

Univerzita Karlova v Praze

2. lékařská fakulta

ZMĚNY KOSTNÍ DENZITY A ARCHITEKTONIKY U SPORTOVNÍCH GYMNASTEK

Bakalářská práce

Autor: Anežka Pospíšilová, obor fyzioterapie

Vedoucí práce: Doc. MUDr. Jiří Radvanský, CSc.

Praha 2013

Bibliografická identifikace

Jméno a příjmení autora: Anežka Pospíšilová

Název bakalářské práce: Změny kostní denzity a architektoniky u sportovních gymnastek

Pracoviště: Klinika rehabilitace a tělovýchovného lékařství

Vedoucí diplomové práce: Doc. MUDr. Jiří Radvanský, CSc.

Rok obhajoby diplomové práce: 2013

Abstrakt: Ve sportovní gymnastice se uplatňují nárazy na skelet, mechanické zatěžování indukuje změny v kostní tkáni vedoucí k pevnější struktuře. Sportovkyně si během své kariéry vytvoří větší hustotu a pevnější architektoniku kosti než jejich nesportující vrstevnice a pozitivní adaptace si uchovávají až 24 let po ukončení tréninků. Bakalářská práce je vedena formou rešerše a poskytuje dosavadní poznatky o působení sportovní gymnastiky na kostní tkáň během dětství, adolescence a o přetrvávání změn do dospělosti. Pro nahlédnutí do vrcholové gymnastiky je práce doplněna dotazníkem pro bývalé elitní sportovní gymnastky nynějšího věku 43–50 let, kterého se zúčastnilo 13 respondentek. Dále je zde uveden orientační průzkum formou dotazníku mezi 37 mladými sportovními gymnastkami ohledně poruch příjmu potravy.

Klíčová slova: kostní hustota, kostní geometrie, sportovní gymnastika, dotazník, poruchy příjmu potravy

Souhlasím s půjčováním diplomové práce v rámci knihovních služeb.

Bibliografická identifikace v angličtině

Author's first name and surname: Anežka Pospíšilová

Title of the master thesis: The alterations in bone mass density and architectonics of female sport gymnasts

Department: Department of rehabilitation and sports medicine

Supervisor: Doc. MUDr. Jiří Radvanský, CSc.

The year of presentation: 2013

Abstract: The artistic gymnastics includes physical impacts as a physical force that has a substantial effect on the skeletal system. The mechanical loading induces changes in the bone tissue that lead to its firmer structure. During the sport career, the bone tissue in sportswomen achieves higher bone density and firmer architectonics than in their not exercising peers. The positive adaptation is maintained up to 24 years after their training has ended. The research part provides recent knowledge about the effect the artistic gymnastics has on the bone tissue during childhood and adolescence and how the changes persist till adulthood. For deeper insight in the top level gymnastics the work is supplemented with a questionnaire for 13 former elite female artistic gymnasts (aged 43 - 50 years). The work includes also an orientational questionnaire about eating disorders given to 37 young female sport gymnasts.

Keywords: bone mineral density, bone geometry, artistic gymnastics, survey, eating disorders

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

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracovala a samostatně pod vedením Doc. MUDr. Jiřího Radvanského, CSc., uvedla všechny použité literární a odborné zdroje a dodržoval(a) zásady vědecké etiky.

V Praze dne 19.4. 2013

.....

Poděkování autora

Děkuji vedoucímu práce Doc. MUDr. Jiřímu Radvanskému, CSc. za aktivní vedení práce, cenné rady a motivaci nejen při psaní, ale i do dalšího studia.

PŘEHLED ZKRATEK

aBMD	plošná kostní hustota (areal bone mineral density)
BMD	kostní hustota (bone mineral density)
BMC	obsah kostního minerálu (bone mineral content)
DXA	dvouenergievá rentgenová absorpciometrie (dual energy X-ray absorptiometry)
exGYM	bývalé sportovní gymnastky
FRI	index pro riziko zlomeniny (fracture risk index)
GYM	sportovní gymnastky
HHcy	hyperhomocysteinémie
IBS	index pevnosti kosti (index of bone strength)
KON	kontrolní skupina
L3	třetí bederní obratel
PPP	poruchy příjmu potravy
pQCT	periferní kvantitativní počítačová tomografie (peripheral quantitative computed tomography)
PTH	parathormon
SD	směrodatná odchylka
vBMD	objemová kostní hustota (volume bone mineral density)

OBSAH

PŘEHLED ZKRATEK	6
1 ÚVOD	9
2 PŘEHLED POZNATKŮ	10
2.1 Stavba kosti	10
2.1.1 Kompaktní kost	11
2.1.2 Spongiózní kost	11
2.2 Remodelace a fyziologie kosti	13
2.3 Patofyziologie kostí	15
2.3.1 Hormonální dysregulace	15
2.3.3 Dietní rovnováha vápníku, fosforu a hořčíku	16
2.3.4 Homocystein a kostní zdraví	17
2.3.5 Role folátu	18
2.3.6 Triáda sportovkyň	19
2.3.6.1 Stresové zlomeniny	20
2.3.6.2 Možnosti intervence u triády sportovkyň	20
2.5 Charakteristika měření jednotlivých kostí	24
2.5.1 Kostí předloktí	24
2.5.2 Bederní páteř	24
2.5.3 Proximální část stehenní kosti	25
2.5.4 Holenní kost	25
2.6 Charakteristika zátěže u sportovní gymnastiky	26
3 CÍLE A HYPOTÉZY	27
4 METODIKA	28
4.1 Rešerše a citace	28
4.2 Dotazníková šetření	28
5 VLIV SPORTOVNÍ GYMNASTIKY NA KOSTI	29
5.1 Zatěžování skeletu během růstu	29
5.1.1 Adaptace předloketních kostí	30
5.1.2 Adaptace na holenní kosti	31
5.1.3 Adaptace na stehenní kosti	32

5.1.4 Adaptace v bederní páteři.....	33
5.2 Období několik let po ukončení sportovní gymnastiky	34
5.3 Vliv amenorrhoe na změny v kostní tkáni v dospělosti	38
6 DOTAZNÍKOVÁ ŠETŘENÍ	40
6.1 Dotazník pro bývalé sportovní gymnastky.....	40
6.2 Dotazník ohledně poruch příjmu potravy.....	41
7 DISKUZE.....	42
8 ZÁVĚR.....	49
9 REFERENČNÍ SEZNAM.....	50
10 PŘÍLOHY.....	55

1 ÚVOD

Sportovní gymnastky jsou známé pro své pevné kosti. Naskytá se otázka, jestli si tento benefit uchovávají i do pozdějšího věku. Tento předpoklad vedl k vypracování bakalářské práce.

Sportovní gymnastika představuje sport, při kterém je specificky zatěžován kosterní aparát. Během provádění gymnastických prvků dochází k nárazům na kosti horních končetin, tak dolních končetin a síla se přenáší i na axiální skelet. Kost je živá tkáň a mechanické impulzy v ní indukují změny jak v kostním materiálu, tak v její architektonice. Literární zdroje poukazují na fakt, že ze zvýšené kostní pevnosti vytvořené v mládí, lze profitovat do pokročilého věku. Až 90 % kostní hmoty je vytvořeno během dětství a adolescence. Vývoj kostí je sice určen převážně hereditárně, ale můžeme jej ovlivnit environmentálními složkami. (1) Cvičení má anabolický efekt na kostní hmotu a převládá většinový názor, že sportovní gymnastika je na předním místě mezi sporty zkvalitňujícími kostní tkáň.

Vytvoření co nejvyšší špičkové kostní denzity neboli hustoty má svůj význam v předcházení osteoporózy a jejích negativních komplikací. Osteoporóza je charakterizovaná sníženou kostní hustotou a negativními změnami v architektonice kosti, vedoucí ke zvýšené křehkosti a následně k frakturám. Prevalence se s rostoucí populací neustále zvyšuje a až třikrát častěji jí trpí ženy. (2, 3) V dnešní době je nejčastějším důvodem invalidity, snížené soběstačnosti a kvality života. Problém není pouze zdravotnického rázu, ale také ekonomického. Zlomenina krčku femuru je nejvíc devastující zlomenina vůbec. Po jednom roce od traumatu je mortalita 20–25 %, pouze 50 % pacientů může následně opět chodit a 30 % žen si do pěti let přivodí zlomeninu další. (2)

Riziko zlomenin, převážně v postmenopauzálním věku, snížíme optimalizací kostních parametrů určujících kostní pevnost. Zatěžováním kostí v období dětství a adolescence vytvoříme kvalitnější kostní tkáň s pevnější strukturou. Sportovní gymnastky si tyto benefity udržují dlouho po ukončení sportovní kariéry a mají tedy výhodu oproti svým vrstevnicím.

2 PŘEHLED POZNATKŮ

2.1 Stavba kosti

Kostní tkáň je tvořena z 10 % buňkami, z 60 % minerály a zbytek představuje organická složka, která je z převážné většiny složena z kolagenu I. typu, pak z dalších bílkovin a asi z 1–2 % lipidy a mukopolysacharidy. (4)

Podle orientace kolagenních vláken můžeme rozdělit kostní tkáň na vláknitou a lamelární. Vývojově mladší je kost vláknitá, neboli fibrilární. Vláknata jsou uspořádána převážně plexiformně, jen na vybraných místech, například v mandibule, či na místech úponů vazů a šlach jsou vlákna paralelně. Z hlediska biomechanických vlastností je kost srovnatelná, ne-li lepší než Haverská kost. Má rozsáhlejší infrastrukturu cévního zásobení a probíhá zde látková výměna na vysoké úrovni. V dospělosti přetrvává fibrilární kost na některých kostních hrbolcích či drsnatinách. (5, 6)

Kost lamelární vzniká postupně z kosti vláknité a je dokončena až v období puberty. Nejprve se tvoří tzv. primární lamelární kost, sestávající z prehaverských osteonů. Mezi sítě neuspořádaných vláken vznikají osteony o 2–3 lamelách, které obklopují prostorný kanál. Sekundární, Haversovy osteony, se začínají tvořit okolo sedmého roku. Skládají se z více než tří koncentricky uspořádaných lamel. Centrální kanálek je užší a má již kulatý tvar. Toto uspořádání nahrazuje primární lamelární vzhled a sestává z něj výsledný model kosti. (7)

Lamelární kost můžeme rozdělit na kompaktní, neboli hutnou (*substantia compacta*) a na spongiózní, čili trámčitou (*substantia spongiosa*) (Obrázek 1). Asi 80 % skeletu je tvořeno kompaktní, která odpovídá za pevnost a zbytek tvoří spongióza, která představuje rozsáhlou plochu pro látkovou výměnu a remodelaci. Podíl jednotlivých složek se v různých kostech těla liší. V axiálním skeletu převažuje na rozdíl od kostí končetin spongióza. Diafýza dlouhých kostí je tvořena silným pláštěm kompakty a ve vnitřku těla se nachází dřeňová dutina. Epifýzy jsou kryty jen tenkou vrstvičkou hutné tkáně a vnitřek vystylá spongióza svým typickým uspořádáním. Krátké kosti jsou kryty tenkou vrstvou kompakty nazývanou kortikalis (*substantia corticalis*) a vnitřek tvoří trámčina, která je pod povrchem hustší. Ploché kosti jsou na zevní a vnitřní vrstvě tvořeny kompaktní, kterou tvoří vnitřní a vnější destičkovité lamely. Mezi vrstvami je silná trámčina, která se označuje diploe. Mezi trámci jsou relativně velké prostory vyplněné kostní dřeví, kde probíhá i v dospělosti krvetvorba. (8)

2.1.1 Kompaktní kost

Základní stavební jednotkou kompaktní kosti je osteon. Jednotlivé osteony jsou v kosti uloženy převážně rovnoběžně. Jsou složeny ze 6–15 trubicovitých lamel, které obklopují centrální Haversův kanálek. Skrz kanálek probíhá jedna až dvě krevní kapiláry, které doprovází vegetativní nervy. Cévy jsou mezi sebou propojené Volkmannovými kanálky. (5)

Lamely jsou složeny ze svazků kolagenních vláken, uložených v amorfní mezibuněčné hmotě. Směr kolagenních vláken je v rámci jedné lamely rovnoběžný, ale mezi jednotlivými lamelami se mění. Jednotka osteonu je tedy tvořena z různě se křížících vláken. Tyto faktory jsou předpokladem pro pevnost v tlaku, tahu i ohybu. Mezi lamelami je jen málo kolagenních vláken a pouze zřídka některé pronikají z jedné vrstvy do druhé. Předpokládá se, že absence vláken mezi nimi je důvodem nízké odolnosti ve zkrutu. V lamelách jsou malé oválné komůrky – lakuny, ve kterých sídlí rozvětvené osteocyty či osteoblasty. Z lakun vystupují kanálky (canaliculi ossium), kterými kostní buňky vysílají své výběžky ke komunikaci. (5, 9)

Dlouhé kosti mají nejmasivnější zastoupení kompakty ve středu diafýzy, zde je také největší odolnost vůči torzi. Kost je nejodolnější, působí-li statický tlak v její ose. Například tibie vydrží tlak až 1350 kg, femur 760 kg a humerus 600 kg. Vůbec nejpevnější je kost při působení statické síly v tahu, uvádí se, že vydrží zátěž až o 60 % větší než při tlaku. Čím je směr působení více vychýlen mimo osu dlouhé kosti, tím méně pevná je. Na kolmé působení síly, například při ohybu, není diafýza odolná. Na rozdíl od spongiózy jí chybí prostorově uspořádaná vlákna. Nejmenší odolnost je ve zkrutu, kdy například fibula praská již při působení zátěže o 6 kg. Nejspíš je to dáno již zmíněnou neprovázaností kolagenních vláken mezi lamelami. Tyto číselné údaje jsou však získané v čistě umělé prostředí, nemohou tedy plně vypovídat o biomechanických vlastnostech kostí *in vivo*. (9)

2.1.2 Spongiózní kost

Základní stavební jednotkou spongiózy jsou kostní trámce neboli trabekuly. V dlouhých kostech jsou umístěny podél dřevných dutin a v epifýze tvoří radiální uspořádání (od centra k periférii). Původně neuspořádaná struktura se začíná postupně prostorově orientovat a v osmi letech je již uspořádání trámčiny jako u dospělého jedince. (10)

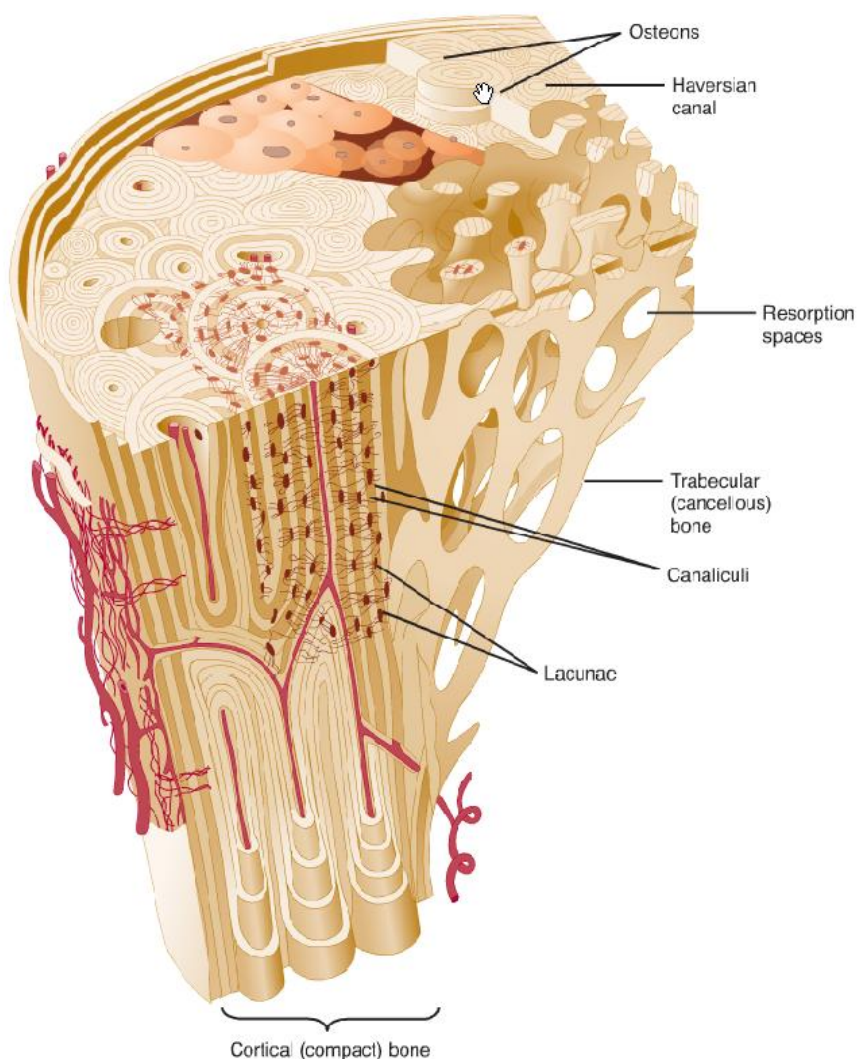
Prostorovému uspořádání trámců a lamel se říká kostní mikroarchitektonika. U každé kosti je jiná a v průběhu života se v závislosti na zatěžování kosti mění. Její orientace je dána působením

mechanických sil na kost, kdy trámce křížují spongiózu v jejich trajektoriích. Se zmenšující se vzdáleností mezi trabakulami roste stabilita kosti. (11)

