

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI

FAKULTA ZDRAVOTNICKÝCH VĚD

Ústav radiologických metod

Lucie Hrachovcová

## **Určení kostního věku s využitím zobrazovacích metod**

Bakalářská práce

Vedoucí práce: MUDr. Kamila Michálková

Olomouc 2015

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracovala samostatně a použila jen uvedené bibliografické a elektronické zdroje.

Olomouc 11. května 2015

-----

Děkuji MUDr. Kamile Michákové za odborné vedení mé bakalářské práce, informace, rady a doporučení, které mi během vypracování poskytla.

Dále bych chtěla poděkovat MUDr. Darině Aleksijevič, Ph.D. za rady a připomínky k první kapitole bakalářské práce a paní Marii Pavlíkové za její podnět a přístup při volbě tématu bakalářské práce.

## ANOTACE

<b>Typ závěrečné práce</b>	Bakalářská práce
<b>Téma práce</b>	Určení kostního věku u dětí a mladistvých
<b>Název práce</b>	Určení kostního věku s využitím zobrazovacích metod
<b>Název práce v AJ</b>	Determination of bone age using methods of diagnostic imaging
<b>Datum zadání</b>	2014-10-23
<b>Datum odevzdání</b>	2015-05-11
<b>Vysoká škola</b>	Univerzita Palackého v Olomouci
<b>Fakulta</b>	Fakulta zdravotnických věd
<b>Ústav</b>	Ústav radiologických metod
<b>Autor práce</b>	Hrachovcová Lucie
<b>Vedoucí práce</b>	MUDr. Michálková Kamila
<b>Oponent práce</b>	MUDr. Müllerová Irena

**Abstrakt v ČJ** Tato práce se zabývá růstem a vývojem dětí a metodami při určování kostního zrání s využitím zobrazovacích postupů. Cílem bakalářské práce je poukázat na způsoby určení zralosti kostí u dětí pomocí rentgenového vyšetření či jiných zobrazovacích postupů. Dále se práce zabývá specifikou radiodiagnostického zobrazování u dětí.

**Abstrakt v AJ** This study deals with growth and body development of children and with use of methods of diagnostic imaging to determine actual maturity of bones. Aim of the study is to compare methods of determining maturity of child bone using X-ray and using other methods of diagnostic imaging. The study deals also with specifics of X-ray imaging in children.

**Klíčová slova v ČJ** růst, vývoj, kostní věk, metody, postupy, rentgenový snímek

**Klíčová slova v AJ** growth, development, methods, procedures, radiograph

**Rozsah** 44 stran / 4 přílohy

# OBSAH

ÚVOD.....	6
1 RŮST A VÝVOJ DÍTĚTE.....	7
1.1 Fyziologie dětského růstu.....	7
1.2 Poruchy růstu.....	10
1.3 Vývoj dítěte.....	12
1.4 Růst a vývoj kostí v dětském věku.....	12
1.5 Hodnocení růstu a vývoje dítěte.....	16
2 METODY VÝPOČTU KOSTNÍHO VĚKU.....	19
2.1 Metoda Greulich a Pyleové.....	19
2.2 Metoda Tannera a Whitehouse.....	20
3 ZOBRAZOVACÍ POSTUPY V DIAGNOSTICE KOSTNÍHO VĚKU.....	23
3.1 Rentgenové vyšetření.....	23
3.2 Kostní denzitometrie.....	24
3.3 Ultrazvuk.....	25
3.4 Magnetická rezonance.....	27
4 SPECIFIKA DĚTSKÉ RADIOLOGIE.....	30
4.1 Radiační ochrana u dětí.....	30
4.2 Snímkování dětí.....	30
ZÁVĚR.....	32
REFERENČNÍ SEZNAM.....	33
SEZNAM ZKRATEK.....	34
SEZNAM TABULEK.....	35
SEZNAM OBRÁZKŮ.....	36
OBRAZOVÁ PŘÍLOHA.....	37

# ÚVOD

*V preventivní, nemocniční a klinické pediatrii je hodnocení biologického věku nedílnou součástí růstové diagnózy. Vedle somatických aspektů má kvalitní zhodnocení růstové diagnózy také značný význam psychologický (Lebl et al., 2004, s. 157).*

Ke stanovení biologického, resp. kostního věku se využívají zobrazovací metody. V dnešní době se radiologický asistent s tímto pojmem může často setkávat. Na základě rentgenového snímku (popř. jiného zobrazovacího postupu) jenž radiologický asistent zhotoví, vyhodnocuje lékař (radiolog, pediatr či endokrinolog) kostní věk. Proto by radiologický asistent měl mít alespoň rámcovou představu, proč se toto vyšetření provádí, jaký je jeho účel a případně jej motivovat o větší zájem k tomuto tématu.

Bakalářská práce odpovídá na otázky:

- Jaký je rozdíl mezi biologickým a kostním věkem?
- Jaké jsou možnosti stanovení kostního věku?
- Které zobrazovací metody lze použít v diagnostice kostního věku u dětí?

Cíle bakalářské práce:

- shrnout informace ohledně růstu a vývoje u dětí, tedy i o stanovení kostního věku
- podat přehled o postupech určování kostního věku a nezastupitelné roli zobrazovacích metod v diagnostice kostního věku.

Při přípravě a tvorbě bakalářské práce byla použita tato vstupní literatura:

1. Krásničanová Hana et al., Růst dětí a jeho poruchy, Galén, 1996
2. Lebl Jan et al., Dětská endokrinologie, Galén, 2004
3. Stožický František et al., Základy dětského lékařství, Karolinum, 2006
4. Seidl Zdeněk et al., Radiologie pro studium i praxi, Grada Publishing, 2012
5. Sitzmann Friedrich Carl, Pädiatrie, Stuttgart Thieme, 2007

# 1 RŮST A VÝVOJ DÍTĚTE

Auxologie je moderní multidisciplinární obor, který se zabývá všemi aspekty lidského růstu a je také jednou ze základních metod péče o děti a dorost.

