka 11**

*Popisné charakteristiky zkoumaného souboru studentů a studentek FTK UP ve věku 19–30 let*

<b>Proměnná</b>	<b>Maximum</b>	<b>Dolní kvartil</b>	<b>Horní kvartil</b>	<b>Sm.odch.</b>	<b>Var.koef.</b>
Věk	32,0000	24,0000	28,0000	2,49561	9,599
Výška	201,0000	166,0000	181,0000	9,17918	5,286
Hmotnost	120,0000	60,0000	77,0000	11,73603	17,121
BMD p. př.	0,7832	0,4256	0,5188	0,07749	16,189
T-skór p. př.	4,9025	-1,6065	-0,2048	1,12407	-129,255
Z-skór p. př.	3,0367	-0,9832	-0,1060	0,71992	-136,918
BMD l. př.	0,8405	0,4263	0,5288	0,07949	16,602
T-skór l. př.	5,8584	-1,6693	-0,1851	1,15460	-133,363
Z-skór l. př.	3,8097	-1,0233	-0,0954	0,74030	-141,321
BMD p. pat.	1,2141	0,5455	0,7307	0,13755	21,522
T-skór p. pat.	8,4725	0,0008	2,2319	1,67973	142,542
Z-skór p. pat.	6,1428	0,0224	1,7085	1,25714	137,388
BMD l. pat.	1,5969	0,5384	0,7259	0,14012	22,073
T-skór l. pat.	13,9421	-0,0415	2,1072	1,74435	156,136
Z-skór l. pat.	10,0183	-0,0071	1,6305	1,29354	149,249
BMI	31,7083	20,7967	24,3025	2,52545	11,171

**Tabulka 12**

*Popisné charakteristiky zkoumaného souboru studentů a studentek FTK UP ve věku 30,1–39 let*

<b>Proměnná</b>	<b>N platných</b>	<b>Průměr</b>	<b>Int. spolehl. -95,000%</b>	<b>Int. spolehl. 95,000%</b>	<b>Medián</b>	<b>Minimum</b>
Věk	73	31,7671	31,3492	32,1851	31,0000	25,0000
Výška	73	174,2562	172,4089	176,1034	174,0000	160,0000
Hmotnost	73	72,0438	68,8134	75,2743	74,0000	46,0000
BMD p. př.	73	0,4984	0,4813	0,5156	0,5049	0,3491
T-skór p. př.	73	-0,6977	-0,9487	-0,4467	-0,6888	-3,7259
Z-skór p. př.	73	-0,4414	-0,6015	-0,2813	-0,4437	-2,5062
BMD l. př.	73	0,4872	0,4675	0,5068	0,4909	0,3248
T-skór l. př.	73	-0,8849	-1,1620	-0,6078	-0,9033	-3,3067
Z-skór l. př.	73	-0,5553	-0,7334	-0,3773	-0,5680	-2,1394
BMD p. pat.	73	0,6421	0,6154	0,6689	0,6464	0,4233
T-skór p. pat.	73	1,0606	0,7710	1,3503	1,2769	-1,1954
Z-skór p. pat.	73	0,7614	0,5531	0,9697	0,9134	-0,8726
BMD l. pat.	73	0,6474	0,6158	0,6789	0,6451	0,3829
T-skór l. pat.	73	1,1352	0,7679	1,5024	0,9250	-1,7724
Z-skór l. pat.	73	0,8201	0,5542	1,0860	0,6324	-1,2889
BMI	73	23,6054	22,7525	24,4583	23,4236	17,3134

**Tabulka 13**

*Popisné charakteristiky zkoumaného souboru studentů a studentek FTK UP ve věku 30,1–39 let*