Stavba trámců je prakticky stejná jako u trubcovitých lamel. Některé silnější trabekuly dokonce tvoří Haversovy osteony s centrálním kanálkem. Stejně jako v kompaktní kosti se zde nacházejí v lakunách osteoblasty a osteocyty, které komunikují skrz kanalikuly. Při zatížení kosti se tlak kolující tekutiny v lakunách a kanálcích změní, což může stimulovat kostní buňky k přestavbě a remodelaci. (12)

V prostoru mezi trámci jsou obsažené tukové buňky, kostní dřev, dále síť cév a nervů a mezibuněčná tekutina. Tento soubor vytváří tzv. elastický hydraulický systém, který slouží k ochraně trabekul. Při zvýšení hydrostatického tlaku ve spongióze tento systém z části absorbuje zatížení a zároveň stimuluje kostní buňky k jejich aktivitě. (10)

Obrázek 1. Struktura kompaktní a trabekulární kosti (13)



2.2 Remodelace a fyziologie kosti

Kost je tvořena dynamickou tkání, která se během ontogeneze neustále přestavuje. Remodelace je fyziologický proces, při kterém dochází k odbourávání staré či insuficientní tkáně pomocí osteoklastů a k novotvorbě realizované osteoblasty. Kostní resorpce a formace jsou v těsném vztahu, vzájemně vyvážené, aby po každém cyklu nepřevažovala nadměrná kostní ztráta či naopak nadbytek a nedocházelo k výrazným změnám ve kvalitě kosti. Pouze během kostního zrání převažuje fyziologicky novotvorba nad odbouráváním. Remodelace je potřebná k homeostáze některých minerálů, udržení pevnosti a je nezbytná ke stálé údržbě zdravého skeletu. Na přestavbě se podílí systém buněk zvaný mnohobuněčná jednotka (basic multicellular unit). Ve vzájemné spolupráci kooperují 4 hlavní skupiny buněk: bone-lining cells, osteocyty, osteoklasty a osteoblasty. V klidovém stavu je povrch kosti pokryt jednou vrstvou bone-lining cells, které pocházejí z vývojové řady osteoblastů. (4) (14)

Osteoblasty, buňky tvořící kost, jsou v raném stádiu umístěny na povrchu tvořících se trámců a lamel. Později jsou začleňovány více do hloubky novotvořené kosti, do oválných komůrek – lakun, kde probíhá mineralizace a diferenciaci na osteocyty. Produkují vláknitou a amorfní mezibuněčnou hmotu. Kromě kolagenu I. typu produkují snad i V. typu. Dále syntetizují proteoglykany a glykoproteiny, hlavně osteokalcin, který ovlivňuje mineralizaci kostí a osteonektin, který má vliv na adhezi osteoblastů a vápenatých iontů ke kolagenu. Všechny vytvořené kostní bílkoviny se souhrnně označují ossein či osteoid. (15) Jedna buňka vyprodukuje během dne asi $2 \mu\text{m}^3$ bílkovin. Když kolem sebe vytvoří vrstvu 20 μm širokou, přestává proteosyntéza a nastává proces mineralizace. Osteoblasty působí ve větších skupinách o 100–400 buňkách, v tzv. osteogenetických jednotkách. Podílí se na produkci, maturaci a mineralizaci kostní matrix. (16) Regulují také funkci osteoklastů, produkují osteoprotegrin, který tlumí jejich resorpční aktivitu. (16) (17)

Osteocyty tvoří nejpočetnější skupinu kostních buněk. Sídlí v lakunách, kde jsou obklopené mineralizovanou matrix. I přesto, že vzhledem k osteoblastům mají redukované některé buněčné orgány, jsou schopny produkovat bílkoviny, které napomáhají k neustálé reparaci mikrofraktur. Z jejich těla vycházejí typické dlouhé výběžky, kterými skrz canaliculi ossium komunikují s ostatními buňkami, či přímo s extracelulární tekutinou v kanálcích. Jejich hlavní funkce je tedy komunikační. Jsou schopny rozpoznat změnu toku tekutiny v kanálcích či hladinu jednotlivých hormonů. Informace o mechanickém zatížení předávají prekursorům osteoblastů, které se na jejich stimul začnou diferencovat a tvořit ossein. Jejich další funkce je mechanosenzorická, kdy při poškození kosti dokážou zaktivovat osu osteoblast + osteoklast, kteří následně remodelují kost

pro adaptaci na změny zatížení. Podílí se také na mineralizaci tím, že regulují čerpání vápenatých iontů. (18, 19)

Osteoklasty jsou velké, rozvětvené, polymorfni buňky. Ve své cytoplazmě nesou až 50 jader, mají velmi rozvinuté golgiho komplexy, velký počet lysozomů a mnoho mitochondrií. Vyskytují se na povrchu kosti v malých prohlubních, Howshipových lakunách, které zároveň sami vytvářejí. Jsou to buňky poměrně pohyblivé. Během kostního růstu se vyskytují ve velkém množství, ale v dospělosti se jejich počet redukuje na 1 % všech kostních buněk. Zřasenou membránou odbourávají kostní minerál a osteoid. Resorpce je prováděna v kyselém prostředí za přítomnosti ATPázové pumpy a mnoha enzymů, včetně kyselých fosfatázy, kterou samy produkují. Produkty degradace jsou následně fagocytovány a metabolizovány v cytoplazmě osteoklastů. Během dne likvidují přibližně stále stejné množství kostní tkáně, přičemž jeden osteoklast dokáže resorbovat tkáň vytvořenou až 150 osteoblasty. Na svém povrchu mají receptory pro estrogen, který po navázání inhibuje jejich aktivaci, podobné účinky mají i androgeny či kalcitonin. (18-20)

Zatím není do detailů jasné, jak spolu osteoklasty a osteoblasty při procesu resorpce a remodelace komunikují a společně se ve funkci synchronizují. Je však jisté, že osteoblasty mají schopnost zaktivovat prekursor osteoklastů produkcí membránových receptorů – ligandů. (15)

Remodelace probíhá stále ve stejných cyklech. Osteoklasty odbourají určitou část kostní hmoty. Zaktivují se osteoblasty, vytvoří dostatečnou vrstvu osseinu a začne jeho mineralizace. Následně se diferencují do formy osteocytů, v jejichž podobě mohou přetrvat až několik let.

Jeden cyklus remodelace můžeme tedy rozdělit do šesti fází:

- 1) *fáze klidu*: povrch kosti je pokryt jednou vrstvou bone-lining cells
- 2) *fáze resorpce*: osteoklasty resorbují kost a následně podlehnou apoptóze (14–21 dnů)
- 3) *fáze zvratu*: prekursor osteoblastů se shromažďují na místech resorpce (5–15 dnů)
- 4) *fáze rané novotvorby*: aktivované osteoblasty tvoří kolem sebe osteoid
- 5) *fáze pozdní tvorby*: proces mineralizace osseinu (až 130 dní)
- 6) *fáze klidu*: osteoblasty se diferencují v osteocyty (až několik let) (21)

Míra přestavby v trabekulární a kortikální kosti se liší. Ve více metabolicky aktivní spongióze se v dospělé kosti ročně obmění až čtvrtina kostního objemu, zatímco v hustší kompaktní se remodeluje jen kolem 4 %. (14)

2.3 Patofyziologie kostí

Na regulaci kostního objemu se podílí několik skupin činitelů. Kromě mechanické zátěže zastávají důležitou roli hormony, mezi které patří například estrogeny, parathormon, kortizol, leptin, inzulin a hormony štítné žlázy. Význam mají dále cytokiny, minerály, vitamíny, ale i výbava genomu. (19)

Patologie může nastat při nevyvážené kostní resorpci a formaci. Fyziologicky dochází k dysbalanci během růstu, kdy převažuje tvorba nové hmoty a po menopauze, kdy zase naopak převládá odbourávání. Během růstového spurtu je zvýšená resorpce plně kompenzována novotvorbou. Metabolismus a stavbu kostní tkáně mohou ovlivňovat různé faktory. (22)

2.3.1 Hormonální dysregulace

Jednu z nejdůležitějších rolí v regulaci kostní tkáně hraje estrogen. Jeho sekrece se v různých stadiích života mění. Také citlivost jednotlivých orgánů se liší, výzkum na myších prokázal větší citlivost dělohy ve třech měsících, zatímco ke kostem v šesti měsících. U dětí stimuluje růst a zrání kostí a podílí se na uzavírání růstových štěrbin. U postmenopauzálních žen provokuje depleci estrogenu kostní remodelaci. Zvýšená resorpce převládá nad zvýšenou novotvorbou a kostní hmota přirozeně ubývá. (22) Proces může zvrátit substituční terapie, u které však mohou nastat negativní vedlejší účinky. Při dlouhodobém podávání nastává riziko karcinomu mammy a endometria (tomu se lze zčásti vyvarovat současným podáváním gestagenu). (23) K dosažení adekvátní hladiny estrogenu pro prevenci rizika zlomenin stačí pouze čtvrtinová dávka, která je potřebná k zachování funkce dělohy a prsu. (22) Nadbytek se může vyskytnout u podávání hormonální antikoncepce, u některých nádorů nebo encefalitid. Nedostatek vzniká u těžké psychické či fyzické zátěže, která může nastat například u náročného sportu. (23) Estrogen ovlivňuje osteoklasty prostřednictvím cytokinů. Snížením sekrece IL-1, IL-6 a TNF- α zabraňuje jejich zrání a stimulaci tvorby TGF- β navozuje jejich apoptózu. Osteoblasty ovládá přímo přes jejich receptory a inhibuje jejich programovanou buněčnou smrt. (24)

U obézních jedinců se snížení kostního objemu nevyskytuje tak často jako u kachektických. Je to dáno jednak vyšší hmotnostní zátěží na kosti, ale také díky prokázané resistenci proti hormonu leptinu. Leptin inhibuje kostní novotvorbu tak, že přes hypotalamus zaktivuje sympatické nervy, které zvýší produkci noradrenalinu v kostech a ten následně stimuluje β -2 adrenergní receptory na osteoblastech, čímž je inhibují. Obézní jedinci jsou tedy ochráněni před negativním účinkem leptinu na kost. (25)

Nadměrná kostní resorpce a lomivost může vznikat při hyperparathyreóze. Ta může být v primární formě u adenomu přístítných tělísek, kdy je přítomna současně i hyperkalcémie. Sekundární hyperparathyreóza vzniká reakcí na dlouhodobou hypokalcémii. Může vzniknout u neadekvátního přísunu vápníku, při snížení jeho vstřebávání, či při hypovitaminóze D. Hladina plazmatického vápníku je regulována kalcitriolem, kalcitoninem a parathormonem (PTH). Aktivní forma vitamínu D vzniká kaskádou dějů, kdy se nejdříve přemění jeho prekurzor UV zářením v kůži, dále se metabolizován v játrech a za účasti parathormonu se konvertuje na finální aktivní formu 1,25-dihydroxycholecalciferol v ledvinách. Kalcitriol zvyšuje vstřebávání Ca^{2+} a PO_4^{3-} ze střeva a napomáhá zpětnému vstřebávání vápníku v ledvinách, tím zvyšuje kalcémii. Vitamin D lze přijímat také v potravě. Proti PTH pracuje kalcitonin, který naopak snižuje kalcémii a stimuluje ukládání vápníku do kostí. (24, 26, 27)

Kalciumfosfátový metabolismus ovlivňují také glukokortikoidy. Společně s kalcitriolem snižují hladinu vápníku v krvi. Zabraňují zpětnému vstřebávání Ca^{2+} a PO_4^{3-} ze střeva a ledvin. Při dlouhodobém působení snižují novotvorbu a zvyšují resorpci z kostí a následně mohou vyústit v osteoporózu. Při léčbě glukokortikoidy je tedy třeba brát zřetel na její negativní vedlejší účinky. (26)

Na metabolismus vápníku a kostní objem působí ještě další hormony. Inzulin napomáhá novotvorbě kosti a při jeho nedostatku, například u neléčeného diabetu, může nastat značná ztráta kostní hmoty. Růstový hormon sice stimuluje vylučování vápníku močí z těla ven, ale také podporuje zpětnou resorpci ve střevě, která má větší efekt, takže ve výsledku nastává pozitivní vápníková bilance. (26) Hormony štítné žlázy přispívají k hyperkalcémii, hyperkalciurii a v některých případech až k osteoporóze. Jsou potřebné pro normální růst a zrání kostí. Proto při jejich nedostatku dochází k opožděnému kostnímu zrání a epifyzární šterbiny se uzavírají později. Při snížené koncentraci trijodtyroninu a tyroxinu dochází také k depleci růstového hormonu. Normálně však potencují jeho účinek na tkáň. (24)

2.3.3 Dietní rovnováha vápníku, fosforu a hořčíku

Mezi minerály důležité pro stavbu kostí patří vápník, fosfor a hořčík. Jejich koncentrace se vzájemně ovlivňují. Deficit jednoho prvku může způsobit nadbytek jiného a naopak. Aby se jejich množství udrželo ve fyziologické koncentraci, je potřeba přijímat je v určitých poměrech. Zdravotní požadavek příjmu vápníku s fosforem je v poměru 1:1, nebo aby P převažoval maximálně o 50 %. Realita je ale taková, že přijímáme až o 70 % více fosforu. Příjem hořčíku

a vápníku by měl být také vyrovnaný 1:1, nanejvýš 2:1 ve prospěch Ca, ale denně získáme v potravě přibližně 300 mg hořčíku a 720 mg vápníku.

Existují vzájemné vztahy mezi vstřebáváním a vylučováním těchto minerálů. Nadbytek fosforu zhoršuje vstřebávání vápníku a vede k odvápnění kostí. Zvýšený příjem P, Ca, bílkovin, nasycených mastných kyselin a vlákniny snižuje absorpci Mg; káva, alkohol a stres podporují jeho nadměrné vylučování. Vysoké množství vápníku v potravě snižuje vstřebávání Fe a Zn a zvýšené množství NaCl stimuluje vylučování Ca a Mg. Koncentrace různých prvků jsou závislé na hladině jiných, proto je třeba vyvážené stravy a v případě kostního metabolismu je nutná dietní rovnováha vápníku, fosforu a hořčíku. (28)

Vápník je uložen ve víc než 99 % v kostře a zbytek se nachází v ionizované formě v tělesných tekutinách. Resorpce se uskutečňuje v proximální části tenkého střeva. Ve skeletu dochází k dennímu obratu 700 mg Ca. Fosfor je z 85 % uložen v kostech, kde společně s vápníkem vytváří komplexní soli, které určují jejich pevnost. (28) Více než polovina hořčíku je zabudovaná v kostech a příčně pruhované svalovině. Při jeho nedostatku vzniká postupně rezistence periferních tkání na PTH a tlumí také jeho sekreci. Deplece může vzniknout při nedostatečném příjmu Mg v potravě, při časté konzumaci jídel z rychlého občerstvení či ethylinismu. Při nedostatečném příjmu v potravě se uvolňuje Mg z kostí, sérová koncentrace se nemění, ale přitom dochází k odbourávání kostní hmoty. (19)

Jak již bylo zmíněno, nadměrný příjem fosforu může zhoršit vstřebávání vápníku a podpořit jeho vylučování, což může vyústit až v osteoporózu. Nadbytek P je trend moderní doby, kdy ho v důsledku dnešního životního stylu přijímáme v nadměrném množství. Fosfor je hlavní složkou konzervantů a přídatných solí v trvanlivých pokrmech. Mezi potraviny s největším obsahem fosforu patří nápoje typu kola a ledový čaj, tavený sýr a jídlo z rychlých občerstvení. (29)

2.3.4 Homocystein a kostní zdraví

Homocystein je aminokyselina kolující v krvi. Hyperhomocysteinémie (HHcy) ovlivňuje několika způsoby kostní pevnost. Zvyšuje aktivitu osteoklastů, ale i osteoblastů, na ty však působí v menší míře, takže převládá odbourávání kostní hmoty. Zároveň snižuje průtok krve kostí, není tedy zabezpečena dodávka důležitých živin pro jejich údržbu a reparaci. Homocystein také narušuje propustnost mitochondriální membrány a skrz ně vede k aktivaci metalproteináz, které degradují extracelulární kostní matrix. I přes zvýšení křehkosti kostí a s tím spojeným nárůstem zlomenin nebyl dokázán významný vliv HHcy na kostní hustotu (BMD). Kostní pevnost je totiž narušena přímým účinkem homocysteinu na kolagen, kdy byla prokázána vysoká korelace mezi ním a mírou

zesítnění kolagenních vláken. Hladina homocysteinu v krvi souvisí i s koncentrací folátu, vitamínu B₆ a B₁₂. Při deficitu těchto látek bylo prokázáno jeho zvýšené množství v krvi. Tento fakt lze úspěšně využít v praxi k prevenci zlomenin. (30)

2.3.5 Role folátu

Folát, jinak známý jako vitamin B₉, je součástí naší stravy. (24) Jeho deficit vede k HHcy a tím ke snížení kostní pevnosti. Folát snižuje hladinu homocysteinu tím, že stimuluje jeho rozpad na methionin. Jeho suplementací lze příznivě ovlivnit rozvoj osteoporózy. (31)