Růst a vývoj jedince jsou dány souhrou řady endogenních a exogenních faktorů prostředí, které jsou ve vzájemné interakci. Rovnováha mezi těmito faktory umožňuje kontinuální růst a vývoj jedince, který může být zároveň i dobrým indikátorem zdraví. Problematika růstu je pilířem pediatrie a péče o dětské pacienty. Posouzení růstu a pubertálního zrání je základním úkonem preventivní péče praktických dětských lékařů. Monitoring růstu a vývoje by měla součástí každého klinického vyšetření.

Pokud hovoříme o růstu, máme na mysli změny tělesných rozměrů, tedy těla jako celku (váha, výška) a nebo jeho jednotlivých částí (obvod hlavy apod.). Zde převažují změny kvantitativní. Pod pojmem vývoj máme na mysli změny kvalitativní, tedy rozvíjení schopností a funkcí (Stožický et al., 2006, s.14).

## 1.1 Fyziologie dětského růstu

Za fyziologických okolností je růst dítěte zákonitým procesem a bývá ovlivněn genetickými faktory. Výška dítěte, kterou dosáhne v dospělosti je ovlivněna a koreluje více se střední výškou obou rodičů, než s výškou jednoho z nich. Mezi další faktory, které ovlivňují růst, je pohlaví (liší se růstové tempo a pubertální růstový výšvih), stav výživy, socioekonomický stav rodiny a zdravotní stav dítěte (fyziologický růst je známkou zdraví), pohybová aktivita a sezónní vlivy (Stožický et al., 2006, s. 223).

V období od narození až do ukončení růstu rozlišujeme tři období jenž na sebe navazují a částečně se překrývají. Jedná se o infantilní období, poté následuje dětské růstové období a nakonec pubertální růstové období (Lebl et al., 2004, s. 44).

### 1.1.1 Infantilní růstové období

Začíná během nitroděložního života a trvá až do dvou let po narození. Právě v tomto období lidského života je rychlost růstu nejvyšší. Nejrychleji roste plod ve 2. trimestru. Po nástupu 3. trimestru začne růstové tempo mírně klesat. Moment narození ale není pro dynamiku růstu významný. Rychlost růstu pokračuje a zdravé dítě vyroste obvykle kolem 25 centimetrů. Ve druhém roce života přibližně 12 centimetrů. Ke konci infantilního růstového období již dítě dosahuje zhruba polovinu své budoucí dospělé výšky (Lebl et al., 2004, s. 44).

Toto období je přímým postnatálním pokračováním uterinního růstu. Platí zde jiné zákonitosti než v pozdějším období postnatálního života. Výška rodičů na růst dítěte působí jen nepřímě a vliv růstového hormonu se začíná teprve rozvíjet (Krásničanová et al., 1996, s. 16-17).

Fetální růst bývá ovlivněn endogenními a exogenními vlivy. Mezi endogenní vlivy řadíme genetický růstový potenciál. Mezi exogenní vlivy patří funkce placenty, výživa matky, embryonální a fetální infekce apod. Inzulín jako humorální faktor a růstové faktory IGF-I a IGF-II řídí fetální růst. V druhé polovině prvního roku života nastoupí komponenta dětského růstu. Růstový hormon se stává plně odpovědným za tělesný růst od druhého roku života (Stožický et al., 2006, s. 223-224).

Fetální genetický růstový potenciál je obtížně definovatelný. Humorální faktory regulují četnost buněčných dělení. V podstatě rozhodují o tom, kolikrát projde určitá buňka mitotickými cykly. Buněčný cyklus je základním atributem prenatálního růstu a růstu v infantilním růstovém období. Růstový faktor IGF-II má zásadní význam pro embryonální růst, nicméně jeho úloha v postnatálním životě je dosud nejasná. Růstový faktor IGF-I reguluje embryonální, fetální a postnatální růst (Krásničanová et al., 1996, s.17-18).

IGF-I, dříve nazývaný somatomedin C, je proteohormon, jehož molekulová struktura je podobná inzulínu. V těle je ubikvitní a působí endokrinně, parakrinně a autokrinně. Je to účinný mitogen, který ovlivňuje mnoho metabolických dějů v těle. Funguje jako mediátor mnoha účinků růstového hormonu. Také navozuje proliferaci osteoblastů a chondroblastů v oblasti růstové chrupavky. Tím umožňuje růst kosti do délky do doby, než dojde k uzavěru růstových štěrbin. Bez tohoto mitogenu nemůže růstový hormon ovlivnit růst (Krásničanová et al., 1996, s. 20-21).

### **1.1.2 Dětské růstové období**

Nastupuje na konci prvního roku života. Do druhého roku života se překrývá s infantilním růstovým obdobím. Mezi druhým rokem života a počátkem puberty dochází k plynulému a klidnému růstu dítěte. Rychlost růstu je stále mírně klesající. Ve třech letech začne klesat z 8 cm/rok až k 5 cm/rok (zpravidla poslední rok před nástupem puberty). Toto období se přibližně z 30% podílí na budoucí dospělé výšce člověka (Lebl et al., 2004, s. 44-45). U zdravých dětí, které se narodily menší a mají vyšší rodiče, porostou ve dvou letech rychleji, aby dosáhly svého, geneticky daného, percentilového pásma. U dětí, které se narodily větší a mají menší rodiče, je to obráceně. Období mírně urychleného růstu mají cyklický průběh, většinou po dvou letech. Jedná se o růstové spurty, jenž jsou způsobené



adrenálními androgeny (Stožický et al., 2006, s. 224). V tomto období se začínají uplatňovat vlivy, jenž jsou charakteristické pro celé další působení tělesného růstu. Jedná se o genetický růstový potenciál a působení osy růstový hormon – IGF-I. Doba, kdy nastupuje dětský komponent, je různá. Působením nepříznivých exogenních faktorů v tomto, poměrně kritickém období může dojít k opožděnému nástupu dětské růstové komponenty, dále k trvalému zpomalení růstu a i k menší tělesné výšce v dospělosti. Více než genetický růstový potenciál dítěte, ovlivňuje jeho výšku po narození vlivy ze strany matky. Nástupem dětské komponenty růstu se začíná uplatňovat vlastní růstový potenciál dítěte (Krásničanová et al., 1996, s. 19-20).