<b>Proměnná</b>	<b>Maximum</b>	<b>Dolní kvartil</b>	<b>Horní kvartil</b>	<b>Sm.odch.</b>	<b>Var.koef.</b>
Věk	39,0000	31,0000	32,0000	1,79134	5,639
Výška	192,0000	168,0000	180,0000	7,91744	4,544
Hmotnost	116,0000	60,0000	80,0000	13,84587	19,219
BMD p. př.	0,7423	0,4560	0,5437	0,07355	14,756
T-skór p. př.	2,6208	-1,3262	-0,0990	1,07592	-154,213
Z-skór p. př.	1,5799	-0,8350	-0,0908	0,68608	-155,436
BMD l. př.	0,7566	0,4306	0,5352	0,08420	17,282
T-skór l. př.	2,8594	-1,6276	0,0314	1,18764	-134,209
Z-skór l. př.	2,1832	-1,0246	0,0059	0,76308	-137,405
BMD p. pat.	0,8890	0,5619	0,7318	0,11473	17,866
T-skór p. pat.	4,0765	0,1905	1,9053	1,24144	117,046
Z-skór p. pat.	2,8915	0,1233	1,3738	0,89288	117,270
BMD l. pat.	0,9551	0,5567	0,7379	0,13524	20,892
T-skór l. pat.	4,7727	0,0767	2,3202	1,57413	138,669
Z-skór l. pat.	3,4691	0,0416	1,7136	1,13964	138,971
BMI	37,4483	20,5693	25,2493	3,65537	15,485

**Tabulka 14***Popisné charakteristiky zkoumaného souboru žen*

Proměnná	N platných	Průměr	Int. spolehl.  -95,000%	Int. spolehl.  95,000%	Medián	Minimum
Věk	290	26,7621	26,4205	27,1037	26,0000	22,0000
Výška	290	167,9838	167,3010	168,6666	167,7000	153,0000
Hmotnost	290	61,5507	60,5869	62,5145	60,0000	43,0000
BMD p. př.	290	0,4458	0,4387	0,4529	0,4463	0,3054
T-skór p. př.	290	-0,7198	-0,8380	-0,6016	-0,7122	-3,0592
Z-skór p. př.	290	-0,4318	-0,5064	-0,3571	-0,4216	-1,8961
BMD l. př.	290	0,4431	0,4354	0,4509	0,4374	0,2942
T-skór l. př.	290	-0,7633	-0,8930	-0,6337	-0,8594	-3,2472
Z-skór l. př.	290	-0,4596	-0,5424	-0,3769	-0,5250	-2,1041
BMD p. pat.	290	0,5727	0,5605	0,5848	0,5681	0,3327
T-skór p. pat.	290	0,9388	0,7654	1,1122	0,8729	-2,4895
Z-skór p. pat.	290	0,7339	0,6038	0,8640	0,6639	-1,7996
BMD l. pat.	290	0,5713	0,5595	0,5832	0,5688	0,3119
T-skór l. pat.	290	0,9197	0,7508	1,0887	0,8824	-2,7864
Z-skór l. pat.	290	0,7177	0,5915	0,8438	0,6324	-2,0261
BMI	290	21,7957	21,4964	22,0950	21,5324	16,3847

**Tabulka 15***Popisné charakteristiky zkoumaného souboru žen*

<b>Proměnná</b>	<b>Maximum</b>	<b>Dolní kvartil</b>	<b>Horní kvartil</b>	<b>Sm.odch.</b>	<b>Var.koef.</b>
Věk	34,0000	24,0000	30,0000	2,955602	11,044
Výška	186,0000	164,0000	173,0000	5,907855	3,517
Hmotnost	116,0000	56,0000	66,0000	8,339248	13,549
BMD p. př.	0,7832	0,4056	0,4802	0,061319	13,755
T-skór p. př.	4,9025	-1,3898	-0,1474	1,022332	-142,029
Z-skór p. př.	3,0367	-0,8655	-0,0830	0,645553	-149,517
BMD l. př.	0,8405	0,3961	0,4807	0,067251	15,176
T-skór l. př.	5,8584	-1,5483	-0,1379	1,121951	-146,979
Z-skór l. př.	3,8097	-0,9577	-0,0513	0,716124	-155,804
BMD p. pat.	0,8751	0,5019	0,6330	0,104994	18,334
T-skór p. pat.	5,2590	-0,0731	1,7999	1,500104	159,791
Z-skór p. pat.	4,5273	-0,0118	1,3851	1,126049	153,433
BMD l. pat.	0,9275	0,5007	0,6427	0,102294	17,905
T-skór l. pat.	6,0074	-0,0895	1,9384	1,461688	158,925
Z-skór l. pat.	4,5122	-0,0333	1,4105	1,091609	152,108
BMI	37,4483	20,0155	23,0518	2,589579	11,881