Dvouletá japonská studie, provedená dvojitě naslepo, zkoumala, jaký efekt má folát a mecobalamin na fraktury proximálního femuru. V této studii se zaměřili na rozsáhlou skupinu téměř 600 pacientů nad 65 let, alespoň jeden rok po centrální mozkové příhodě s reziduální hemiparézou. Mozková mrtvice zvyšuje 2–4 krát riziko fraktury proximálního femuru a HHcy zvyšuje pravděpodobnost apoplexie mozku i osteoporotických zlomenin. Pacienti v léčené skupině byli suplementováni folátem a vitamínem B₁₂. Obě skupiny měly na začátku výzkumu zvýšené koncentrace homocysteinu v séru a naopak snížené hladiny folátu a mecobalaminu. Po dvou letech ukázaly výsledky u léčené skupiny pokles HHcy o 38 % a vzestup suplementovaných vitaminů v séru, zatímco u placebo skupiny se HHcy naopak zvýšila o 31 % a koncentrace vitaminů B₉ a B₁₂ klesly. Počet fraktur proximální stehenní kosti u suplementované skupiny byl 6 a u pacientů s placebem 27, tento signifikantní rozdíl byl i přes stejný počet pádů. Suplementace folátem a mecobalaminem neměla vliv na změnu BMD. Závěrem se ukázalo, že léčba folátem a vitamínem B₁₂ má význam u starších pacientů s vysokým rizikem zlomenin a tuto pravděpodobnost více jak čtyřikrát snižuje. (32) Jiná studie prokázala u žen starších 65 let také výrazné snížení HHcy a zvýšení příslušných vitaminů v séru již po čtyřech měsících terapie. (33)

Jak již bylo zmíněno, pozitivní změny v kostní pevnosti nebyly doprovázeny zvýšením BMD. Folát a vitamin B₁₂ musí tedy přispívat k větší odolnosti kosti jinou cestou než přes navýšení kostní hustoty, ovlivňují tedy jiné složky determinující kostní pevnost. Předpokládá se, že mají vliv na kolagen a ovlivňují míru zesítnění jeho vláken. Zesítnění má důležitý vliv na stabilitu a odolnost kolagenní sítě a tím i na pevnost kostí. (34)

Suplementace folátem má význam pouze u jedinců s jeho sníženou koncentrací v séru, jediné těm sníží HHcy. Ti, kteří mají koncentraci vitamínu B₉ v krvi v normě, ale homocysteinu mají nadbytek, nebudou na léčbu reagovat. (35)

2.3.6 Triáda sportovkyň

Fyzická aktivita má mnoho benefitů, kromě zdravotního hlediska jsou to například i zlepšení tělesného vzhledu a zvýšení sebevědomí. Za poslední dekády se intenzita trénování sportovců rapidně zvýšila. Nadměrná zátěž však může mít řadu negativních důsledků. V roce 1992 poukázala *American College of Sports Medicine* na spojitost mezi poruchami příjmu potravy (PPP), menstruační dysfunkcí, osteoporózou a stav pojmenovala jako female athlete trias. V roce 2007 upravila kritéria pro lepší diagnostiku na nedostatečný příjem energie, sníženou kostní hustotu a menstruační dysfunkci. (36)

Negativní energetická bilance se vyskytuje převážně u sportovkyň, u kterých je kladen důraz na štíhlou postavu. Prevalence je nejvyšší u estetických sportů (gymnastika, tancování), nižší u týmových/anaerobních (tenis, volejbal, plavání, sprinty) a nejnižší u vytrvalostních sportů. (36)

Primární amenorea je charakterizovaná absencí menarche do 15 let života. U estetických sportovkyň je prevalence 22 %, u běžné populace dívek méně než 1 %. Sekundární amenorea, neboli přerušení pravidelného cyklu alespoň na 90 dní, se vyskytuje až u 65 % vytrvalostních běžkyň, zatímco u jejich nesportujících vrstevnic jen ve 2–5%. Dívky často nepřikládají menstruační dysfunkci závažnost. Oligo- či amenorrhoeu vnímají spíše jako výhodný a žádoucí stav. (36)

Třetí atribut triády sportovkyň je snížená BMD. K posouzení kostní hustoty u dětí a premenopauzálních žen se používá Z-skóre. Pokud je nižší než -2,0 SD (směrodatné odchytky), jedná se o významný varovný signál pro triádu. Sportovkyně zatěžující mechanicky svůj skelet mají výrazně vyšší BMD než dívky stejného věku, proto je alarmující i Z-skóre vyšší než -2,0 SD. Vždy se musí na problém nahlížet komplexně v souvislosti s menstruačním statutem a stavem výživy. Pokud nastane amenorea, pokles hustoty není poznat ihned, ale s její prolongací postupně nastává proces demineralizace. Podobně je to v případě nastolení opětne eumenorey, kdy postupem času opět dochází k procesu mineralizace a tím ke zvýšení pevnosti kostí. (36)

Triáda sportovkyň zvyšuje riziko muskuloskeletálních poranění. Kromě stresových zlomenin se může jednat o zranění z přetížení, například poranění šlach rotátorové manžety či bolestivý patelofemorální syndrom. Mezi další komplikace patří dosažení neadekvátní špičkové kostní hustoty v důsledku ztráty kostní hmoty v období růstu, problémy s otěhotněním či úzkost z poruchy příjmu potravy. Je proto potřeba zvýšit povědomí o triádě sportovkyň mezi trenéry a rodiči dívek. Významnou roli hraje také fyzioterapeut, který se cíleně zaměří na identifikování triády. (36)

2.3.6.1 Stresové zlomeniny

Stresová zlomenina je charakterizována jako částečná či kompletní fraktura kosti, která je výsledkem repetitivní submaximální zátěže bez dostatečného času k regeneraci kosti. Osteoblasty nestačí generovat novou kost a reparovat mikropoškození, začne převažovat resorpce osteoklastů a kost oslabuje. Když se tento terén opakovaně zatěžuje, dojde k únavové zlomenině z opotřebení materiálu. Při takovém stavu je sportovec na dlouhou dobu vyřazen z tréninku, kdy se nesmí 4–8 týdnů angažovat v pohybové aktivitě zatěžující zlomenou kost, aby mohlo dojít k adekvátnímu hojení. Započítáme-li čas pro rehabilitaci, je typicky 19 týdnů bez regulérního tréninku. (37) V této době může vykonávat například odporová, balanční, koordináční cvičení nebo vylepšit vizuální projev. (38) Rizikem pro stresové zlomeniny není pouze snížená BMD, ale hrají zde roli také kostní geometrie společně s dalšími atributy kostní pevnosti. U jedinců se „štíhlými“ kostmi byla zjištěna větší incidence. (37) (38) Naopak s velikostí reakční síly podložky nebyla nalezena spojitost. (37)

2.3.6.2 Možnosti intervence u triády sportovkyň

Pro prevenci negativních dopadů triády je často dívkám s amenoreou předepisována hormonální antikoncepce. Ta sice dokáže trochu vylepšit BMD, ale také může nastolit pseudomenstruační cyklus, který dovede zamaskovat pokračování v přetěžování. Pozitivní vliv na female athlete trias má také nefarmakologická léčba, kdy zvýšení tělesné hmotnosti a snížení intenzity tréninků může vyústit v obnovení pravidelné menstruace. Běžkyně, které musely z důvodu zranění či nemoci snížit počet naběhaných kilometrů, přibýly tělesné hmotnosti a obnovila se jim menstruace. Příznivých výsledků se také dosáhlo u dívek s mentální anorexií. Změnou výživy a snížením energetického výdeje nabyly BMD. Zvýšení kostní hustoty v páteřních obratlích je spojeno s obnovením menstruace. Po zpravidelnění menstruačního cyklu a zvýšení tělesné hmotnosti se může BMD zvyšovat i v druhé dekádě života, ale špičková kostní hustota už nemusí odpovídat hodnotám jejich vrstevnic. (38)

Další možností intervence je změna typu tréninku na odporový. Bylo zjištěno, že intenzivní odporový trénink u premenopauzálních žen podporuje nárůst BMD v bederních obratlích. Tato cvičení se doporučují obzvláště u sportů, kdy se skelet hodně zatěžuje váhou celého těla při dopadech, jako je právě sportovní gymnastika, a slouží k prevenci stresových zlomenin. Doporučení od *Physical Therapy Association* pro zkvalitnění kostní tkáně je provádět 6 až 10 cviků ve třech

setech, po 8–12 opakování v 80 % repetitivního maxima, s přestávkami 1–2 minuty a s postupným navyšováním intenzity. Pro dosažení efektu se doporučuje cvičit třikrát týdně. (38)

2.4 Parametry kosti

Mezi atributy, které determinují kostní zdraví, patří její pevnost, ta je dána zčásti hustotou kostního minerálu. Dále hodnotíme obsah kostního minerálu (BMC) a různé parametry geometrie kosti.

Kostní pevnost je hlavní determinantou odolnosti proti zlomeninám. V dnešní době se pro hodnocení kostní křehkosti, respektive pevnosti, používá nejčastěji hodnota BMD, je to také jediný parametr pro diagnostiku osteoporózy. Přesto se až 80 % nízkotraumatických zlomenin vyskytuje u jedinců s normální kostní hustotou, nebo s její hodnotou sníženou na úroveň osteopenie. Pevnost kosti nezáleží pouze na BMD, ale více jak z 50 % ji určují také jiné, vzájemně související atributy, především ve smyslu kvality kosti. (39) Jedná se o množství kostní tkáně, její velikost, strukturu (prostorové uspořádání, tvar a mikroarchitektoniku) a o vnitřní vlastnosti kostního materiálu, jako jsou pórovitost, mineralizace matrix, vlastnosti kolagenu, ale také mikropoškození. I malé změny v distribuci kostní hmoty, jak v trabekulární tak kortikální kosti, společně s jejich architektonikou, mohou vést ke zvýšení pevnosti bez zvýšení BMD. Naopak i přes navýšení kostní hustoty může nastat vyšší křehkost. (40) Tak tomu bylo dokázáno v jedné čtyřleté studii, ve které zkoumali vliv fluoridu sodného při léčbě osteoporózy u postmenopauzálních žen. Zjistilo se, že i přes nárůst kostní hustoty se však zvýšila křehkost skeletu. Konkrétně stoupla BMD v trabekulární a klesla v kortikální kosti a až třikrát se zvýšila lomivost periferních kostí. Závěrem se ukázalo, že i přes svou stimulační funkci na osteoblasty je fluorid sodný k léčbě zcela nevhodný. (41)

„Denzita vyšetřovaného skeletu se určuje jako míra útlumu RTG záření či záření emitovaného radionuklidy po průchodu kostí“ (19). Hustotu kostního minerálu lze vyjádřit více způsoby. Například metodou dvouenergiové rentgenové absorpciometrie (DXA) dostaneme plošnou hustotu (areal bone mineral density = aBMD) a pomocí periferní kvantitativní počítačové tomografie (pQCT) získáme objemovou kostní hustotu (volumetric bone mineral density = vBMC). Kostní hustota je vyjádřena podílem hmotnosti dané látky a její velikosti v gramu minerálu na centimetr čtverečný (g/cm^2) či krychlový (g/cm^3). Výsledky z DXA lze převést také na objemovou hodnotu. Pro její interpretaci se používá průměrná hodnota u populace stejného pohlaví a etnika. Jedinci

je stanoveno tzv. T-skóre, které odpovídá velikosti SD nad a pod průměrnou hodnotou zdravých mladých dospělých. Rozlišujeme 3, někdy 4 kategorie:

- 1) *Normální hodnota BMD*: T-skóre je nižší než +2,5 SD a vyšší než -1,0 SD
- 2) *Osteopenie*: T-skóre od -1,0 do -2,5 SD
- 3) *Osteoporóza*: T-skóre je nižší než -2,5 SD
- 4) *Těžká osteoporóza*: T-skóre nižší než -2,5 a již byla zlomenina z důvodu zvýšené lomivosti.

Pro porovnání s jedinci stejného věku a pohlaví se určuje tzv. Z-skóre, používané převážně u dětí do 18 let, premenopauzálních žen a osob starších 75 let. (42)

Na budoucí kostní zdraví má vliv špičková kostní hustota. Je to označení pro největší množství kostní hmoty, dosažené během života. Je určena až ze 75 % hereditárně a z menší části na ni působí vlivy zevního prostředí. Pozitivně je ovlivněna jednak pohybovou aktivitou, tak výživou, například dostatečným příjmem vápníku. Negativně na ni působí kupříkladu kouření a alkohol. Více než 90 % kostní hmoty je dosaženo před dovršením dvaceti let a dál postupně přibývá přibližně do třicátého roku, kdy je kost na vrcholu své pevnosti. Je těžké určit přesně věk vrcholu kostní hustoty, protože kosti jsou v dynamickém procesu neustále remodelovány. Některé kosti ještě nabývají svoji hustotu, zatímco jiné ji již postupně ztrácejí. Například vrchol BMD páteřních obratlů nastává později než v proximálním femuru a nejdéle přibývá kostní tkáň v kortikalis dlouhých kostí. (43) Genderově mají vyšší špičkovou kostní hustotu muži a dosahují ho později. (43, 44)

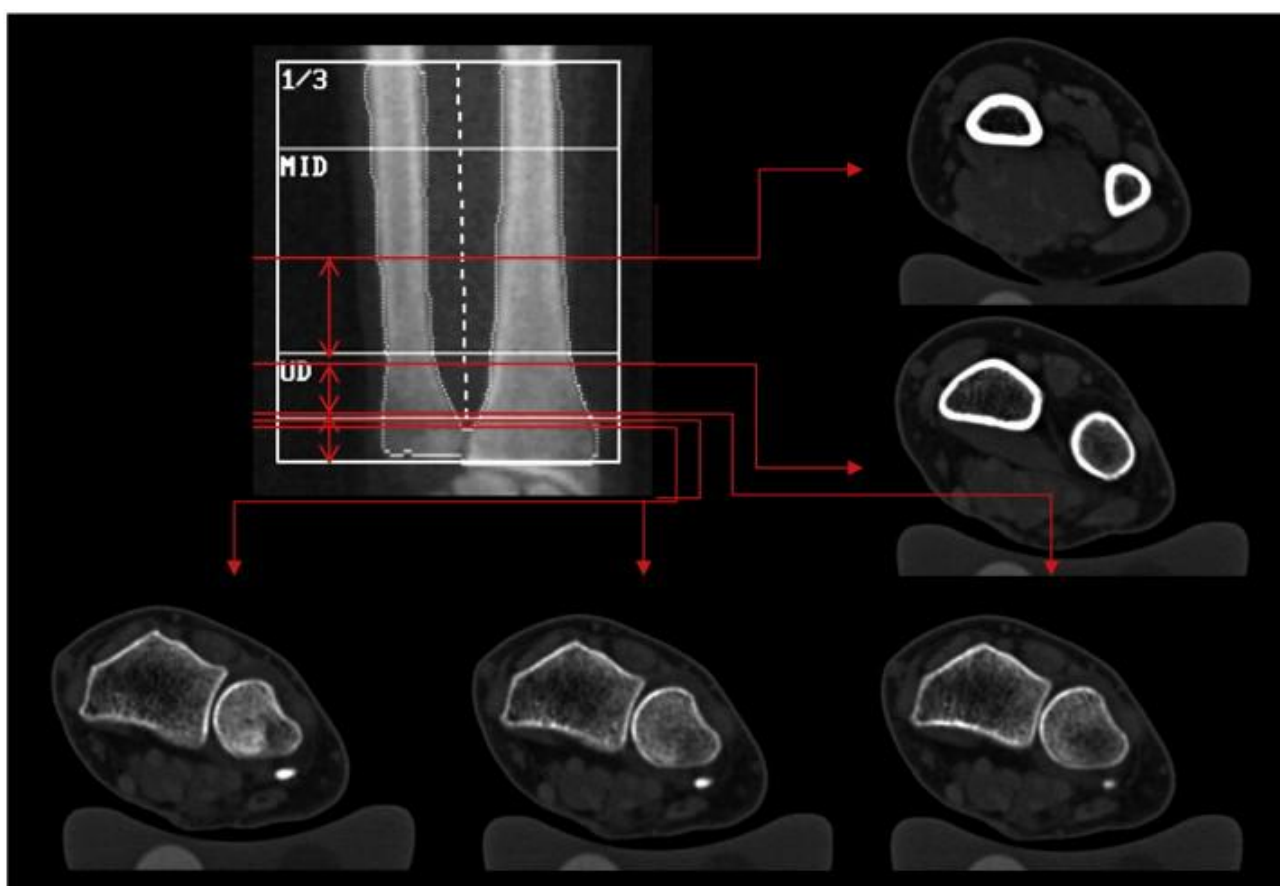
Obsah kostního minerálu (BMC) se udává v gramech na centimetr tloušťky řezu (g/cm) Vyjadřuje hmotnost popele, který bychom získali spálením jednocentimetrového regionu kosti. (19) Přibližně 90 % celkového kostního minerálu je nashromážděno na konci puberty. (45)

Kostní geometrie neboli architektura se primárně určuje trojdimenzionální metodou pQCT, ale speciálními vzorci lze odvodit i z dvojdimenzionální DXA. Stejně tak je tomu u pevnostních parametrů. Zjišťujeme plochu průřezu celou kostí a také pouze skrz kompaktu, periost, endost a můžeme odvodit hodnotu i u dřevové dutiny. Dále určujeme tloušťku kortikalis, kortikální a trabekulární hustotu. (46)

Různými vzorci je možné vypočítat hodnoty pro kostní pevnost: bone strength index nebo někde označovaný jako index of bone strength (IBS), který hodnotí odolnost epifýzy/metafýzy v axiální kompresi a strength strain index (SSI), který určuje rezistenci diafýzy proti působícím silám do ohybu a torze. (47) Pro zjištění pevnosti páteřních obratlů byl vytvořen fracture risk index (FRI). (48)

V dnešní době existuje mnoho metod pro analýzu kostí, ale nejčastěji se k hodnocení BMD, BMC a kostní geometrie používá DXA a pQCT (Obrázek 2). Hlavní nevýhodou DXA je, že zatěžuje organismus radiční dávkou. Její přednosti jsou v odolnosti proti nežádoucím pohybům hodnoceného a je vhodná k opakovatelnému měření pro longitudinální studie. Je také volbou pro hodnocení osteopenie či osteoporózy u dospělých. Naproti tomu pQCT je méně dostupnou metodou. Je citlivá na pohyb, protože skenuje velmi tenké řezy v určité části kosti a je nesnadné dostat výsledky přesně ze stejného místa jednak u různých jedinců, tak v rámci jednoho člověka sledovaného dlouhodobě. Výhody pQCT jsou v možnosti hodnocení geometrie, teoretické kostní pevnosti a ve schopnosti rozlišit trabekulární a kortikální tkáň. (46) Kostní mikroarchitektonika lze měřit pomocí magnetické rezonance s vysokým rozlišením. (11)

Obrázek 2. Ukázka DXA a pQCT skenů a jejich umístění (49)



Vlevo nahoře je ukázka DXA měření, vpravo a dole jsou místa měření pQCT na kostech předloktí

2.5 Charakteristika měření jednotlivých kostí

Mezi nejčastěji měřené kosti patří radius a ulna, bederní obratle, femur a tibia.