### **1.1.3 Pubertální růstové období**

Většinou trvá 4 až 5 let. V tomto období vyroste mladý člověk o posledních, zhruba 20% své konečné dospělé výšky (Lebl et al., 2004, s. 45). Nejdříve si vyjasněme rozdíl mezi pojmy adolescencí a pubertou. Adolescence je v podstatě proces psychosociálního zrání v širším kontextu. Jedná se o vývojový přechod mezi dětstvím a dospělostí. Začíná na počátku druhé dekády života fyzickým dospíváním, tedy pubertou. Pro ni jsou typické sociokulturní rozdíly. Ty ovlivňují její trvání a dobu, kdy dojde k dosažení plné psychosociální zralosti. Čím větší je stupeň vyspělosti populace, tím déle trvá (Krásničanová et al., 1996, s. 21).

Puberta je fyzické dospívání. Jedná se o hormonálně podmíněný proces zrání a růstového výšvihu. Řídí se jednotnými, biologickými zákonitostmi. Tyto zákonitosti určují pořadí změn a dobu jejího trvání (Krásničanová et al., 1996, s. 21).

Bývá ukončen v okamžiku, kdy je jedinec schopen reprodukce (u žen začíná první ovulací, u muže zahájením spermatogeneze). Aby tento fyziologický proces proběhl správně, je zde důležitá souhra dvou hormonálních systémů. Jedná se o osu růstového hormonu a IGF-I a osu hypofýza – gonády. Ještě během dětského růstového období nastupuje adrenarché. Je řízeno pomocí ACTH a je způsobeno produkcí androgenů z nadledvin. Nadledvinové androgeny vedou k vývoji pubického, axilárního ochlupení a stimulují tělesný růst. Po adrenarché dochází k aktivaci osy hypothalamus – hypofýza – gonády a nastupuje gonadarché. V této fázi se zvýší produkce gonadálních hormonů (estrogenů v ovariích u dívek a testosteronu v testes u chlapců). Sekrecí růstového hormonu a IGF-I v pozdější fázi puberty dochází k pubertálnímu růstovému výšvihu. U chlapců začíná kolem 12 let (udává se 12,5) a vrcholí ve 14 letech. Průměr růstové rychlosti je 10,3 cm za rok. Tělesný růst bývá u chlapců ukončen mezi 17 až 18 lety. Růstový výšvih u dívek nastupuje o dva roky dříve než u chlapců.

Pubertální růstový výšvih nastává kolem 10. roku, přičemž nejvyšší průměrná růstová rychlost je 9 cm za rok, nejčastěji ve 12 letech. Po menarché, které nastává při kostním věku 13 až 13,5 roku, vyroste dívka v průměru 7,5 cm. Růst je ukončen v 15 letech (Stožický et al., 2006, s. 224). Musíme brát ohled na skutečnost, že se růst u jednotlivých dětí navzájem liší.

U všech zdravých dětí jsou ale základní zákonitosti růstu společné (Lebl et al., 2004, s.44 - 45). Mezi hlavní fyzické změny spojené s pubertou řadíme kromě vývoje druhotných pohlavních znaků, kompletní maturace a navození dospělé funkce ledvin, testes a ovarií, také dosažení dospělého stavu vývoje skeletu, svaloviny, tukové tkáně a ukončení růstu ostatních tělesných orgánů a tkání (Krásničanová et al., 1996, s. 21-22).

## **1.2 Poruchy růstu**

Růstová retardace, označovaná také jako porucha růstu ve směru minus, je definována jako výška dítěte, jejíž hodnota leží pod 3. percentilem pro daný věk a/nebo růstová rychlost dítěte se nachází pod 25. percentilem pro daný věk. Poruchy růstu dětí rozdělujeme podle etiologie a diagnostiky do čtyř skupin (Lebl et al., 2004, s. 127).

### **1.2.1 Idiopatický menší vzrůst**

Jedná se o největší skupinu dětí s růstovou retardací. Výška je nižší než 3. percentil pro daný věk, ale rychlost růstu bývá zpravidla normální. Pro tuto skupinu je typická nepřítomnost prokazatelné zdravotní poruchy, jenž je spojena s růstovou retardací. Také chybí perspektiva dospělé výšky, která je v souladu s předpovědí podle výšky rodičů. Markery sekrece růstového hormonu, hladiny IGF-I a IGFBP-3, jsou vzhledem k biologickému věku zpravidla v normálním pásmu. V praxi se tato porucha považuje za variantu normálu a děti nejsou pro malý růst léčeny (Lebl et al., 2004, s. 127). Děti s konstitučním opožděním růstu mají opožděné kostní zrání a jejich konečná výška je v souladu s předpokladem výšky rodičů. Růst se ukončí mezi 18. až 20. rokem života (Stožický et al., 2006, s. 227).