**Tabulka 16***Popisné charakteristiky zkoumaného souboru mužů*

Proměnná	N platných	Průměr	Int. spolehl. -95,000%	Int. spolehl. 95,000%	Medián	Minimum
Věk	240	26,8333	26,4108	27,2559	26,0000	19,0000
Výška	240	180,6967	179,8090	181,5843	180,5500	160,0000
Hmotnost	240	78,0629	76,8575	79,2683	78,0000	51,0000
BMD p. př.	240	0,5243	0,5151	0,5335	0,5219	0,3166
T-skór p. př.	240	-0,9984	-1,1521	-0,8447	-1,0130	-4,4739
Z-skór p. př.	240	-0,6138	-0,7131	-0,5144	-0,6470	-3,0641
BMD l. př.	240	0,5245	0,5154	0,5336	0,5243	0,3342
T-skór l. př.	240	-0,9953	-1,1467	-0,8440	-0,9893	-4,1805
Z-skór l. př.	240	-0,6110	-0,7086	-0,5135	-0,6263	-2,8541
BMD p. pat.	240	0,7203	0,7049	0,7357	0,7239	0,3936
T-skór p. pat.	240	1,4321	1,2120	1,6522	1,4891	-3,2490
Z-skór p. pat.	240	1,0872	0,9233	1,2510	1,0787	-2,3683
BMD l. pat.	240	0,7153	0,6978	0,7329	0,7032	0,4025
T-skór l. pat.	240	1,3613	1,1114	1,6111	1,2471	-3,1217
Z-skór l. pat.	240	1,0326	0,8488	1,2164	0,9725	-2,2563
BMI	240	23,8917	23,5820	24,2015	23,8284	17,4440

**Tabulka 17***Popisné charakteristiky zkoumaného souboru mužů*

<b>Proměnná</b>	<b>Maximum</b>	<b>Dolní kvartil</b>	<b>Horní kvartil</b>	<b>Sm.odch.</b>	<b>Var.koef.</b>
Věk	39,0000	24,0000	29,0000	3,323136	12,384
Výška	201,0000	176,0000	186,0000	6,980738	3,863
Hmotnost	120,0000	72,0000	83,5000	9,479531	12,143
BMD p. př.	0,7474	0,4775	0,5618	0,072503	13,829
T-skór p. př.	2,7074	-1,7797	-0,3722	1,208638	-121,055
Z-skór p. př.	1,8389	-1,1225	-0,2211	0,781286	-127,295
BMD l. př.	0,7566	0,4762	0,5639	0,071453	13,623
T-skór l. př.	2,8594	-1,7908	-0,3489	1,190297	-119,588
Z-skór l. př.	2,1832	-1,1279	-0,1875	0,767211	-125,562
BMD p. pat.	1,2141	0,6276	0,7918	0,121487	16,866
T-skór p. pat.	8,4725	0,1276	2,4403	1,731009	120,870
Z-skór p. pat.	6,1428	0,1709	1,8622	1,288365	118,508
BMD l. pat.	1,5969	0,6233	0,7917	0,137709	19,251
T-skór l. pat.	13,9421	0,0938	2,4382	1,965043	144,353
Z-skór l. pat.	10,0183	0,0443	1,8080	1,445295	139,966
BMI	33,2516	22,2940	25,3554	2,435908	10,196



**Tabulka 18***Četnosti dle BMI*

<b>Pohlaví</b>	<b>Věk (let)</b>	<b>&lt; 18,50 (kg/m<sup>2</sup>)</b>	<b>18,50 – 24,99 (kg/m<sup>2</sup>)</b>	<b>&gt; 25,00 (kg/m<sup>2</sup>)</b>	<b>30,00 – 34,99 (kg/m<sup>2</sup>)</b>
ženy	19 – 30	6	208	39	4
	30,1 – 39	1	25	6	0
muži	19 – 30	11	150	35	4
	30,1 – 39	3	27	9	2