2.5.1 Kostí předloktí

Kosti předloktí jsou jedny z nejpřístupnějších kostí pro měření pomocí metody DXA. Nedochází k fluktuaci měkkých tkání, jako například v oblasti bederní páteře či kyčle. Častěji se měří vřetenní kost samostatně, protože je spojena s vysokou incidencí fraktur. Její diafýza je i přes značný obsah spongiózy dobrým ukazatelem pro kortikální kostní hustotu. Přirozeně jsou velké rozdíly při měření kostí dominantního a nedominantního předloktí, obvykle se tedy měří na nedominantní straně. Měření se provádí skeny z dorzální strany a můžeme posuzovat více oblastí zájmu. Podle typu přístroje se metody v detailech liší. (50) DXA hodnotí tzv. ultradistální (UD) a 1/3 vzdálenost. UD se měří 10 mm od distální kloubní chrupavky a rozsah skenované části je 15,1 mm. Hodnoty 1/3 vzdálenosti se získávají v rozmezí 20–21 mm, podle délky kosti. Metodou pQCT zjišťujeme tzv. 4 % a 33 % distanci, která se hodnotí podle délky ulny od jejího distálního konce a řezy jsou pouze 2 mm tenké. Některé studie zjišťovaly parametry také v 66 % délce. (47)

Sportovní gymnastika je unikátní svým zatěžováním horních končetin. Podobný způsob zátěže vidíme jen zřídkakdy u jiných činností. Radius na sebe přebírá převážnou tíhu kladenou na předloktí. Je tedy vhodný k měření kostních změn, které u gymnastek nastávají. Obsahuje regiony, které jsou tvořeny převážně kompaktní nebo spongiózní, můžeme tedy sledovat specifické účinky na jednotlivé tkáně. (51)

2.5.2 Bederní páteř

Obratlová těla jsou vytvořena převážně z trabekulární tkáně a jen z tenké kortikalis. Provádí se předozadní, boční, nebo párové DXA snímky páteře. Laterální jsou však limitované okolními strukturami, jako jsou žebra či crista iliaca, které mohou zkreslit výsledky. Proto je ve středu zájmu třetí bederní obratle (L3), který je pro skenování nejlépe dostupný. Z DXA se mohou odvodit geometrické rozměry. Párovými skeny zjistíme výšku, šířku i hloubku obratle a můžeme vytvořit jeho model. Dřívější studie používaly model krychle, ale ten nezohledňoval rozdílné plochy ve třech dimenzích. Dnes se používá přesnější model elipsoidního válce, který lépe kopíruje podobu reálného obratle. (48)

2.5.3 Proximální část stehenní kosti

V oblasti proximálního femuru, obzvláště v jeho krčku se vyskytují nejzávažnější zlomeniny. Pro objektivní zjištění DXA parametrů je třeba, aby rentgenové paprsky směřovaly kolmo na krček femuru. Z toho důvodu se vyrábějí speciální polohovací pomůcky, které fixují znehybněnou dolní končetinu v 15°–30° vnitřní rotace, nebo dle individuálních potřeb. Mezi hlavní oblasti zájmu patří oblast krčku femuru, trochanteru a Wardova trojúhelníku, kde je obvykle nejméně kostní tkáň. (52)

2.5.4 Holenní kost

Holenní kost se vyznačuje vůbec největší incidencí stresových fraktur a výskyt je 35–55 % všech stresových zlomenin. Hned po ní následují metatarzální kůstky s 16 %. Při měření tibie pomocí pQCT se skenuje ultradistální část, která reprezentuje epifýzu a je umístěna 22,5 mm od distální kloubní plochy tibie a distální část, neboli 4 % vzdálenost, která představuje metafýzu a je umístěna 37,5 mm od stejné referenční linie. (53) Pro zjištění parametrů v oblasti diafýzy se skenuje v 66 % vzdálenosti. (1, 54)

2.6 Charakteristika zátěže u sportovní gymnastiky

Ve sportovní gymnastice se angažují muži i ženy, ale jejich náradí se odlišuje. Ženská gymnastika zahrnuje čtyři disciplíny a to přeskok, bradla, kladinu a prostná. Cvičební prvky jsou statické i dynamické povahy, prováděné přesně vedenými pohyby a precizní technikou. Převážně se vyskytující akrobatické cviky vyžadují schopnost řídit své tělo během pohybu ve vzduchu. Gymnastky se od ostatních sportovkyň liší motorickými schopnostmi, které využívají ke kvalitě přesně provedeného pohybu. Jejich neuvěřitelná neuromuskulární propojení přispívají k velké síle, flexibilitě, rychlosti a koordinaci. Maximální síla může být dosažena i bez zvýšení svalové hmoty, nejlepší světové gymnastky dosahují ohromné síly i s malým objemem svalové hmoty. (55) Tah svalů vytváří reakční sílu kloubů (joint reaction force), která má osteogenetický efekt. (53)

Sportovní gymnastika je dynamický sport, ve kterém se dochází často k nárazům na kosti. Bilaterální zatěžování dolních a horních končetin odlišuje gymnastiku od ostatních sportů. (51, 56, 57) Během cvičení na přeskoku, kladině a prostných působí mechanické síly převážně v axiální kompresi a v ohybu, při provádění cviků na bradlech se uplatňují hlavně síly v tahu a torzi. Axiální komprese vytváří na zakřivených kostech deformaci do ohybu, která vychází z komprese na konkavitě a z tahu na konvexitě. Při působení síly v úhlu 45° na dlouhou osu kosti se vyvíjí smykové napětí. (58)

Při doskakování jsou gymnastky vystaveny vysokorychlostním dopadům z výšky až 2 metry a o frekvenci až 200 krát týdně. Jednak při doskocích v rámci některého prvku, tak při seskocích z gymnastických náradí jsou kladeny obrovské síly na jejich skelet. (59) Burt et al. zkoumali, jak velká reakční síla podložky působí na skelet při provádění různých cviků na kladině a na prostných. Gymnastky na národní úrovni zatěžovaly své kosti méně než ty, které soutěžily na mezinárodních závodech. Na zápěstí byly kladeny síly 2–4 násobně větší než je hmotnost těla a na kotníky 6–8 násobně. Při akrobacii na prostných byly tyto síly větší než při cvičení na kladině. (56) Jiní autoři udávají velikost vertikální reakční síly podložky při cvičení na různých gymnastických disciplínách až desetkrát větší než je hmotnost těla. (57, 58) V přílohách 2–5 jsou uvedeny obrázky pro ukázkou zatěžování kostí během sportovní gymnastiky.

3 CÍLE A HYPOTÉZY

Cílem bakalářské práce je formou rešerše shrnout dosavadní poznatky o působení mechanické zátěže na kosti sportovních gymnastek během dětství a adolescence. Posoudit, jaké změny v kostní tkáni nastávají a zda tyto adaptace přetrvávají i do pozdního věku.

Prostřednictvím dotazníkových šetření podat náhled na problematiku vrcholové sportovní gymnastiky. V prvním dotazníku u bývalých vrcholových gymnastek posoudit informace potřebné ke srovnání s ostatními studii týkajícími se tématu a v druhém orientačním dotazníku zjistit u mladé generace gymnastek výskyt poruch příjmu potravy.

Předpokládáme, že zatěžováním kostí, především v mladém věku, nastávají u sportovních gymnastek dlouhodobé pozitivní změny ve smyslu zvýšené kostní pevnosti a lze z nich profitovat do pozdního věku.

4 METODIKA

4.1 Rešerše a citace

Rešeršní zdroje byly získávány z portálu medicínských informací PubMed a jeho databázi Medline. Dále vyhledáváním dostupných fulltextových zdrojů přes Portál elektronických časopisů Univerzity Karlovy v Praze, využitím služby Google Scholar a použitím zdrojů poskytnutých vedoucím práce.

Citace byly vytvořeny pomocí citačního programu EndNote. Po dohodě s vedoucím práce byl zvolen styl Vancouver.

4.2 Dotazníková šetření

Celkem 13 bývalých vrcholových sportovních gymnastek ve věku od 43 do 50 let bylo osloveno prostřednictvím emailu nebo telefonicky k vyplnění pilotní dotazníkové studie. Odpovědělo všech 13 respondentek. Dotazník byl vytvořen internetovým nástrojem Survio pro tvorbu online dotazníků a byl anonymní. Třináct povinných a 1 nepovinná otázka byly koncipovány pro případné porovnání s retrospektivními studiemi bývalých sportovních gymnastek. Otázky byly zaměřeny na osobní, sportovní a rodinnou anamnézu zabývající se kostními onemocněními. Dotazník je uveden v příloze č. 1.

Celkem 49 sportovních gymnastek bylo osloveno přes sociální síť Facebook k vyplnění anonymního dotazníku prostřednictvím nástroje Survio. Tři otázky byly zaměřeny na jejich věk, délku sportovní kariéry a zda trpěly během té doby poruchami příjmu potravy, mentální anorexií nebo bulimií. Odpovědělo 38 gymnastek, jedna byla vyřazena z důvodu uvedení jiného sportu a to moderní gymnastiky.

5 VLIV SPORTOVNÍ GYMNASTIKY NA KOSTI

5.1 Zatěžování skeletu během růstu

Síť osteocytů tvoří v kosti hlavní senzory na mechanickou zátěž. Vnímají změnu tlaku proudící tekutiny v kanalikulech a lakunách a reagují na ni. Pokud nedochází ke stimulaci osteocytů, je postupně zahájena jejich apoptóza a nastává kostní resorpce. Když jsou osteocyty naopak drážděny, vysílají signály k potlačení funkce osteoklastů a stimulují osteoblasty k jejich proliferaci a diferenciaci. Jejich sensorická funkce se během stárnutí organismu postupně ztrácí, z části závisí i na hormonálním pozadí, především na koncentraci estrogeneru. Schopnost buněk osteoblastické řady reagovat na mechanické podněty určuje efektivnost zatěžování kostí v dospělosti a stáří. Důležité je zatěžovat kosti v době, kdy je to neefektivnější. Cílem je získat co největší špičkovou kostní hustotu a aby se geometrie skeletu přizpůsobila svými rozměry k co největší pevnosti. Během dlouhodobé zátěže se senzitivita kostních buněk zmenšuje, proto jsou víc efektivní intermitentní sporty než vytrvalostní. Mechanické zatěžování kostí je důležité jednak během růstu k vytvoření špičkové kostní hustoty, tak v dospělosti k udržování již nabyté hmoty, ale i k předcházení kostní ztráty po menopauze a ve stáří. (60)

Nejvíce osteogenetická zátěž je dynamická, s vysokou frekvencí a měnícím se působením sil na kost. Sporty s velkou intenzitou, jako je gymnastika, tenis nebo hokej, prováděné několikrát týdně jsou efektivní pro nabytí kostní hmoty. Vytrvalostní sporty jsou méně účinné. Stejně tak u aktivit, při nichž se zatěžuje skelet minimálně, především u plavání nebo cyklistiky, nezískají sportovci žádné biologicky významné výhody v kostní tkáni. (17, 61)

Působení mechanické zátěže indukuje změny v kostní geometrii. Při periostální apozici roste kost do šířky zvětšuje se její obvod, kdežto při endostálním přírůstku narůstá tloušťka kortikalis. V prvním případě je kost odolnější proti ohybovým a torzním silám, než když se šířka nezmění. Změny mohou nastat jak na epifýze, tak na diafýze, mediálně či laterálně, anteriorně i posteriorně a to v rámci jedné kosti. (61) I malé změny v kostní geometrii mohou rapidně zvýšit pevnost kosti a tím předcházet zlomeninám. (1, 62) Výsledná adaptace záleží na věku začátku tréninku, při zahájení trénování před pubertou se vyskytují změny převážně v kostní geometrii a při začátku po pubertě jsou změny především v její hustotě. (63, 64)

Kost odpovídá na osteogenetické stimuly sportovní gymnastiky už před sedmým rokem života. (65-67) Pro největší kostní přírůstek se doporučuje zatěžovat kosti během růstu, nejlépe v prepubertálním a časně pubertálním období, kdy lze kosti podléhající růstu dobře ovlivnit zátěží. (17, 60, 61, 68) Bylo zjištěno, že gymnastky které pokračovaly s tréninku po menarche, měly ještě

lepší hodnoty kostního materiálu i geometrie než gymnastky, které ukončily kariéru během období menarche. (69) Benefity v kostních minerálech jsou u dívek trénujících před či během menarche až dvakrát větší než u těch, které začaly trénovat až po první menstruaci. Nadměrná kostní hmota je ztracena při úplném skončení pohybové aktivity, ale ne při snížené intenzitě. (70)

5.1.1 Adaptace předloketních kostí

Kosti předloktí jsou ve středu zájmu mnoha studií, jelikož změny na radiu a ulně nejvíc reflektují gymnastickou zátěž. Některé studie se zabývají pouze vřetenní kostí, ale někteří autoři zjistili signifikantní změny také na loketní kosti a upozorňují na důležitost hodnocení skeletálních změn na obou kostech.

Adaptace kostní tkáně ve sportovní gymnastice se projevuje i u rekreačních prepubertálních gymnastek. Burt et al. potvrdili, že i průměrně po 3 letech tréninku, o intenzitě 7 hodin týdně, nastávají na kostech odlišnosti oproti kontrolní skupině (KON). Distálně nastaly adaptace pouze na radiu, kde se zvýšila trabekulární hustota, BMC a BSI (o 8–16 %), ale geometrie kosti zůstala stejná. Proximálně nastaly větší rozdíly oproti KON naopak na ulně. Na obou diafýzách byla zvětšena plocha průřezu kostí. (71)

V jiné skupině premenarcheálních gymnastek se opět hodnotilo předloktí, ale pouze u vřetenní kosti. Dívky cvičily alespoň 6 hodin týdně po dobu dvou let a byly porovnávány s jejich vrstevnicemi, které prováděly jinou pohybovou aktivitu nanejvýš 5 hodin týdně. Všechny gymnastky projevily podstatně lepší kostní parametry než KON. Adaptace na gymnastické cvičení byly místně specifické a to objemového a geometrického rázu. Distálně nabyly kosti hlavně hustotu a v oblasti diafýzy nastaly větší změny v rozměrech. Zatěžováním kostí se zvyšuje ukládání kostních minerálů, které v 1/3 regionu bylo u GYM o 18–20 % větší a o 27–35% v oblasti metafýzy. V této studii měly GYM signifikantně lepší pevnost diafýzy o 24–38 % podle Z-skóre a metafýzy o 41–56 % dle IBS ve srovnání s kontrolní skupinou. (51)

Pre- a perimenarcheální cvičení sportovních gymnastek má ještě větší vliv na kosti než pouze trénování v období před menarche. GYM měly velikost a pevnost distálního radia víc než o 20 % větší než KON. Na diafýze byla podstatně větší dřevná dutina a okolo ní výrazně ztlustělá kortikalis, ale na úkor snížené celkové vBMD. Na metafýze byly opět přibližně 20% benefity v trabekulární hustotě a ploše průřezu kortikalis, ale v celkové vBMD se výhody nevyskytly. Celkově byl radius pevnější a to z důvodu expanze kosti do šířky, jak diafýzy, tak metafýzy a díky hustší trabekulární hmotě. Nejzajímavější rozdíl mezi GYM a KON byl v ploše průřezu dřevnou

duťinou, který měly gymnastky o 79 % větší. Takový rozdíl zatím nezaznamenala žádná studie. Parametr byl však variabilní a předpokládá se u něj spojitost s genetickou výbavou. (57)

Existuje korelace mezi pohlavní zralostí a skeletálními změnami na vřetenní kosti. Když byly GYM v určitém stádiu vývoje porovnávány s KON stejného věku, objevily se odlišnosti v procentuálních benefitech. Na ultradistálním radiu byly hodnoty BMC větší u premenarcheálních sportovkyň stadia Tanner I o 24 %, u Tanner II a dalších stádiích o 35 % a u GYM po menarche o 55 %. Stejně tak se s postupným zráním zvyšovala pevnost (IBS: 44 %, 62 % a 96 %). Obvod ultradistálního rádia se s pohlavním zráním zvětšoval, ale již ne s takovou razancí. Na diafýze radia se postupně zvyšovaly rozdíly také v BMC, ale i v ploše průřezu celou kostí i jen skrz kortikalis. (72)

Green et al. srovnávali z výsledků pQCT kostní parametry u různých sportovkyň (soutěžících na národních soutěžích) a dívek kontrolní skupiny ve věku 11–16 let. Zástupkyně sportu, ve kterém se kosti zatěžují nárazy na horní, tak na dolní končetiny, byly gymnastky. Srovnávali je s atletkami (sprinterky a skokanky), které zatěžují pouze dolní končetiny a s hráčkami vodního póla, které svůj skelet prakticky nezatěžují. Kontrolní skupinu tvořily dívky, které se neangažovaly ve sportovní aktivitě víc než 4 hodiny týdně. GYM značně předčily všechny ostatní skupiny. Na distální části radia měly BSI o 157 % větší a proximálně o 83 % než KON. Pevnější kosti nabyly skrz zvýšení trabekulární a kortikální hustoty, větší BMC a rozměrnější plochu průřezu kostí. Atletky měly oproti KON také pevnější kosti, ale „pouze“ o 30 % distálně a o 15 % proximálně. Hráčky vodního póla měly pevnější kosti než nesportující dívky pouze v oblasti distálního radia a to o 32%. (54)