### **1.2.2 Malý vzrůst v důsledku endokrinní poruchy**

Malý vzrůst zapříčiněný endokrinní poruchou se nazývá jako endokrinopatie. Bývá příčinou poruch růstu u dětí jen kolem 1-2%. Je však důležité jejich včasné rozpoznání a správná diagnóza. Jinak dojde k narušení růstu, nepříznivému ovlivnění celkového zdravotního stavu dítěte. Pokud je včas zahájena terapie, můžeme většinu poruch vyléčit

a dosáhnout normálních hodnot dospělé tělesné výšky u pacientů (Lebl et al., 2004, s. 129-130). Může se jednat o deficit růstového hormonu, nadbytek glukokortikoidů, předčasnou pubertu, hypotyreózu či kongenitální adrenální hyperplazii. U kongenitální adrenální hyperplázie a předčasné puberty je malý vzrůst pozdním následkem po přechodném urychlení růstu (Stožický et al., 2006, s. 226).

### **1.2.3 Malý vzrůst v důsledku chronického onemocnění systémové povahy**

U dětí trpících chronickým onemocněním, jenž postihují rostoucí organismus jako celek, dochází k růstové retardaci. Právě růstová retardace může odhalit chronické onemocnění. Pro tyto poruchy je snížená rychlost růstu typická dochází k opoždění biologického věku. Spektrum nemocí jenž se podílí na poruše růstu je velmi široké. Patofyziologické mechanismy ovlivňují normální funkci osy růstový hormon-IGF-I, narušují kalciofosfátový metabolismus a tím ovlivňují samotný růst kostí (Lebl et al., 2004, s. 131).

### **1.2.4 Primární poruchy skeletu**

U této poruchy jsou typické normální hladiny cirkulujících hormonů, včetně IGF-I a biologický věk nebývá významně opožděn. V rámci tělesného růstu je narušen poměr mezi výškou horního a dolního tělesného segmentu (Lebl et al., 2004, s. 135). Mezi primární poruchy růstu skeletu řadíme většinu chromozomálních aberací (např. Turnerův syndrom) a dysmorfické syndromy, jenž jsou spojeny s poruchou růstu (např. Aarskogův syndrom). Dost často bývá u těchto dětí již intrauterinní růstová retardace (Stožický et al., 2006, s. 226).

### **1.2.5 Nadměrný vzrůst**

Nadměrný růst nebývá důvodem k lékařskému vyšetření tak často jako malý vzrůst. Z hlediska fyziologického je důvodem vysoké postavy familiárně vysoký vzrůst a nebo konstituční urychlení růstu a puberty. Z patofyziologického hlediska může být příčinou vyšší postavy pravá předčasná puberta, předčasná pseudopuberta, tyreotoxikóza a nadprodukce růstového hormonu. Bývá přítomen u Marfanova syndromu, cerebrálního gigantizmu nebo Klinefelterova syndromu (Stožický et al., 2006, s. 227).

## 1.3 Vývoj dítěte

Kromě normálního růstu je projevem zdraví dítěte jeho vývoj. Charakteristika jednotlivých období lidského života z vývojového hlediska není zcela jednoduchá. Důvodem je, že se vyvíjí mnoho oblastí lidského těla v různém čase.

Do vývoje somatického řadíme kvantitativní znaky jako je váha, výška a další tělesné rozměry a také kvalitativní znaky, např. pohlavní dospívání.

Psychomotorický vývoj zahrnuje rozvíjení motoriky a také kognitivních, řečových a sociálních schopností. Je důležité si uvědomit, že všechny tyto schopnosti a vlastnosti se vyvíjí do určité míry v závislosti na chronologickém věku. U motorického vývoje získáme schopnost jemné a hrubé motoriky, což závisí ve velké míře na myelinizaci (zrání nervových struktur), ale také na prostředí a zkušenostmi, nácvikem. Genetika a vliv prostředí mají také vliv na kognitivní (rozumový) vývoj. Kognitivní vývoj, zkušenost a vliv prostředí ovlivňují vývoj osobnosti (sociální vývoj).

Při rozvíjení všech vlastností a zkušeností vytváří genetické faktory daný limit ve vývojovém potenciálu, zároveň jsou ale úzce propojeny s vlivem prostředí. Vhodné prostředí výrazně urychluje psychomotorický vývoj, zatímco nevhodné prostředí působí opačně a navíc může docházet i k opoždění vývoje somatického. Posouzení stupně vývoje může být obtížné a může vyžadovat podrobné vyšetření. Tato vyšetření provádí zkušený pediatr nebo dětský psycholog (Stožický et al., 2006, s.14-15).

## 1.4 Růst a vývoj kostí v dětském věku

### 1.4.1 Kostní denzita

Z fyzikálního hlediska je denzita definována jako poměr hmotnosti a objemu. V klinické praxi má však tato definice omezenou platnost, jelikož pouze patologové jsou schopni stanovit přesný objem a hmotnost lidských kostí. Klinická praxe si tedy musí vystačit s tzv. plošnou kostní denzitou, tedy mírou absorpce radiačního záření v kosti při vyšetření určitou radiodiagnostickou metodou, přičemž dochází k jejímu vyjádření ve dvourozměrné projekci. Absorpce radiačního záření závisí na kvalitě kostní hmoty a na velikosti kosti, tzn. čím silnější (větší) kost vyšetřujeme, tím dochází k výraznějšímu oslabení proudu záření (Lebl et al., 2004, s. 179).

### 1.4.2 Modelace a remodelace kosti

Tkáň kostí je z hlediska metabolismu velice aktivní. Kostní formace a kostní resorpce jsou základní mechanismy při obnově kostí. Jsou spolu propojeny a mají kontinuální průběh. Pokud jsou tyto dva pochody v rovnováze, tzn. pokud je původní kost plně a plynule nahrazována novotvorbou kosti, hovoříme o remodelaci kosti. V dětském věku ale převažuje formace nad resorpcí, jedná se tedy o modelaci kosti (Lebl et al., 2004, s. 181).

### 1.4.3 Peak bone mass

Maximální hodnota kostní hmoty je definována jako peak bone mass (PBM). Bývá vyjádřena nepřímo jako kostní denzita dosažená v průběhu dětství a rané dospělosti. Vyvrcholení její hodnoty závisí na věku a bývá individuální. Liší se také u jednotlivých kostí, např. nejdříve na páteři a krčku femuru, zatímco lebka zvyšuje svou denzitu celý život. Také závisí na pohlaví (u žen dochází k PBM dříve než u mužů) a na rase jedince (příslušník černé rasy má vyšší PBM než příslušník rasy bílé). Nejčastější věkové rozmezí k dosažení PBM je 3. až 4. decennium.

Peak bone mass bývá ovlivněn pomocí čtyř hlavních determinantů, mezi něž řadíme dědičnost, fyzickou aktivitu, hormonální vlivy a nutriční faktory. Dědičnost má na vývoj kostní hmoty zásadní vliv. Studie, které využily rozdíly mezi monozygotními a dizygotními dvojčaty, mezi rodiči a dětmi, stanovily vliv genetických faktorů na 75 – 85%.

Mezi hlavní nutriční faktory ovlivňující hodnotu kostní hmoty patří především kalcium a vitamín D. Kalcium přijímané v dětství je s velkou pravděpodobností zodpovědné za 5 – 10% změnu hodnoty PBM. Pokud je příjem vápníku nízký, dochází k jeho nedostatečné akumulaci do skeletu. PBM je u jedinců nižší než má odpovídat genetickému potenciálu. Jestliže je dosažena určitá hladina příjmu vápníku, mineralizace skeletu se přestane zvyšovat, přičemž výměna kalcia mezi krví a kostní tkání zůstává konstantní. Univerzální denní doporučená dávka není stanovena, existuje pouze dávka mající vztah k ostatním veličinám, které ovlivňují kostní metabolismus. Fyziologická funkce vitamínu D v kostním metabolismu spočívá ve stimulaci intestinální resorpce kalcia a jeho následné supresi sekrece parathormonu. Jelikož vysoké dávky vitamínu D vedou k aktivaci osteoklastů a zvýšené osteoresorpci, je „terapeutické okno“ vitamínu D velmi úzké. Sluneční záření je hlavním zdrojem vitamínu D pro organismus. Udává se 90- 95%. Pobyť na slunci by měl být u dětí (s výjimkou kojenců) po dobu aspoň dvou hodin týdně, přičemž je odhalen obličej

a ruce. Při použití opalovacího krému se doba vystavení slunečního záření zvyšuje úměrně hodnotě ochranného faktoru. Mezi další nutriční faktory patří: fosfor, hořčík, fluoridy, bílkoviny, vitamín C, vitamín K, měď, mangan, také tuky, sodík, kofein nikotin či alkohol. Výrazný deficit významně ovlivňuje formaci kostní tkáně, nicméně závažné osteopatie se z tohoto důvodu vyskytují u dětí zřídka (Lebl et al., 2004, s. 183-185).

Dalším významným determinantem jsou vlivy hormonální. Růstový hormon má přímý vliv na diferenciaci kostních buněk a ve vlivu zprostředkovaném IGF-I. Funkce těchto dvou hormonů je částečně překrytá. Mezi hormony ovlivňující růst patří estrogeny a androgeny. Estrogeny mají výsadní postavení mezi hormony regulujícími kostní metabolismus a týkají se obou pohlaví. Spolu s mechanickými vlivy představují dva hlavní fyziologické mechanismy, jenž zodpovídají za vývoj kostní hmoty. Estrogeny snižují kostní obrat a díky jejich supresnímu vlivu na osteoklasty dochází ke zkrácení fáze resorpce. Dále inhibují apoptózu osteoblastů, přičemž dochází k aktivaci kostní formace. Také udržují vyvážený poměr mezi resorpcí a kostní formací. Při mechanické zátěži zvyšují citlivost kostí, které začnou na zátěž reagovat modelací. Pozitivní vliv estrogenů je z větší části na ose růstový hormon – IGF-I nezávislé. Když nastane deficit estrogenů, dojde i k rychlému úbytku kostní hmoty. Například po menopauze se v prvních 4 až 8 letech resorbuje zhruba 30% spongiózní kosti a 10% kortikalis. U přechodného deficitu, v době gravidity nebo laktace, také dochází k velkému úbytku kostní hmoty, ale tyto změny jsou reverzibilní. Konstituční opoždění puberty u dívek nemá žádný vliv v dosažení optimálního PBM.

Pozitivní efekt androgenů je dán konverzí testosteronu na estrogen za působení aromatázy. Z tohoto důvodu se výrazný deficit kostní hmoty vyskytuje u dětí s nízkou hladinou aromatázy, ale s normální hladinou testosteronu (Lebl et al., 2004, s. 185-186).