5.1.2 Adaptace na holenní kosti

Trabekulární mikroarchitektonika zásadně ovlivňuje kostní pevnost. Pouze jedna studie se zabývá touto problematikou. Pomocí magnetické rezonance s vysokým rozlišením měřili Modlesky et al. trabekulární tkáň v proximální tibia u sportovních gymnastek a výsledky porovnával s KON stejného věku. Měření doplnil metodou DXA pro získání informací o aBMD a BMC, aby mohl lépe určit pevnost kosti. Dvacetileté GYM, které intenzivně trénovaly průměrně po dobu 15 let, měly o 14% větší zdánlivý objem trabekulární hmoty v poměru k celkovému objemu, o 8 % víc zdánlivého počtu trabekul a o 14 % menší prostory mezi nimi. Objevila se také statisticky nevýznamná tendence k tenčím trabekulám, ale pouze o 6 %. Výsledky z DXA na proximální tibia ukázaly méně významné benefity, kdy aBMD a BMC byly o 10 % větší než u KON. Trabekulární hmota má schopnost plasticity a na velké zatížení při sportovní gymnastice reaguje přestavbou své mikroarchitektoniky, která vede k pevnější struktuře. (11)

Ve studii Greene et al. zjišťovali parametry také na holenní kosti. V porovnání s dívkami kontrolní skupiny měly GYM v proximální třetině tibie o 53 % větší BSI, které bylo výsledkem o 17% vyšší BMC a stejně tak plochy průřezu kortikalis a o 15 % větší plochy kortikalis. Distálně, ve 4 % vzdálenosti, získaly o 60 % větší BSI, které bylo dáno 37 % převahou v trabekulární hustotě. Atletky měly oproti KON „pouze“ o 34 % větší BSI proximálně a o 15 % distálně. Hráčky vodního póla nezískaly žádné benefity. (54)

5.1.3 Adaptace na stehenní kosti

Zlomeniny proximálního femuru jsou jedny z nejčastějších osteoporotických komplikací a vedou k vysoké invaliditě a mortalitě. Proto jsou pozitivní změny v kostní tkáni životně důležité. Studie zabývající se krčkem femuru zjistily pozoruhodnou korelaci mezi pohlavní zralostí a úrovní BMC. Největší procentuální nadbytek BMC měly GYM v porovnání s KON ve stadiu vyspělosti Tanner I (o 11 %). V období vyspělosti Tanner II byly hodnoty stejné a po menarce se opět zvýšily. Plošná BMD byla signifikantně vyšší u všech sportovkyň. Adaptace na cvičení gymnastiky se ukázaly také v kostní geometrii. Periost a endost byl tenčí, ale kortikalis širší a pevnější; plocha průřezu kostní tkáni byla větší i přes zmenšený obvod kosti. Gymnastické zatěžování skeletu v dětství (průměrně 13 hodin týdně po dobu alespoň jednoho roku) zvyšuje pevnost krčku femuru hlavně skrz rozšíření kortikalis, ale bez zvýšeného obvodu kosti. (72)

V jiné průřezové studii se krček opět skenoval metodou DXA pro zjištění aBMD a BMC. Gymnastky trénovaly 10–15 hodin týdně po dobu alespoň dvou let. Byly porovnávány s KON a podle pohlavní zralosti rozděleny do dvou skupin: Tanner I a Tanner II. Výsledky GYM předčily KON. Tanner I GYM měly větší aBMD o 9,5 % a BMC o 8 % než KON. Zatímco GYM Tanner II dosáhly o 8 % víc aBMD, ale změny v BMC nebyly skoro žádné. Tyto výsledky korelují s předchozí studií. (73)

Maïmoun et al. srovnali 23 GYM s 23 KON ve věku od 10 do 17 let. Gymnastky trénovaly přibližně od pěti let a cvičily intenzitou průměrně 20 hodin týdně. Metodou DXA zjistili u gymnastek vyšší BMD v krčku femuru o 18 %, v trochanteru o 16,4 % a v intertrochanterické oblasti o 14,2 % vyšší než u KON. Z dvojdimenzionálních výsledků DXA se odvodily hodnoty i pro kostní geometrii. Signifikantní změny nastaly v ploše průřezu krčkem, intertrochanterickým regionem a diafýzou o 16,5 %, 18 % a 12,5 %. Také tloušťka kortikalis výrazně zmohutněla o 21 %, 17,2 % a 13,6 %. Obvod kosti se však nezměnil a nitrodřeňová dutina se jen o trochu zmenšila. Apozice tedy byla převážně endokortikální. (17)

Nickols-Richardson et al. sledovali po dobu jednoho roku vývoj BMD u 9 sportovních gymnastek a 9 dívek v kontrolní skupině ve věku 8–13 let. GYM trénovaly průměrně 7 let intenzitou 16 hodin týdně. V závěru studie projevily o 41 % větší přírůstek kostní hustoty v trochanteru a o 55 % vyšší nárůst v krčku femuru ve srovnání s nesportujícími dívkami. (74)

5.1.4 Adaptace v bederní páteři

Specifické změny byly pozorovány také na páteři, konkrétně na L3. Gymnastky cvičící během růstu, byly srovnávány se stejně starými dívkami, provádějícími odlišnou pohybovou aktivitu. Existuje spojitost mezi geometrií obratlového těla a výskytem jeho zlomenin. Bylo zjištěno, že s menší šířkou obratle stoupá incidence fraktur. Dále výška obratlového těla přispívá k většímu napětí během flexe trupu. Odolnost vůči axiálním kompresivním silám určují 2 hlavní faktory: plocha průřezu obratlem a jeho vBMD. U gymnastek se projevily adaptace právě ve větší šířce a menší výšce L3. Současně měly o 8 % hustší aBMD, o 10–18% větší pevnost (IBS), rozsáhlejší plochu průřezu obratlem a také měly menší riziko fraktury o 10,5 % (FRI) než KON. Výsledky měření vyplynuly z posteroanteriorních, laterálních a párových DXA skenů, které vedly k vytvoření modelu elipsovitého válce. Ten je podobnější reálnému obratli a udává přesnější měření, než model krychle, používaný v předešlých studiích. Mediolaterální vertebrální expanze je tedy dominantní změnou během sportovní gymnastiky. (48)

Nurmi-Lawton et al. hodnotili metodou DXA hodnoty BMD a BMC v bederní páteři u skupiny 45 GYM ve velkém věkovém rozmezí 8–17 let. Cvičily v průměru 9,5 roku o intenzitě 19,5 hodin týdně. Gymnastky v období růstového spurtu měly největší procentuální benefity ve srovnání s KON. Zatěžováním skeletu si vytvořily v bederní páteři o 43 % víc BMC a o 28 % větší BMD. (67)

5.2 Období několik let po ukončení sportovní gymnastiky

Studie zabývající se bývalými sportovními gymnastkami (exGYM) se zaměřují na to, které kosti podlely nejvíce adaptaci na mechanickou zátěž, jaké parametry jsou zvýšeny či sníženy, jak se změnila architektura kosti ve smyslu její velikosti, plochy a jaké charakteristické změny jsou v oblasti epifýz a diafýz. Výsledky byly porovnávány s kontrolní skupinou dívek či žen. Z osmi studií se jedna zabývá uchováváním benefitů 2 roky po skončení kariéry, čtyři se věnují přetrvávání benefitů minimálně po 3–4 letech (nejvíce po 18 letech) od ukončení tréninků a jedna se zabývá skupinou po 10 letech. Pouze Pollock et al. se zaměřili na gymnastky alespoň 15 let po ukončení kariéry, které byly kontinuálně sledovány po dobu devíti let, takže výsledkem bylo zjištění, jestli kostní změny přetrvávají po dobu 24 let od ukončení sportu. Jedna studie se zabývala bývalými gymnastkami s menstruační dysfunkcí a jejími vlivy na kostní tkáň.

Eser et al. se zaměřili na dlouhé kosti horní a dolní končetiny, kde se zajímali o jejich stavbu, hustotu a obsah kostního minerálu. Pomocí pQCT zjišťovali reziduální skeletální benefity minimálně 3 roky od ukončení kariéry u gymnastek, které cvičily průměrně po dobu deset a půl roku. Dívky cvičily v období nejintenzivnějších tréninků až 40 (průměrně 23) hodin týdně. Výsledky měření potvrdily, že i průměrně po 6 letech od ukončení tréninku si gymnastky uchovávají lepší kostní pevnost ve srovnání s KON. Rozdíly mezi skupinami byly výraznější na horních než na dolních končetinách. Adaptace na zátěž v dětství byla spíše geometrické než denzitometrické povahy. Znamená to, že plocha průřezu celé kosti společně s plochou průřezu pouze kortikalis byly větší a to vedlo k lepší odolnosti vůči kompresním silám, proti ohybu a torzi.

Konkrétněji: v oblasti diafýz byla u exGYM celková plocha průřezu radia a humeru o 32 a 20 % větší. Na pažní kosti se plocha průřezu kortikalis zvětšila o 24 %, zatímco na vřetenní kosti o 13 %. V oblasti distální epifýzy radia měly exGYM celkovou plochu průřezu až o čtvrtinu větší. Tato adaptace kostních kloubních ploch je vytvořena na základě velké mechanické zátěže při dopadech na horní končetiny z důvodu prevence poškození kloubních chrupavek. Trabekulární BMD byla o 9 % zvýšená, zatímco v celkové hustotě rozdíly nebyly. Obsah kostního minerálu byl u gymnastek nejvíce zvýšen na diafýze humeru (o 24 %), o trochu méně na epifýze radia (o 22 %) a nejmenší, ale stále významný rozdíl byl na diafýze vřetenní kosti (o 16 %).

Na stehenní a holenní kosti nebyly rozdíly mezi exGYM a KON tak výrazné, ale přesto měly exGYM stále pevnější kosti než KON. Rozdíl v BMC diafýz byl 11 % a u epifýz 7–8 % ve prospěch gymnastek.

Mírné zmenšení kostních parametrů u gymnastek se ukázalo ve tloušťce kortikalis. Na diafýzách vřetenní a stehenní kosti byla zmenšena oproti KON o 4,6 % a 0,3 %, zatímco

na pažní kosti byla kortikalis o 15 % tlustší a na holenní o 7 %. Tyto negativní adaptace jsou z důsledku zvýšené remodelace způsobené mikropoškozením. Kortikální hustota diafýz byla téměř beze změn ve všech kostech, změny se projeví jen v rámci 1 %. Trabekulární hustota zůstala zvýšená o 5–9 %.

Eser et al. považuje za významné posoudit adaptaci v ploše průřezu kortikalis a v trabekulární hustotě, protože tyto hodnoty jsou sníženy jako první po ukončení tréninku nebo v případě imobilizace. V jeho studii byla u GYM trabekulární BMD zvýšena o 5–9 % a průřez kompaktní o 5,5 % až 24 %. (64)

Kosti, na kterých můžeme sledovat specifické změny při sportovní gymnastice, jsou radius a ulna. Pozorujeme zde jiné adaptace než například u tenistů, kteří mají také zvýšenou kostní pevnost. Způsob, kterým působí různé síly na kost u gymnastek, nenajdeme u jiných aktivit. Předloktí nese při častých dopadech na horní končetiny tíhu celého těla a kosti jsou namáhané v dlouhé ose mnohonásobně víc, než je hmotnost těla. Proto se mnoho autorů zaměřilo právě na radius, který je v přímém spojení se zápěstními kůstkami a je náchylný ke zlomeninám. Ale už jen málo výzkumů bylo zaměřeno na změny v ulně. Ducher et al. zjišťovali, jaké důsledky má gymnastický trénink na radius a ulnu a výsledky porovnali s KON. ExGYM po deseti letech cvičení a průměrně po 6 letech od ukončení kariéry podstoupily měření kostí metodou pQCT ve vzdálenostech 4 % a 66 % od distálních konců. Výsledky u obou skupin ukázaly, že v oblasti epifýz má radius BMC a celkovou plochu průřezu dvakrát tak velké než ulna, zatímco v 66 % vzdálenosti byl BMC, plocha celkového průřezu i pouze skrz kortikalis větší na loketní kosti. Distálně je radius víc zodpovědný za absorbování mechanických sil a to z několika důvodů; jednak je to větším průřezem ve srovnání s ulnou, ale také i faktem, že je přímo spojený s karpálními kůstkami. Částečně je síla přenášena i na ulnu přes membrana interossea antebrachii. V 66 % vzdálenosti je zase odolnější vůči působícím silám ulna. Na předloktí působí při gymnastických manévrech různé síly včetně torzní a ohybové. Loketní kost má důležitou roli při působení právě těchto sil na střední část předloktí.

Obsah kostního minerálu je na vřetenní kosti od 1,5 cm distálně od processus styloideus radii k olecranonu konstantní. Jiné je to na ulně, kde se přibližně od vzdálenosti 4 cm od processus styloideus ulnae do středu diafýzy obsah minerálu navyšuje. Koresponduje to s faktem, že od distálního konce předloktí se ulna distálně rozšiřuje a radius zužuje.

Fakt, že u sportovních gymnastek jsou v oblasti diafýzy větší skeletální benefity na ulně než na radiu, je v rozporu s výsledky u tenistů či hráčů squashe. U raketových sportů nebyla ulna tak náchylná na adaptaci při repetitivní zátěži. Rozdíly u zmíněných sportů mohly být i z důvodu,

že u tenistů a hráčů squashe se měřily parametry diafýzy v oblasti středu kosti a u gymnastek v 66 % vzdálenosti od distálního konce. (47)

Erlanson et al. provedli výzkum u premenarcheálních sportovních gymnastek ve věku 8–15 let a po 14 letech provedli ta samá měření u identické skupiny sportovkyň. V obou případech je srovnávali s dívkami KON, které byly stejného věku a také podstoupily oba výzkumy. GYM trénovaly v premenarcheálním období alespoň 2 roky, průměrnou intenzitou 20 hodin týdně. Prokázaly signifikantní zlepšení v kostní tkáni oproti KON. Dosáhly větších hodnot BMC v bederní páteři, krčku femuru a celkovém skeletu o 17 %, 12 %, 15 %. Po 14 letech, když byly gymnastky v průměru 10 let od ukončení kariéry (rozmezí 6 – 14 let), projevíly opět významné benefity. BMC měly větší v bederní páteři o 19 %, v krčku femuru o 13% a v celkovém skeletu také o 13 %. Také BMD měly nadbytek; v bederní páteři o 13 %, v celkovém skeletu o 8%, pouze v krčku femuru byly změny statisticky nevýznamné. (75)

Scerpella et al. se zaměřili na skupinu subelitních gymnastek, které cvičily průměrnou intenzitou 9,3 hodin týdně, alespoň 2 roky před menarche a gymnastiku ukončily během období půl roku před a jeden rok po první menstruaci. Dívkám byly měřeny metodou DXA parametry na vřetenní kosti a na lebce. Hodnoty na lebečních kostech byly měřeny z důvodu, že jedna studie zjistila úbytek BMC u GYM ve srovnání s plavci a negymnasty. Tento trend byl přisuzován mobilizaci minerálů do jiných, vysoce zatěžovaných částí skeletu. Scerpella et al. ale nezjistili žádné signifikantní rozdíly mezi GYM a KON, ani při srovnání výsledů na začátku a na konci studie.