Pokud je fyzická aktivita přiměřená, dochází ke stimulaci růstu. Při nadměrné fyzické aktivitě dochází k inhibici růstu (Stožický et al., 2006, s. 223). Fyzická aktivita má pozitivní vliv na dosažení maximálního PBM. Největší efekt na zvýšení kostní hmoty mají pohybové aktivity, které vyvolávají maximální, byť krátkodobou mechanickou zátěž kostí. Právě takto vyvolaná deformace kostí je následně hlavním stimulem pro nastartování modelace kostní tkáně, převážně endokortikální a periostální apozice. V rámci tohoto hlediska se za nejvhodnější sporty považuje tenis, gymnastika, basketbal či badminton. Plavání a cyklistika mají minimální vliv na zvýšení kostní denzity. Pozitivní efekt pohybové aktivity byl zjištěn také u dětí, které provozují sport pouze rekreačně a je vyšší než u dětí, které žádný sport

neprovozují. Sportovní aktivita, v dětství a dospívání má vyšší vliv na zvýšení denzity kostí, než zátěž se stejnou intenzitou provozovanou v dospělosti. Jako nejvýhodnější je doporučován výkonnostní sport v dětství a střední zátěž v dospělosti. Důvodem je skutečnost, že kostní denzita u populace, která provozuje sport, začne po ukončení sportovní aktivity postupně klesat a za několik desetiletí již není odlišná od populace, která sport neprovozovala (Lebl et al., 2004, s. 186-187).

#### **1.4.4 Biologický věk**

Biologický věk se posléze uplatňuje v rámci preventivních prohlídek, diagnostiky a kontroly terapie v řadě chronických onemocnění. Odborné a kvalitní sledování růstových změn v všech etapách postnatální ontogeneze by mělo být prováděno včetně s endokrinními aspekty ve všech třech základních růstových periodách o nichž jsme se již zmínili.

Růst v rámci pediatrické auxologie je pojímán jako soubor veškerých změn u dosud nezralého, tedy rostoucího organismu. Růstová odchylka zde není jen alterace skeletálního růstu a zrání, ale také alterace sexuálního růstu a zrání (Lebl et al., 2004, s. 157).

Při hodnocení sexuálního vývoje u chlapců se využívají Tannerova stadia vývoje zevního genitálu a u dívek se používají Tannerova stadia vývoje prsů. U obou pohlaví se zároveň podle Tannerových stádií posuzuje vývoj pubického ochlupení. Je nutné provést celkové vyšetření, pokud nejsou přítomny známky pubertálního vývoje. U dívek ve 13 letech a u chlapců ve 14 letech. Vyšetření je zaměřeno na vyloučení endokrinopatie, chronické onemocnění systémové povahy či genetické odchylky. Dále hodnotíme biologické zrání jedince kostním věkem (Stožický et al., 2006, s. 225).

#### **1.4.5 Kostní věk**

Kostní věk můžeme charakterizovat jako osifikační stupeň postkraniálního skeletu nebo také jako standardní referenční kritérium biologické zralosti (Lebl et al., 2004, s. 171). Je považován za nejvhodnější způsob, jak hodnotit biologické zrání jedince.

Stanovení kostního věku je základním postupem (metodou) pro určení přesného biologického věku dítěte. Jedním z důvodů je skutečnost, že změny, které se vyskytují u kostí zrajících jedinců jsou dost podobné u všech ostatních. Jen čas, ve kterém změny nastávají, je variabilní. Musíme také vzít v potaz, že každé osifikační centrum má určitý počet morfologických stádií, jimiž prochází a jejich posouzení je základ pro správné určení stupně zralosti. A všechny centra kostní zralosti lze snadno rozpoznat na rentgenovém snímku

(Krásničanová et al., 1996, s. 44). Abychom mohli zhodnotit kostní zrání u jedince, zhotovíme nejdříve rentgenový snímek zápěstí a hodnotíme tvar a velikost osifikačních center ruky (Stožický et al., 2006, s. 225). Pro určení kostního věku je bezpodmínečně nutné, aby byl stanoven některým z mezinárodně uznávaným standardním postupem. Mezi ně patří hlavně metoda Greulich a Pyleové a nebo metoda podle Tannera a Whitehouse (Lebl et al., 2004, s. 128).

## **1.5 Hodnocení růstu a vývoje dítěte**

### **1.5.1 Růstové percentilové grafy**

Mezi denní činnosti každého pediatra patří sledování růstových parametrů dítěte. Ukládá to také vyhláška o preventivních prohlídkách č. 70/2012 Sb. ze dne 29.2.2012.

Aby pediatr mohl zhodnotit růstové parametry, potřebuje znát růstové normativy, které bývají nejčastěji prezentované ve formě růstových percentilových grafů (viz Příloha).

Grafy jsou konstruovány na základě dat získaných z rozsáhlých národních průřezových studií. Data těchto studií nám umožňují detailněji analyzovat vývoj tělesných parametrů dětí a dospívajících, přičemž jsou v nich zahrnuty také sociálněekonomické podmínky. Poslední referenční studie byla vypracována v roce 2001 a slouží jako zdroj referenčních dat pro populaci dětí ve věku od 0 do 18 let. Výsledky ukazují, že od roku 1951, kdy byla tato studie poprvé zpracována, stále dochází k sekulárním změnám, co se týče růstového profilu u dětí a mladistvých. Proto se ještě provádí korekce růstové pozice na trend vývoje. Vždy se musí brát ohled na genetický růstový potenciál dítěte a jeho věk (Sedlak et al., 2013, s.113).

Percentilová metoda je možností statistického zpracování dat související s normálním, tzv. gaussovským rozdělením hodnot. Z hlediska pojmů je mu nejbližší střední hodnota, takzvaný medián, který je 50. percentilem dat daného souboru. Souborem konkrétních hodnot můžou být například hodnoty tělesné výšky. Soubor je pak díky 99 percentilů rozdělen na 100 stejných dílů. Mezi základní pomůcku pro posouzení růstu dítěte je percentilový graf tělesné výšky (viz Příloha). Tento graf by měl být pravidelně zakreslován. Od roku 1995 jsou percentilové grafy znázorňující tělesnou výšku součástí zdravotního průkazu dítěte (Krásničanová et al., 1996, s. 27). Percentilové grafy nám dokážou vyjádřit která část populace leží mimo určitý percentil. Normální hodnoty leží v rozmezí od 5. percentilu až do 95. percentilu.