Převážně prepubertální pohybová aktivita GYM měla opět pozitivní důsledky na vřetenní kost. V ultradistální i třetinové vzdálenosti byly zvednuty parametry BMD, BMC i celková plocha průřezu kostí. Po ukončení tréninků byly sledovány mírné dočasné poklesy v kostní hustotě na epifýze i diafýze a také snížení ultradistální BMC. Po 4 letech od skončení sportovní gymnastiky byly však všechny hodnoty stále zvýšené. (76)

Scerpella et al. v jiné studii srovnávali gymnastky, které skončily během období menarche, s těmi, které po první menstruaci ještě pokračovaly se cvičením. Výsledky porovnali s KON. Měřili BMD, BMC a plochu vřetenní kosti. Zjistili, že u dívek trénujících postmenarcheálně se stále zvyšují skeletální benefity a jejich kosti jsou ještě pevnější. Dívky, které již skončily, si uchovaly zvýšené hodnoty alespoň po dobu dvou let. (69)

Zatím jediná studie, která se zabývá sportovnicemi gymnastkami dvě a půl dekády od ukončení trénování, byla vytvořena Pollockem et al. Sledovali, zda jejich zvýšená kostní hustota 15 let po ukončení tréninků přetrvává ještě dalších 9 let ve srovnání s KON. Do výzkumu se zapojilo 16

exGYM, které začaly cvičit v 11 letech a trénovaly i po menarce, průměrně do patnácti let. Zjistil, že i po 24 letech stále přetrvávají nadbytky v kostní hustotě. Procentuální změny v BMD během devíti let byly u obou skupin bez významných rozdílů. Bývalé gymnastky si uchovály zvýšenou hustotu na všech měřených částech skeletu: v proximálním femuru o 8 %, v jeho krčku o 12 %, na horní končetině o 14 % a na dolní o 10 %. Ve srovnání s fotbalisty, kteří si také uchovávají zvýšenou BMD v proximálním femuru a celkově na kostech dolní končetiny, gymnastkám tyto benefity vydrží déle po skončení cvičení. Fotbalisté mají zvýšenou kostní hustotu do dvaceti let od zanechání svého sportu, ale po dvaceti letech, když je jim víc než 50 let, už skeletální benefity nepozorujeme. Tyto rozdíly mohou být dány i věkem zúčastněných, takže je určité riziko, že exGYM budou mít jednu stejnou hodnotu jako KON. (70)

Zanker et al. pozorovali, zda benefity v kostní tkáni přetrvávají u 23 bývalých sportovních gymnastek, které po skončení kariéry před 3–12 lety neprováděly pohybovou aktivitu víc než 2,5 hodiny týdně. GYM cvičily alespoň 3 roky před a 2 roky po menarce, 12–16 hodin týdně. S tréninky začaly mezi 5. a 11. rokem a cvičily průměrně 11 let. Věk sportovkyň se pohyboval mezi 20 a 32 lety. Byly porovnávány s dívkami, které se kromě hodin tělesné výchovy nikdy neangažovaly ve sportovních aktivitách. Zachovaly si zvýšené hodnoty BMD v celkovém skeletu o 6 %, v celém femuru o 11 %, v jeho krčku o 9 % a v bederních obratlích o 10 %, na horních končetinách o 9 %, na dolních končetinách o 7 % a v pánvi o 8 % než u kontrolní skupiny. (77)

Vůbec první studii, která sleduje dlouhodobě změny v kostní hustotě u bývalých gymnastek, provedli Kudlack et al. Devět dvacetiletých gymnastek se zúčastnilo měření metodou DXA ještě v době, když se plně angažovaly v závodní gymnastice. Po čtyřech letech, když byly alespoň jeden rok od ukončení kariéry, byly opět provedeny snímky kostí. Po celou dobu byly porovnávány s nesportujícími dívkami, které byly v průměru o 4 roky starší. ExGYM začaly cvičit minimálně čtyři roky před menarce, kterou uvedly v 15 letech a trénovaly intenzitou 20 hodin týdně. Na začátku studie měly vyšší hodnoty BMD v celkovém skeletu, v proximálním femuru, ale v bederní páteři nebyly oproti KON významné změny. Po čtyřech letech si exGYM stále uchovávaly zvýšenou BMD v celkovém skeletu o 5 % a v proximálním femuru o 16%, ale v bederních obratlích nebyly mezi skupinami významné změny, když exGYM stále profitovaly víc. Podobně tomu bylo i u BMC. Celková plocha obratlů byla o 5 % větší u exGYM a tyto změny přetrvaly po celou dobu studie. Roční změny v BMD a BMC byly na jednotlivých částech skeletu u obou skupin srovnatelné, jen v bederní páteři byl zjištěn větší pokles u gymnastek. (63)

5.3 Vliv amenorrhoe na změny v kostní tkáni v dospělosti

U GYM se často vyskytují zjevné příznaky hypoestrogenismu, jako jsou opožděné menarche a menstruační dysfunkce. Primární amenorrhoea se objevuje přibližně u 15–20 % gymnastek. Sekundární amenorrhoea se vyskytuje u 40–60 %.

Produkce estrogenu po začátku puberty je negativně spojována s velikostí dřevňové dutiny a naopak pozitivně s tloušťkou kortikalis. Tyto fakta naznačují tomu, že nízké hladiny estrogenu způsobují periostální expanzi, ale redukují endokortikální apoziční u rostoucích dívek. Opožděné menarche je tedy spojováno s mírně většími kostmi, ale i s tenčí kortikalis a sníženou trabekulární hustotou. Pozdní nástup puberty souvisí s pozdějším uzávěrem růstových štěrbin, to umožňuje delší čas pro růstový spurt a následné zvětšení kostí.

Estrogen potencuje osteogenetický efekt mechanické zátěže na endostální a trabekulární kostní hmotu. Tuto teorii potvrzuje i fakt, že gymnastky, které měly dostatečnou hladinu během své kariéry, měly větší trabekulární hustotu a tendenci k menší dřevňové dutině. Přes výskyt amenorrhoe se u adolescentních či již dospělých gymnastek zaznamenala větší BMD než u normálně aktivních žen nebo těch, které provozovaly méně osteogenetické aktivity, například běh či volejbal. Předpokládá se, že zatěžování kostí při sportovní gymnastice, které je až jedenáctinásobně větší než tíha těla, může zvrátit negativní účinky hypoestrogenismu.

Účinky amenorrhoe na kostní tkáň u bývalých sportovních gymnastek zkoumali Ducher et al. Dvacet čtyři exGYM ve věku 17–36 let, trénovaly během růstu (dětství a adolescence) alespoň čtyři roky s intenzitou tréninků na vrcholu své kariéry nejméně 15 hodin týdně a od ukončení sportu uběhlo 3–18 let. Polovina z nich měla amenorrhoeu a druhá polovina byla bez obtíží. Tyto dvě skupiny byly porovnávány mezi sebou a ještě s kontrolní skupinou. Zaměřil se na důsledky v periferním a axiálním skeletu.

Průměrný věk menarche všech gymnastek byl 14,9 let. Ty, které neudávaly žádné menstruační potíže, měly první menstruaci v 13,3 letech a ty, které měly amenorrhoeu, jí měly v 16,4 letech, jedna z nich dokonce až v 19 letech. Dívky kontrolní skupiny uvedly věk 12,2 roku. Významný rozdíl u sportovkyň byl v intenzitě tréninku během vrcholu kariéry, kdy dívky s menstruačními potížemi trénovaly téměř třikrát intenzivněji.

ExGYM, které měly buď primární či sekundární amenorrhoeu měly často srovnatelné hodnoty kostních parametrů s nesportujícími dívkami. Trabekulární hustota na distálním radiu a tibii, dále BMC a BMD na bederních obratlích byly bez výrazných rozdílů, ale podstatně menší než u gymnastek bez menstruačních potíží. Změny mezi skupinami byly nejvýznamnější na vřetenní kosti. ExGYM s amenorrhoeou v osobní anamnéze měly v porovnání se zbývajících

dvěma skupinami největší obvod jak epifýzy, tak diafýzy, plocha průřezu skrz kortikalis byla oproti kontrolní skupině větší, ale menší ve srovnání se zdravými gymnastkami a tloušťku kortikalis v oblasti diafýzy měly oproti oběma signifikantně ztenčenou. Tyto fakta jsou v korelaci s měřeními u premenopauzálních žen s opožděným menarche, které měly zvětšený průměr kostí a ztenčenou kortikalis. Zmíněné sportovkyně s dřívější menstruační dysfunkcí kompenzují ztenčení kortikalis rozšířením kostí. (78)

Gymnastkami s amenoreou se zabývaly také Helge et Kanstrup, ale ještě u sportujících a ne bývalých sportovkyň. Porovnávaly malou skupinou dívek o 6 sportovních gymnastkách, 5 moderních gymnastkách a 6 nespportujících dívek ve věku 15–20 let. 3 GYM měly amenoreu a 2 oligomenoreu, další dvě skupiny zaznamenaly každá po jedné dívce s oligomenoreou. Všechny gymnastky trénovaly intenzitou víc než 15 hodin týdně a dívky kontrolní skupiny se neangažovaly ve sportovních aktivitách víc než 4 hodiny týdně. I přes menstruační dysfunkci si sportovní gymnastky vytvořily větší kostní hustotu než KON. (79)

6 DOTAZNÍKOVÁ ŠETŘENÍ

6.1 Dotazník pro bývalé sportovní gymnastky

Dotazník určený pro bývalé vrcholové sportovní gymnastky vyplnilo 13 respondentek z 13. Průměrný věk exGYM byl 46 let (rozmezí 43–50) a žádná neudala menopauzu. Všechny gymnastky patřily do reprezentačního týmu bývalého Československa. Zjišťovali jsme, s jakou intenzitou, na jaké úrovni a v jakém období trénovaly a jestli se po ukončení kariéry angažovaly v nějakém dalším sportu a kolik průměrně hodin pohybové aktivity mají v současné době. Ptali jsme se i na nynější zaměstnání pro zjištění, jestli během profesního života zatěžovaly skelet nárazy na kosti i během všedního dne. Dále jsme zjišťovali osobní anamnézu ohledně fraktur a také rodinou anamnézu pro posouzení genetického dopadu na jejich kosti, zda jejich maminky měly časté zlomeniny nebo už manifestní choroby ze snížené hustoty, například osteoporózu. Dalším tématem v dotazníku byla gynekologická anamnéza, zajímal nás věk menarche a jestli měly během sportovní kariéry menstruační dysfunkci, která bývá u vrcholových sportovkyň častá. Poslední otázka byla nepovinná a odpovědělo jí 12 exGYM.

Průměrný věk začátku sportovní kariéry byl 5 let (3–8) a konce 20 let (16–29). Intenzita tréninků byla přibližně 35,5 hodin týdně, v rozmezí 22,5 až 50 hodin. Všechny sportovkyně se umísťovaly na předních pozicích na mezinárodních závodech. Šest exGYM byly bývalými olympioničkami, ostatní závodily na světových či evropských soutěžích. Po ukončení gymnastické kariéry pokračovaly jen dvě z nich v jiných sportovních aktivitách, konkrétně v kulturistice a aerobiku. Deset exGYM uvedlo buď jen rekreační sporty, nebo žádné. V současné době, průměrně 26 let od ukončení kariéry, měla víc než polovina exGYM pohybovou aktivitu nad dvě hodiny týdně (3–7). Většina exGYM měla zaměstnání, nezatěžující kosti a 3 uvedly jako svou profesi trenérství sportovní gymnastiky.

Šest exGYM nemělo nikdy žádnou zlomeninu. Tři uvedly zlomeniny v krátkých kostech nohy (v 11 a 17 letech) a 1 nespecifikovaně v oblasti malíčku v 17 letech. 2 gymnastky měly v 18 a 19 letech zlomeninu dolních hrudních obratlů bez uvedené etiologie a u zbývajících dvou se zvlášť vyskytla zlomenina v oblasti lokte a kolene. Bohužel nebyl vždy uveden věk sportovkyň pro bližší analýzu.

Všechny exGYM měly primární amenoreu. Průměrný věk menarche byl 17,7 let, rozmezí od 15 do 20 let. Šest mělo během sportovní kariéry také menstruační dysfunkci, některé uvedly nepravidelnost cyklu.

Na konci dotazníku jsme se ptali, jestli děti exGYM pokračovaly ve stejné sportovní dráze. Z 12 mělo 11 své děti ve věku, když už mohly cvičit sportovní gymnastiku. Devět maminek uvedlo, že děti ve stejném sportu pokračovaly, pouze 2 exGYM své potomky na sportovní gymnastiku nepřivedly.

6.2 Dotazník ohledně poruch příjmu potravy

Pro nahlédnutí do problematiky PPP u českých sportovních gymnastek, jsme dotázali 49 GYM, jestli během své sportovní kariéry měly mentální anorexii či bulimii. Odpovědělo 38 sportovkyň, z nichž jednu jsme museli vyřadit, protože se jednalo o moderní gymnastku. Třicet sedm GYM bylo širokého věkového rozmezí, od 16 do 31 let, průměrně 22 let. Všechny cvičily vrcholově v rozmezí let 1997–2002, průměrně 12,5 roku, nejméně 5 a nejvíc 23 let. Devět GYM již skončilo a 28 se nadále věnuje závodnímu sportu. Z celkového počtu měly 4 gymnastky PPP; 2 mentální bulimii, 1 mentální anorexii a 1 svou poruchu blíže nespecifikovala. Z uvedených čtyř, 3 sportovkyně nezapadaly do průměru skupiny, dvě cvičily i po 20. roce života a jedna trénovala podprůměrně krátkou dobu. Z naší studie vyplývá, že prevalence PPP u českých GYM je téměř 11 %.

7 DISKUZE

Několik pediatrických studií zaznamenalo u sportovních gymnastek výhody v kostní hmotě oproti jejich vrstevnicím. (11, 17, 48, 51, 54, 57, 58, 65-67, 71-74, 79) Již méně autorů zkoumalo, jestli benefity ve skeletu přetrvávají do dospělosti a tedy zda zatěžování kostí ve sportovní gymnastice v období dětství a adolescence může sloužit jako prevence onemocnění kostí ze snížené pevnosti, která nastává po menopauze, jako následek deplece estrogenu a dalších proteoanabolických hormonů. (47, 63, 64, 66, 69, 70, 75, 76, 78)

Zhodnocení prospektivních, retrospektivních, longitudinálních a průřezových studií je vzhledem k jejich rozdílné metodice poměrně komplikované. Různé studie se zabývaly gymnastkami odlišného věku, někdy v moc velkém věkovém rozmezí nebo s příliš malým počtem hodnocených jedinců. Autoři provádějící studie před delší dobou hodnotili najednou velké části skeletu, například celé jednotlivé končetiny, zatímco studie přibližně pět let staré se zabývaly již místně specifickými změnami, například konkrétně diafýzou a epifýzou radia. Také metody měření nebyly jednotné. Část studií bylo provedeno přístrojem DXA, který zjišťuje dvojdimenzionální parametry jako aBMD a BMC, zatímco jiné studie použily metodu pQCT ke zjištění kostní geometrie, architektury kosti. Pouze jedna studie zkoumala mikroarchitektoniku kosti, například tloušťku trabekul a prostor mezi nimi.

Již zmíněných čtrnáct autorů se zabývalo změnami kostních parametrů ještě sportujících gymnastek. Největší pozitivní změny v kostních parametrech ve srovnání s nespportujícími dívkami, ale také s atletkami a hráčkami vodního póla nastaly na předloketních kostech. Horní končetiny jsou při sportovní gymnastice zatěžovány způsobem, se kterým se nesetkáme u žádných jiných aktivit. Jsou na ně kladeny obrovské síly, například během cvičení na přeskoku, při nárazech a odrazech u akrobatických prvků na kladině a prostných, ale také na ně působí síly tahové a torzní na bradlech. Předloktí nese při častých dopadech tíhu celého těla a působí na něj reakční síla podložky až 4 krát větší než je hmotnost těla. (56) Proto se zabývalo nejvíc autorů adaptacemi kostní tkáně na předloketních kostech, kde lze pozorovat nejlépe kostní změny z gymnastické zátěže. Radius byl víc ve středu zájmu, protože absorbuje převážnou většinu sil.

5 autorů se zabývalo předloketními kostmi, z nichž pouze 1 měřil současně radius i ulnu. Dva autoři zjistili podobné výsledky u premenarcheálních gymnastek. Na ultradistálním radiu byla zvýšena kostní hustota, ale geometrie zůstala beze změn, zatímco proximálně se rozměry kosti zvětšily. (51, 71) Burt et al., který měřil adaptace i na ulně, zjistil, že distálně nastaly větší změny na radiu, ale v oblasti diafýzy se oproti KON víc zvětšila ulna. (71) Může to být dáno tím, že když na diafýzu působí ohybové a torzní síly, absorbuje je hlavně loketní kost, která má na diafýze větší

obvod než vřetenní kost a reaguje na osteogenetické stimuly větší mírou. Další 3 autoři se zabývali již i staršími GYM. Zjistili, že s postupnou pohlavní zralostí se přes stadium Tanner I a II začala postmenarcheálně měnit i kostní geometrie na distální metafýze, která expandovala do šířky. (54) (57, 72) Premenarcheálně se tedy mění se zatěžováním kostí geometrie na diafýzách předloketních kostí a distální epifýzy začínají podléhat mechanickým stimulům periostální apozicí až v peri- a postpubertálním období. Studie provedené na kostech předloktí přinesly zjištění, že konkrétně distální radius neodpovídá tvrzení, že při začátku tréninku před pubertou nastávají změny převážně v geometrii a po pubertě v hustotě. (63, 64)

Pouze jediná studie se zabývala mikroarchitektonikou kosti, kterou lze měřit magnetickou rezonancí s vysokým rozlišením. Tato metoda přinesla zjištění, že tibia je schopná značné plasticity. Objevily se statisticky významné adaptace v trabekulární hustotě, počtu trabekul i v menších prostorách mezi nimi. Výsledky z DXA již tak značné benefity neprokázaly, hodnoty byly zvětšeny o 10% oproti KON. (11) Naopak významné zjištění přinesla pQCT, která zjistila ve 4 % distanci tibie až o 60 % pevnější kost proti axiální kompresi díky zvýšené trabekulární hustotě o 37 %. (54) Gymnastky měly téměř dvakrát pevnější distální tibií než atletky, což by je mělo ochránit před stresovými frakturami, které se nejčastěji vyskytují v posteriorním regionu distální tibie. (53, 54) Tato oblast je důležitá pro hodnocení případného přetěžování v rámci triády sportovkyň, proto by se měla měřit mikroarchitektonika také zde.

Fraktury proximálního femuru jsou jedny z nejhorších komplikací osteoporózy. Mortalita do jednoho roku je až v 20–25 %. (2) Zatěžováním kostí během růstu a adolescence se dosáhne vyšší špičkové kostní hustoty a tím lze předcházet v pozdějším věku komplikacím ze snížené kostní pevnosti. Ve čtyřech studiích se popisovaly rozdíly v kostních parametrech gymnastek a dívek kontrolních skupin. Dvě studie zjistily podobné výsledky, když porovnávaly procentuální rozdíly v BMC u GYM a KON v různém stadiu pohlavní zralosti. Gymnastky Tanner I měly největší zisky v kostním minerálu, zatímco Tanner II nezaznamenaly rozdíl oproti kontrolní skupině, ale po menarche projevíly sportovkyně opět tendenci k převaze v BMC nad KON. (72, 73) Dva autoři také zjistili stejné adaptace v geometrii krčku femuru, kdy jeho pevnost byla zvýšena převážně ztluštěním kortikalis i přes téměř žádné změny v obvodu kosti. (17, 72) Adaptace svědčí pro endokortikální apozici kostní tkáně a minimální periostální přírůstky. Takový efekt má na kost estrogen. (78) GYM však zaznamenaly tyto změny v Tanner I, II i III. Zatěžování kostí ve sportovní gymnastice způsobilo stejné změny v architektonice kosti, které by potencoval estrogen po menarche, i když tyto přestavby nastaly již u sportovkyň bez estrogení stimulace.