Například v oblasti pod 5. percentilem leží 5% případů. 10% případů je mimo 10. percentil. V opačné části percentilového grafu je 95. percentil, což znamená, že při normálním rozložení je pouze 5% případů vyšší než tato hodnota. Pouze 10% měřených hodnot leží mimo dané rozmezí (Stožický et al., 2006, s. 15). Při zakreslení změřené výšky dítěte do grafu je možné ji okamžitě porovnat s aktuální výškou dítěte s jeho vrstevníky v dané populaci. Můžeme tak zhodnotit míru odlišnosti od normy. Díky pravidelnému monitorování růstu a zakreslování výsledků měření zjistíme rychle změnu postavení v percentilové síti, ve směru plus nebo minus. Pásmo mezi 25. a 75. percentilem se posuzuje jako pásmo střední tělesné výšky. K hodnocení růstu dále posuzujeme genetický růstový potenciál dítěte. Zde musíme znát výšku obou biologických rodičů dítěte, je-li možné je oba přímo změřit.

Zhodnocení genetického potenciálu probíhá tak, že na pravý okraj percentilového grafu tělesné výšky (ta odpovídá 18 letům věku) zakreslíme „bod O“, znázorňující tělesnou výšku otce. „Bod M“ je tělesná výška matky. U chlapců je bod M zvětšený o 13 cm, zatímco u dívek je bod O zmenšený o 13 cm. Vychází se tak z poznatků o sexuálním dimorfismu tělesné výšky. Střed mezi bodem O a bodem M v rozmezí 10 cm nad ním a 10 cm pod ním určuje pásmo očekávané tělesné výšky dítěte v dospělosti (cílová výška). Zhruba 95% opravdu doroste do takto stanovené dospělé výšky. Tento postup je velmi cenný v diagnostice familiárně vyššího i menšího vzrůstu (Krásničanová et al., 1996, s. 27-30).

Velká výhoda percentilových grafů je jasné vyznačení polohy jedince v normálním rozložení populace a možnost sledovat dynamiku měřeného parametru. Pokud budeme opakovaně provádět měření, získáme přehled o tom, zda se vznikající křivka přibližuje k průměru a nebo se od něj naopak vzdaluje. Tedy zda porucha růstu je přechodná nebo trvalá. Pokud je porucha růstu trvalá, tak se vzdálenost od průměru nemění nebo se zvětšuje. Vzdalování od průměru je typické především pro nedostatek růstového hormonu. Přiblížení k průměru je obvyklé u těžších nemocí v období rekonvalescence. Nevýhoda percentilových grafů spočívá v tom, že nám umožňuje pouze vyslovit podezření. Pouze urychlují vyhledávání dětí, jejichž vývoj se podstatně liší od normy, což vede k zahájení pečlivého vyhodnocení. Po vyhodnocení můžeme prohlásit odchylku od normy za skutečnou (Stožický et al., 2006, s.15-16).

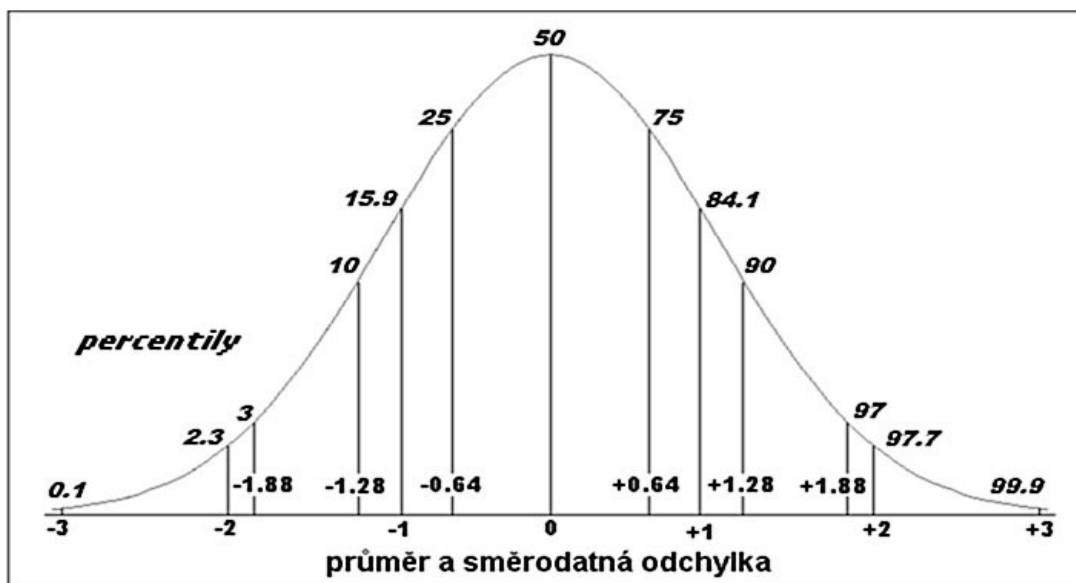
## 1.5.2 Směrodatná odchylka

Skóre směrodatné odchylky (SD-skóre, SDS) se využívá k vyjádření hodnot tělesné výšky v normalizované podobě. V praxi především pro určení míry extrémních odchylek od normy v těch pásmech, kde percentilová síť již nezasahuje. Máme na mysli pásma pod 3. percentilem a nad 97. percentilem. Skóre směrodatné odchylky lze vypočítat dle tohoto vzorce

$$SDS = (x - X) / SD$$

kdy  $x$  představuje tělesnou výšku vyšetřovaného dítěte,  $X$  značí tabelovanou průměrnou tělesnou výšku pro daný věk a pohlaví.  $SD$  je směrodatná odchylka průměru tělesné výšky, tabelovaného pro daný věk a pohlaví. Podle definice SDS je u dítěte se zcela průměrnou tělesnou výškou hodnota SDS výšky 0,0.