Bederní obratle jsou další rizikovou částí skeletu pro osteoporotické zlomeniny. Při nárazech na dolní a horní končetiny se síla přenáší také na páteř a jsou indukovány změny v kostní tkáni. Gymnastkám se přizpůsobila architektura obratlů tak, aby byly odolné proti mechanickým silám. Menší a širší obratlová těla byla ještě zpevněna výraznější kostní hustotou a obsahem kostního minerálu. (48) Nurmi-Lawton zjistil na velké skupině sportovních gymnastek širokého věkového rozmezí, že největší benefity v kostním materiálu byly ve srovnání s KON v období růstového spurtu. (67)

Ze studií sportovních gymnastek vyplívá, že odlišné části skeletu i různé regiony v rámci jedné kosti, podléhají apozici kostní tkáně v různém čase jinou mírou. To koreluje se zjištěním Cvijetiće et al., že špičková kostní hustota nabude svého vrcholu na různých částech kostry v jiném věkovém období. Různá etnika se v úrovni i v období dosažení špičkové kostní hustoty liší. Zdravé dívky ze Středního východu ji mají nižší než jejich vrstevnice Američanky. Byl také zaznamenán podstatný rozdíl mezi evropskými národy. (43) Proto by každá země/etnikum měla mít vytvořené své vlastní normy pro hodnocení T-skóre.

Retrospektivní studie prokázaly přetrvávání kostních benefitů u GYM až 24 let po ukončení sportovní kariéry. Pouze dvě studie hodnotily geometrické adaptace. Na předloktí byly ve srovnání s KON větší geometrické změny v oblasti diafýz na ulně, zatímco distálně byly větší rozdíly na radiu. Na horní končetině byly největší rozdíly oproti KON v ploše průřezu celou kostí na distální epifýze radia a pouze skrz kortikalis na humeru, kde byly také největší benefity v BMC. (47, 64) Scerpella et al. zaznamenali mírné dočasné snížení BMC a BMD na kostech předloktí v důsledku ukončení sportovní kariéry (76), ale pak už se procentuální změny v kostních parametrech ve srovnání s KON neměnily a to až po dobu devíti let. (63, 70, 76) Po 24 letech od ukončení tréninků se udržela BMD v proximálním femuru o 8 %, v jeho krčku o 12 %, na horních končetinách o 14 % a na dolních o 10 %. Fotbalisté si také uchovávají výhody v kostní tkáni na dolních končetinách po skončení sportu, ale po dvaceti letech už tyto výhody ztratí. Gymnastky ze svých benefitů mohou profitovat déle než dvě dekády života. (70) Podstatné je, jestli si pevnější kostru udrží i do období po menopauze a budou předcházet případné osteoporóze a jejím komplikacím způsobených hormonálními změnami. Proto je potřeba provést v budoucnu další studie, které by zkoumaly přetrvávání benefitů u postmenopauzálních exGYM.

Sportovní gymnastky měly často amenoreu. (11, 47, 64, 78, 79) ExGYM měly i přes opožděné menarche či menstruační dysfunkci v určitých částech skeletu stále výhody v kostní tkáni

i po ukončení své kariéry. Nejvýraznější změny ve srovnání s KON nastaly na vřetenní kosti. Měly významně větší obvod jak diafýzy, tak epifýzy a to dokonce i v porovnání s GYM bez amenorey. Plocha průřezu skrz kortikalis byla také větší než u nesportujících dívek. Jenom tloušťku kortikalis měly zmenšenou. Ducher et al. ve své studii uvádí u sportovců větší riziko stresových fraktur u jedinců se „štíhlými kostmi“, kdy je daný obvod snížený. (38) ExGym s amenoreou mají větší obvod kosti, který zvyšuje jejich pevnost a není zde vysoké riziko stresové fraktury. (78)

Také Helge et Kanstrup zjistily, že GYM s amenoreou mají stále větší kostní hustotu než KON. Bývalé gymnastky, zúčastněné naší pilotní dotazníkové studie měly všechny primární amenoreu a většina z nich udala následně i menstruační dysfunkci. Bez denzitometrických měření můžeme jen odhadovat, jaké změny v kostní tkáni nastaly právě u nich. Ve většině studií byla primární amenorea charakterizovaná absencí menstruace do 15. roku života. Profesor Lukáš Rob, přednosta motolské gynekologicko-porodnické kliniky, považuje za horní mez, kdy je potřeba sportovkyni vyšetřit 17 let a dcera nesportující matky může mít maximálně menarche opožděnou o 3 roky.

Karlsson et al. tvrdí, že délka cvičební jednotky je méně důležitá, než frekvence a míra síly zátěže. Krátké cvičení nebo malý počet opakování stačí k dosažení maximálního anabolického efektu. Mechanosenzorická funkce kostních buněk se během odpočinku obnoví, proto je nejlepší intermitentní zátěž se střídáním krátkých period cvičení a pauz. (61) Ale při zkoumání zvířat se zjistilo, že při prodloužení cvičební jednotky probíhá déle i kostní formace, která je však závislá na změnách v distribuci napětí. Farr et. al to potvrdil i u lidí, konkrétně u skupiny rostoucích dívek ve věku 8–13 let. Zjistil, že na pozitivní změny v parametrech určujících kostní pevnost, má větší vliv právě délka trvání jedné cvičební jednotky než frekvence (počet tréninků týdně) a míra zátěže (hodnocená podle reakční síly podložky). Prodloužení jednoho tréninku může mít významný osteogenetický efekt, pokud se stále mění mechanické síly působící na skelet. (1) Předpokládáme, že nejlepší osteogenetický účinek na kost má zatěžování kostí v její dlouhé ose se střídáním rozmanitých směrů a druhů působících sil. Lépe vícekrát denně, než-li pouze jednou.

V dnešní době existuje mnoho metod pro analýzu kostí, ale nejčastěji se k hodnocení BMD, BMC a kostní geometrie používá DXA a pQCT. Hlavní nevýhodou DXA je, že zatěžuje organismus radiační dávkou. Její přednosti jsou v odolnosti proti nežádoucím pohybům hodnoceného a je vhodná k opakovatelnému měření pro longitudinální studie. Je také volbou pro hodnocení osteopenie či osteoporózy u dospělých. Naproti tomu pQCT je méně dostupnou

metodou. Je citlivá na pohyb, protože skenuje velmi tenké řezy v určité části kosti a je nesnadné dostat výsledky přesně ze stejného místa jednak u různých jedinců, tak v rámci jednoho člověka sledovaného dlouhodobě. Výhody pQCT jsou v možnosti hodnocení geometrie, teoretické kostní pevnosti a ve schopnosti rozlišit trabekulární a kortikální tkáň.

Ve studiích, které zmiňujeme v práci, se často setkáváme s odvozenými parametry z DXA, které se primárně měří metodou pQCT. Naskytuje se otázka, jestli tyto hodnoty spolu korelují a do jaké míry a zda-li můžeme odvozené výsledky brát jako relevantní.

Dowthwaite et al. se ve své studii porovnával odvozené hodnoty kostních parametrů a geometrie z DXA s výsledky z pQCT na metafýze a diafýze vřetenní kosti. Ve většině měření se prokázala pozitivní souvztažnost. Korelace byly větší v oblasti diafýzy než na metafýze a to z důvodu, že ultradistální oblast měřená u DXA je většího rozsahu než tenké skeny 4 % vzdálenosti z pQCT. Ty byly umístěny v distální části ultradistálního regionu, kde má kost větší obvod. Odvozené hodnoty souhlasí s výsledky z DXA a lze je hodnotit jako relevantní. Využitelnost těchto měření má svou cenu hlavně díky široké rozšířenosti této metody. (46)

Naše pilotní dotazníková studie se zaměřila na specifickou skupinu bývalých sportovních gymnastek, které závodily na mezinárodních soutěžích. Přední umístění šesti z nich na Olympijských hrách svědčí o vybrané elitní skupině. Brzký začátek sportování společně s výrazně vyšší intenzitou tréninků a dobou trvání sportovní kariéry není srovnatelný s žádnou dosud provedenou studií. Žádné výzkumy nebyly provedeny u GYM na takové sportovní úrovni. V budoucnu by měly být provedeny studie, dokumentující efekt vrcholové sportovní gymnastiky na takové úrovni.

Pouze 4 exGYM mají v současné době pohybovou aktivitu do dvou hodin týdně, takže nestimulovaly dostatečně kostní buňky k remodelaci. Většina exGYM měla zaměstnání, nezatěžující kosti a 3 uvedly jako svou profesi trenérství sportovní gymnastiky, u nich by se dalo očekávat, že skelet stále zatěžují. Pouze 4 exGYM by byly vhodné k případné budoucí studii, která by nebyla ovlivněna mechanickým zatěžováním kostí po ukončené kariéře.

Tři exGYM uvedly frakturu krátkých kostí nohy a jedna blíže nespecifikovaně v oblasti malíčku. Fraktury metatarsů jsou varovným znamením pro přetěžování a je tedy možné, že se jednalo o stresové zlomeniny. Jedna respondentka s uvedenou lézí metatarsu měla následně ve 44 letech zlomeninu v oblasti kotníku, což by mohlo odpovídat místu nejčastějších stresových zlomenin, distální tibii. (53) Je tedy pravděpodobné, že exGYM nedosáhla adekvátní špičkové kostní hustoty na určitých místech skeletu a zlomeniny nastaly ze snížené pevnosti.

Vysoký věk menarche a následně poruchy cyklu korelují se zjištěním mnoha studií, kdy velká tělesná zátěž u sportovkyň způsobuje podobné stavy. Menarche ve stáří 20 let bylo vůbec nejpozději mezi všemi studiemi.

Děti devíti exGYM z jedenácti pokračovaly ve stejném sportu jako jejich maminky. Kunješic provedl dotazníkový průzkum mezi 115 rodiči gymnastek, ve kterém se jich dotazoval, z jakého důvodu vybrali pro své děti právě sportovní gymnastiku. Rodiče hodnotili 13 nabízených odpovědí. Nejčastěji si ji zvolili proto, aby se u dětí rozvíjely motorické schopnosti a protože je zdraví prospěšná. Druhým důvodem bylo, aby jim gymnastika pomohla k následnému uplatnění v jiném sportu. Na třetím místě skončily vyrovnaně tři odpovědi. První byla, že pravidelné tréninky je učí lépe plánovat časový plán, druhá, že nebudou trávit svůj volný čas užíváním drog a třetí, aby si získaly sebeúctu a sebedůvěru. (80)

Sportovní gymnastky patří do rizikové skupiny pro výskyt poruch příjmu potravy. (81, 82) (83) Anderson et al. dotazovali 280 GYM a 134 plavkyň/potápěček ohledně jejich stravovacích návyků a zjistil, že 6,1 % GYM má subklinické příznaky a 28,9 % trpí již PPP, podobné výsledky byly zjištěny také u plavkyň. (81) Výzkum O'Connora et al. nezjistil nijak signifikantní rozdíly mezi gymnastkami a jejich nespportujícími vrstevnicemi v počtu a frekvenci samovolně vyvolaných zvraceních, ať s přejídáním, či bez, v užívání laxancií, diuretik nebo pilulek na hubnutí. (84) Prevalence PPP je u moderních gymnastek vyšší než u sportovních gymnastek. (85)

Pro nahlédnutí do problematiky PPP u mladých českých sportovních gymnastek, jsme vytvořili dotazník. Z celkového počtu 37 GYM trpěly 4 poruchou příjmu potravy, 2 bulimií, 1 anorexií a čtvrtá neudala bližší informace. Ze sedmi GYM, které se věnovaly gymnastice i po dvacátém roce, 2 měly PPP. Pozdní ukončení kariéry se tedy zdá být rizikovým faktorem. Zajímavé bylo, že dvě exGYM zmínily problémy až po skončení sportovní kariéry v 15–16 letech, jedna měla bulimii vyžadující léčbu a druhá sklony k anorexii. Tento trend si vysvětlujeme tím, že během sportovní gymnastiky si dívky udržovaly jimi žádanou figuru sportem, ale když přestaly cvičit, začalo se jejich tělo měnit a využily jinou, patologickou metodu k udržování svého tělesného vzhledu.

Dotazníkový průzkum má své limitace, nebyla zaměřena pozornost na stejně staré GYM, ale na velkou škálu věkového rozpětí. Stejně tak počet roků, kdy cvičily gymnastiku, se lišil, což nám ale přineslo zajímavé výsledky. Měla by se v budoucnu provést studie, kde se budou hodnotit exGYM, které skončily s kariérou během puberty, během pozdní puberty a gymnastky, které vydržely cvičit déle než dvacet let.

Klinkowski et al. provedl rozsáhlý průzkum mezi elitními sportovci a nesportujícími jedinci, ve kterém zjistil, že při dotazníkovém šetření uvedlo 50 % KON příznaky PPP, zatímco sportovci pouze v 25 %. Když se však provedlo klinické vyšetření, zjistila se opačná tendence, kdy 6,9 % sportovců mělo PPP, ale u nesportujících jedinců byl výskyt pouze v 2,3 %. (86) Klinické vyšetření je tedy relevantnější než dotazníkové šetření, ale je také komplikovanější pro provedení.

8 ZÁVĚR

Celkem 15 studií se zaměřilo na výzkum kostní hmoty stále aktivních sportovních gymnastek, 8 studií bylo provedeno po několika letech od ukončení tréninků. Převážná většina autorů se přiklání k názoru, že během trénování v dětství a adolescenci dochází u sportovních gymnastek k vyššímu nárůstu kostní hustoty a změně architektiky kostí vedoucí ke zvýšené pevnosti ve srovnání s jejich nesportujícími vrstevnicemi. Vzhledem k vyšší špičkové kostní hustotě mají gymnastky nižší riziko fraktur z důvodu křehkosti kostí. Sportovkyně si uchovávají zvýšenou kostní pevnost i 24 let po ukončení sportovní kariéry a lze očekávat, že v postmenopauzálním věku budou méně ohroženy osteoporotickými frakturami.

Sportovní gymnastika je nejen prospěšná pro jedince s geneticky menšími předpoklady pro dosažení adekvátní špičkové kostní hustoty, ale u sportovkyň rozvíjí také motorické, koordinační a balanční schopnosti. Trénování na vrcholové úrovni však může mít určitá rizika.

Výsledky našeho dotazníkového šetření zaměřeného na bývalé vrcholové sportovní gymnastky nebyly srovnatelné s žádnou dostupnou studií. V budoucnu by měly být provedeny denzitometrické výzkumy i u elitních bývalých gymnastek podobné úrovně a věku.

Ze druhého dotazníkového průzkumu vyplívá, že u 4 gymnastek z celkového počtu dotázaných 37 ve věku 16–31 let se projeví poruchy příjmu potravy.

9 REFERENČNÍ SEZNAM

1. Farr JN, Blew RM, Lee VR, Lohman TG, Going SB. Associations of physical activity duration, frequency, and load with volumetric BMD, geometry, and bone strength in young girls. *Osteoporos Int.* 2011 May;22(5):1419-30.
2. Sanchez-Riera L, Wilson N, Kamalaraj N, Nolla JM, Kok C, Li Y, et al. Osteoporosis and fragility fractures. *Best Pract Res Clin Rheumatol.* 2010 Dec;24(6):793-810.
3. Lopez E, Ibarz E, Herrera A, Mateo J, Lobo-Escolar A, Puertolas S, et al. A mechanical model for predicting the probability of osteoporotic hip fractures based in DXA measurements and finite element simulation. *Biomed Eng Online.* 2012;11:84.
4. Feng X, McDonald JM. Disorders of bone remodeling. *Annu Rev Pathol.* 2011;6:121-45.
5. Dylevský I. Funkční anatomie. 1. ed. Praha: Grada Publishing; 2009. p. 72-3.
6. Dylevský I. Obecná kineziologie. 1. ed. Praha: Grada Publishing; 2007. p. 107-8.
7. Dylevský I. Obecná kineziologie. 1. ed. Praha: Grada Publishing; 2007. p. 109.
8. Čihák R. Anatomie 1. 2 ed. Praha: Grada Publishing; 2001. p. 61-2.
9. Dylevský I. Obecná kineziologie. 1. ed. Praha: Grada Publishing; 2007. p. 117-8.
10. Dylevský I. Obecná kineziologie. 1. ed. Praha: Grada Publishing; 2007. p. 113.
11. Modlesky CM, Majumdar S, Dudley GA. Trabecular bone microarchitecture in female collegiate gymnasts. *Osteoporos Int.* 2008 Jul;19(7):1011-8.
12. Dylevský I. Funkční anatomie. 1. ed. Praha: Grada Publishing; 2009. p. 74.
13. Barrett KE, Barman Susan M., Boitano Scott, Brooks Heddwen L. Ganong's review of medical physiology. 23. ed: The McGraw-Hill Companies; 2010. p. 372.
14. Henriksen K, Bollerslev J, Everts V, Karsdal MA. Osteoclast activity and subtypes as a function of physiology and pathology--implications for future treatments of osteoporosis. *Endocr Rev.* 2011 Feb;32(1):31-63.
15. Dylevský I. Funkční anatomie. 1. ed. Praha: Grada Publishing; 2009. p. 82-3.
16. Dylevský I. Obecná kineziologie. 1. ed. Praha: Grada Publishing; 2007. p. 104.
17. Maimoun L, Coste O, Mariano-Goulart D, Galtier F, Mura T, Philibert P, et al. In peripubertal girls, artistic gymnastics improves areal bone mineral density and femoral bone geometry without affecting serum OPG/RANKL levels. *Osteoporos Int.* 2011 Dec;22(12):3055-66.
18. Dylevský I. Obecná kineziologie. 1. ed. Praha: Grada Publishing; 2007. p. 106.
19. Vyskočil V. Osteoporóza a ostatní nejčastější metabolická onemocnění skeletu. 1. ed. Praha: Galén; 2009. p. 20.
20. Dylevský I. Funkční anatomie. 1. ed. Praha: Grada Publishing; 2009. p. 79.
21. Vyskočil V. Osteoporóza a ostatní nejčastější metabolická onemocnění skeletu. 1. ed. Praha: Galén; 2009. p. 21-2.
22. Vyskočil V. Osteoporóza a ostatní nejčastější metabolická onemocnění skeletu. 1. ed. Praha: Galén; 2009. p. 7-9.
23. Silbernagl S, Lang F. Atlas patofyziologie. 2 ed. Praha: Grada; 2012. p. 296.
24. Barrett KE, Barman Susan M., Boitano Scott, Brooks Heddwen L. Ganong's review of medical physiology. 23 ed: The McGraw-Hill Companies; 2010. p. 313.
25. Vyskočil V. Osteoporóza a ostatní nejčastější metabolická onemocnění skeletu. 1. ed. Praha: Galén; 2009. p. 25.
26. Barrett KE, Barman Susan M., Boitano Scott, Brooks Heddwen L. Ganong's review of medical physiology. 23. ed: The McGraw-Hill Companies; 2010. p. 371.
27. Barrett KE, Barman Susan M., Boitano Scott, Brooks Heddwen L. Ganong's review of medical physiology. Calcium & phosphorus metabolism. 23. ed: The McGraw-Hill Companies; 2010. p. 364-7.
28. Valenta M. Základy výživy. [Učební materiál pro odborné kurzy]. In press 2008.

29. Kalantar-Zadeh K, Gutekunst L, Mehrotra R, Kovesdy CP, Bross R, Shinaberger CS, et al. Understanding sources of dietary phosphorus in the treatment of patients with chronic kidney disease. *Clin J Am Soc Nephrol*. 2010 Mar;5(3):519-30.
30. Vacek TP, Kalani A, Voor MJ, Tyagi SC, Tyagi N. The role of homocysteine in bone remodeling. *Clin Chem Lab Med*. 2013 Mar 1;51(3):579-90.
31. Tyagi N, Kandel M, Munjal C, Qipshidze N, Vacek JC, Pushpakumar SB, et al. Homocysteine mediated decrease in bone blood flow and remodeling: role of folic acid. *J Orthop Res*. 2011 Oct;29(10):1511-6.
32. Sato Y, Honda Y, Iwamoto J, Kanoko T, Satoh K. Effect of folate and mecobalamin on hip fractures in patients with stroke: a randomized controlled trial. *JAMA*. 2005 Mar 2;293(9):1082-8.
33. Keser I, Ilich JZ, Vrkic N, Giljevic Z, Colic Baric I. Folic acid and vitamin B12 supplementation lowers plasma homocysteine but has no effect on serum bone turnover markers in elderly women: a randomized, double-blind, placebo-controlled trial. *Nutr Res*. 2013 Mar;33(3):211-9.
34. van Wijngaarden JP, Doets EL, Szczecinska A, Souverein OW, Duffy ME, Dullemeijer C, et al. Vitamin B12, folate, homocysteine, and bone health in adults and elderly people: a systematic review with meta-analyses. *J Nutr Metab*. 2013;2013:486186.
35. Anderson CA, Jee SH, Charleston J, Narrett M, Appel LJ. Effects of folic acid supplementation on serum folate and plasma homocysteine concentrations in older adults: a dose-response trial. *Am J Epidemiol*. 2010 Oct 15;172(8):932-41.
36. Thein-Nissenbaum JM, Carr KE. Female athlete triad syndrome in the high school athlete. *Phys Ther Sport*. 2011 Aug;12(3):108-16.
37. Zadpoor AA, Nikooyan AA. The relationship between lower-extremity stress fractures and the ground reaction force: a systematic review. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*. 2011 Jan;26(1):23-8.
38. Ducher G, Turner AI, Kukuljan S, Pantano KJ, Carlson JL, Williams NI, et al. Obstacles in the optimization of bone health outcomes in the female athlete triad. *Sports Med*. 2011 Jul 1;41(7):587-607.
39. Růžičková. Jak zlepšit diagnostiku osteoporózy. *Practicus*. 2013;1:3.
40. Hernandez CJ, Keaveny TM. A biomechanical perspective on bone quality. *Bone*. 2006 Dec;39(6):1173-81.
41. Riggs BL, Hodgson SF, O'Fallon WM, Chao EY, Wahner HW, Muhs JM, et al. Effect of fluoride treatment on the fracture rate in postmenopausal women with osteoporosis. *N Engl J Med*. 1990 Mar 22;322(12):802-9.
42. Vyskočil V. Osteoporóza a ostatní nejčastější metabolická onemocnění skeletu. 1. ed. Praha: Galén; 2009. p. 2-4.
43. Cvijetic Avdagic S, Colic Baric I, Keser I, Rumbak I, Satalic Z. Influence of heredity and environment on peak bone density: a review of studies in Croatia. *Arh Hig Rada Toksikol*. 2012;63 Suppl 1:11-6.
44. Boot AM, de Ridder MA, van der Sluis IM, van Slobbe I, Krenning EP, Keizer-Schrama SM. Peak bone mineral density, lean body mass and fractures. *Bone*. 2010 Feb;46(2):336-41.
45. Modlesky CM, Lewis RD. Does exercise during growth have a long-term effect on bone health? *Exerc Sport Sci Rev*. 2002 Oct;30(4):171-6.
46. Douthwaite JN, Flowers PP, Scerpella TA. Agreement between pQCT- and DXA-derived indices of bone geometry, density, and theoretical strength in females of varying age, maturity, and physical activity. *J Bone Miner Res*. 2011 Jun;26(6):1349-57.
47. Ducher G, Hill BL, Angeli T, Bass SL, Eser P. Comparison of pQCT parameters between ulna and radius in retired elite gymnasts: the skeletal benefits associated with long-term gymnastics are bone- and site-specific. *J Musculoskelet Neuronal Interact*. 2009 Oct-Dec;9(4):247-55.

48. Dowthwaite JN, Rosenbaum PF, Scerpella TA. Mechanical loading during growth is associated with plane-specific differences in vertebral geometry: A cross-sectional analysis comparing artistic gymnasts vs. non-gymnasts. *Bone*. 2011 Nov;49(5):1046-54.
49. Engelke K, Libanati C, Liu Y, Wang H, Austin M, Fuerst T, et al. Quantitative computed tomography (QCT) of the forearm using general purpose spiral whole-body CT scanners: accuracy, precision and comparison with dual-energy X-ray absorptiometry (DXA). *Bone*. 2009 Jul;45(1):110-8.
50. Vyskočil V. Osteoporóza a ostatní nejčastější metabolická onemocnění skeletu. 1. ed. Praha: Galén; 2009. p. 69-70.
51. Dowthwaite JN, Flowers PP, Spadaro JA, Scerpella TA. Bone geometry, density, and strength indices of the distal radius reflect loading via childhood gymnastic activity. *J Clin Densitom*. 2007 Jan-Mar;10(1):65-75.
52. Vyskočil V. Osteoporóza a ostatní nejčastější metabolická onemocnění skeletu. 1. ed. Praha: Galén; 2009. p. 67-9.
53. Schnackenburg KE, Macdonald HM, Ferber R, Wiley JP, Boyd SK. Bone quality and muscle strength in female athletes with lower limb stress fractures. *Med Sci Sports Exerc*. 2011 Nov;43(11):2110-9.
54. Greene DA, Naughton GA, Bradshaw E, Moresi M, Ducher G. Mechanical loading with or without weight-bearing activity: influence on bone strength index in elite female adolescent athletes engaged in water polo, gymnastics, and track-and-field. *J Bone Miner Metab*. 2012 Sep;30(5):580-7.
55. Marković KŽ, Čavar I, Sporiš G. Changes in gymnasts motor abilities during the nine month training process of female gymnasts 5-6 years of age. *Science of Gymnastics Journal*. 2012;4(1):45 - 54.
56. Burt LA, Naughton GA, Higham DG, Landeo R. Training load in pre-pubertal female artistic gymnastics. *Science of Gymnastics Journal*. 2010;2(3):5 - 14.
57. Dowthwaite JN, Scerpella TA. Distal radius geometry and skeletal strength indices after peripubertal artistic gymnastics. *Osteoporos Int*. 2011 Jan;22(1):207-16.
58. Dowthwaite JN, Scerpella TA. Skeletal geometry and indices of bone strength in artistic gymnasts. *J Musculoskelet Neuronal Interact*. 2009 Oct-Dec;9(4):198-214.
59. Gittoes MJ, Irwin G. Biomechanical approaches to understanding the potentially injurious demands of gymnastic-style impact landings. *Sports Med Arthrosc Rehabil Ther Technol*. 2012;4(1):4.
60. Bergmann P, Body JJ, Boonen S, Boutsen Y, Devogelaer JP, Goemaere S, et al. Loading and skeletal development and maintenance. *J Osteoporos*. 2010;2011:786752.
61. Karlsson MK, Nordqvist A, Karlsson C. Physical activity increases bone mass during growth. *Food Nutr Res*. 2008;52.
62. Farr JN, Lee VR, Blew RM, Lohman TG, Going SB. Quantifying bone-relevant activity and its relation to bone strength in girls. *Med Sci Sports Exerc*. 2011 Mar;43(3):476-83.
63. Kudlac J, Nichols DL, Sanborn CF, DiMarco NM. Impact of detraining on bone loss in former collegiate female gymnasts. *Calcif Tissue Int*. 2004 Dec;75(6):482-7.
64. Eser P, Hill B, Ducher G, Bass S. Skeletal benefits after long-term retirement in former elite female gymnasts. *J Bone Miner Res*. 2009 Dec;24(12):1981-8.
65. Laing EM, Wilson AR, Modlesky CM, O'Connor PJ, Hall DB, Lewis RD. Initial years of recreational artistic gymnastics training improves lumbar spine bone mineral accrual in 4- to 8-year-old females. *J Bone Miner Res*. 2005 Mar;20(3):509-19.
66. Zanker CL, Gannon L, Cooke CB, Gee KL, Oldroyd B, Truscott JG. Differences in bone density, body composition, physical activity, and diet between child gymnasts and untrained children 7-8 years of age. *J Bone Miner Res*. 2003 Jun;18(6):1043-50.

67. Nurmi-Lawton JA, Baxter-Jones AD, Mirwald RL, Bishop JA, Taylor P, Cooper C, et al. Evidence of sustained skeletal benefits from impact-loading exercise in young females: a 3-year longitudinal study. *J Bone Miner Res.* 2004 Feb;19(2):314-22.
68. Dettler FT, Rosengren BE, Dencker M, Nilsson JA, Karlsson MK. A 5-year exercise program in pre- and peripubertal children improves bone mass and bone size without affecting fracture risk. *Calcif Tissue Int.* 2013 Apr;92(4):385-93.
69. Scerpella TA, Dowthwaite JN, Gero NM, Kanaley JA, Ploutz-Snyder RJ. Skeletal benefits of pre-menarcheal gymnastics are retained after activity cessation. *Pediatr Exerc Sci.* 2010 Feb;22(1):21-33.
70. Pollock NK, Laing EM, Modlesky CM, O'Connor PJ, Lewis RD. Former college artistic gymnasts maintain higher BMD: a nine-year follow-up. *Osteoporos Int.* 2006;17(11):1691-7.
71. Burt LA, Naughton GA, Greene DA, Ducher G. Skeletal differences at the ulna and radius between pre-pubertal non-elite female gymnasts and non-gymnasts. *J Musculoskelet Neuronal Interact.* 2011 Sep;11(3):227-33.
72. Dowthwaite JN, Rosenbaum PF, Scerpella TA. Site-specific advantages in skeletal geometry and strength at the proximal femur and forearm in young female gymnasts. *Bone.* 2012 May;50(5):1173-83.
73. Dowthwaite JN, DiStefano JG, Ploutz-Snyder RJ, Kanaley JA, Scerpella TA. Maturity and activity-related differences in bone mineral density: Tanner I vs. II and gymnasts vs. non-gymnasts. *Bone.* 2006 Oct;39(4):895-900.
74. Nickols-Richardson SM, O'Connor PJ, Shapses SA, Lewis RD. Longitudinal bone mineral density changes in female child artistic gymnasts. *J Bone Miner Res.* 1999 Jun;14(6):994-1002.
75. Erlandson MC, Kontulainen SA, Chilibeck PD, Arnold CM, Faulkner RA, Baxter-Jones AD. Higher premenarcheal bone mass in elite gymnasts is maintained into young adulthood after long-term retirement from sport: a 14-year follow-up. *J Bone Miner Res.* 2012 Jan;27(1):104-10.
76. Scerpella TA, Dowthwaite JN, Rosenbaum PF. Sustained skeletal benefit from childhood mechanical loading. *Osteoporos Int.* 2011 Jul;22(7):2205-10.
77. Zanker CL, Osborne C, Cooke CB, Oldroyd B, Truscott JG. Bone density, body composition and menstrual history of sedentary female former gymnasts, aged 20-32 years. *Osteoporos Int.* 2004 Feb;15(2):145-54.
78. Ducher G, Eser P, Hill B, Bass S. History of amenorrhoea compromises some of the exercise-induced benefits in cortical and trabecular bone in the peripheral and axial skeleton: a study in retired elite gymnasts. *Bone.* 2009 Oct;45(4):760-7.
79. Helge EW, Kanstrup IL. Bone density in female elite gymnasts: impact of muscle strength and sex hormones. *Med Sci Sports Exerc.* 2002 Jan;34(1):174-80.
80. Kunješić M. Parent's expectations towards children artistic gymnastics exercise. *Science of Gymnastics Journal.* 2012;4(2):65 - 73.
81. Anderson C, Petrie TA. Prevalence of disordered eating and pathogenic weight control behaviors among NCAA division I female collegiate gymnasts and swimmers. *Res Q Exerc Sport.* 2012 Mar;83(1):120-4.
82. Marquez S. Eating disorders in sports: risk factors, health consequences, treatment and prevention. *Nutr Hosp.* 2008 May-Jun;23(3):183-90.
83. Birrer RB, Griesemer BA, Cataletto MB. Pediatric sports medicine for primary care. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2002. p. 163.
84. O'Connor PJ, Lewis RD, Kirchner EM. Eating disorder symptoms in female college gymnasts. *Med Sci Sports Exerc.* 1995 Apr;27(4):550-5.
85. Okano G, Holmes RA, Mu Z, Yang P, Lin Z, Nakai Y. Disordered eating in Japanese and Chinese female runners, rhythmic gymnasts and gymnasts. *Int J Sports Med.* 2005 Jul-Aug;26(6):486-91.

86. Martinsen M, Sundgot-Borgen J. Higher Prevalence of Eating Disorders among Adolescent Elite Athletes than Controls. *Med Sci Sports Exerc.* 2012 Dec 27.

10 PŘÍLOHY

Příloha 1. Dotazník pro bývalé sportovní gymnastky

- 1) V jakém roce jste se narodila?
- 2) V kolika letech jste začala cvičit sportovní gymnastiku a kdy s ní skončila?
- 3) Kolik hodin týdně jste průměrně trénovala, když jste byla na vrcholu své kariéry?
(Nepočítají se celotýdenní soustředění.)
- 4) Jaké jsou Vaše nejlepší závodní výsledky? (Například účast či umístění na mistrovství republiky, mezinárodních závodech, mistrovství Evropy, světa, olympijských hrách...)
- 5) Byla jste v reprezentačním týmu?
- 6) Dělala jste po skončení sportovní gymnastiky nějaké další sporty? Prosím uveďte jaké, v kolika letech a kolik hodin týdně jste sportu průměrně věnovala.
- 7) Kolik hodin týdně máte nyní v průměru pohybovou aktivitu?
- 8) Jaké jste převážně provozovala zaměstnání v průběhu života?
- 9) Měla jste někdy zlomeninu? Pokud ano, uveďte prosím kdy a pokuste se určit místo co nejpřesněji.
- 10) Vyskytovaly se u Vaší maminky či babičky často zlomeniny? Objevila se ve Vaší rodině osteoporóza či jiné kostní onemocnění?
- 11) V kolika letech jste dostala první menstruaci?
- 12) Měla jste během sportovní kariéry problémy s menstruací? (Například vynechání cyklu po delší dobu než 3 měsíce.)
- 13) Máte za sebou menopauzu? Pokud ano, uveďte prosím, v kolika letech nastala.
- 14) Nepovinná otázka: Dělají nebo dělaly vaše děti také sportovní gymnastiku?

Příloha 2. Obrázek: ukázka zatěžování horních končetin



<http://www.thecouchgymnast.com/the-most-watched-routines-vault/>

Příloha 3. Obrázek: ukázka působení torzních sil



http://www.intlgyrnast.com/index.php?option=com_content&view=article&id=706:liukin-so-ready-for-new-goals&catid=2:news&Itemid=53 Autor: Thomas Schreyer

Příloha 4. Obrázek: ukázka dopadů z velké výšky



<http://doublepike.tumblr.com>

Příloha 5. Obrázek: ukázka působení sil v tahu



http://gymnasticsgirlz.blogspot.cz/2009/05/shawn-johnson_878.html