Dítě s výškou, která dosahuje SDS +2,0 se nachází přesně na 98. percentilu, tedy na horní hranici širší normy. Dítě s SDS výšky -2,0 se nachází přesně na 2. percentilu, tedy na dolní hranici širší normy. Obr. 1 nám názorně předvádí vztah mezi skóre směrodatné odchylky a hodnotami percentilů. Skóre směrodatné odchylky lze použít i při zpracování dat z klinických dat souborů dětí. Dokáží totiž eliminovat jejich různorodost ve věku a pohlaví. Jedná se o normalizování dat (Krásničanová et al., 1996, s. 30-31).



Obrázek 1: Relace mezi směrodatnou odchylkou a percentily (převzato: Krásničanová, Lesný, 2005, s.neuvedena)

## 2 METODY VÝPOČTU KOSTNÍHO VĚKU

Toddův atlas byl první publikací, která popisovala pokrokové skeletální zrání na kostech ruky a zápěstních kostí u mužů a žen. Interval mezi jednotlivými standardy činil šest měsíců. Standardy popisují specifické ukazatelé zralosti, typické pro každé věkové období.

V současné době se v celosvětové praxi ujaly postupy Greulich a Pyleové (GP) a Tannera s Whitehousem (TW2, TW3) pro stanovení kostního věku. Obě metody pracují s rentgenovými snímky levé ruky a zápěstí (Sanctis et al., 2014, s. 64).

Rentgenový snímek ruky je pro určení kostního věku jedním z nejlepších postupů v diagnostice kostního věku. Můžeme posoudit vývoj kostí podle počtu, tvaru a velikosti zápěstních kostí. Například ve druhém roce života jsou na snímku vidět dvě zápěstní kosti, zatímco po 12. roce jsou už téměř všechny kosti viditelné. Po sedmém až osmém roce lze posoudit, jaká bude prognóza konečného růstu a zároveň lze určit, kolik procent celkové výšky již bylo dosaženo (Sitzmann et al., 2007, s. 5-6).

### 2.1 Metoda Greulich a Pyleové

Hodnocení kostního věku metodou Greulich a Pyleové je velmi potřebné v diferenciální diagnostice u dětí s poruchou růstu či poruchou dospívání a také při sledování léčby u těchto dětí (Krásničanová et al., 1996, s. 45-46). Jelikož je tento postup poměrně jednoduchý, bývá často první volbou určení kostního věku pro mnoho zkušených pediatrů. Také pomáhá posoudit vrozené poruchy růstu, mezi něž řadíme Turnerův syndrom či Prader-Williho syndrom (Chi-Wen et al., 2011, s. 567).

Základem této metody je Rentgenový atlas kostního zrání ruky a zápěstí. Jeho autory jsou Dr. William W. Greulich a Dr. Sarah I. Pyle. Jedná se o nejpoužívanější atlas pro stanovení kostního věku (Mughal et al., 2013, s. 212). Byly zhotoveny RTG snímky levé ruky od tří měsíců dítěte až do ukončeného prvního roku, vždy po třech měsících. Poté do šesti let po šesti měsících a nakonec v ročních intervalech. Byly vyloučeny snímky dětí, jenž trpěly závažnými tělesnými vadami nebo nemocemi. Všechny děti byly bílé pleti a narozené v Americe. Jednalo se o severoevropské rasy a děti pocházely z rodin s nadprůměrným sociálním a společenským statutem. Standardy byly určeny na základě posouzení 100 snímků dětí stejného věku a pohlaví (Horter et al., 2012, s. 966-968). Atlas je tvořen 29 předlohami pro dívky a 31 předlohami pro chlapce. Metoda GP pro hodnocení kostního věku bývá

v běžné praxi doporučována tam, kde není důležitá přesná diagnostika věku nebo exaktní kontrola léčby (Lebl et al., 2004, s. 173 – 175).

Kostní věk se zde určuje podle toho, kterému snímku v atlasu při odpovídajícím pohlaví skelet vyšetřovaného dítěte nejvíce odpovídá. Pokud hodnotíme skelet malých dětí, jsou zde určující centra osifikace karpálních kůstek a epifýz. Při nástupu puberty je první volbou při hodnocení skeletu stupeň splývání epifýzy s diafýzou. V periodě, která leží mezi těmito dvěma, je důležitý tvar a velikost rostoucího osifikačního jádra. Jestliže stav vývoje neodpovídá přesně žádnému standardu, ale leží mezi nimi, odhadne se kostní věk interpolací (Horter et al., 2012, s. 966-968).

## **2.2 Metoda Tannera a Whitehouse**

Poprvé se tento postup objevil v roce 1962, jako TW1 metoda, která byla přepracována v roce 1975 (TW2 metoda). Bylo vyhodnoceno 3000 britských dětí, jejichž růst a vývoj byl normální. Tanner a jeho tým zastával názor, že mnoho kostí na ruce dává informace o stejné hodnotě. Když byla vytvořena metoda TW3, byl k ní doplněn i tzv. skórovací systém, který udával skóre pro radius, ulnu (RUS) a karpální kosti. Karpální skóre platí pro všechny karpální kůstky. Chlapci a dívky byly posuzovány zvlášť. Ze sumy hodnot skóre, které se u třech metod lišily, byla podle různých stádií kostí ustavena společná hodnota skóre. Ty jsou uspořádány do tabulek začínajících intervalem 0,1 roku (Horter et al., 2012, s. 968). Na vytvoření metody TW2 se podílel tým zkušených pediatrů, auxologů, rentgenologů a také matematiků (Krásničanová et al., 1996, s. 44).

### **2.2.1 Metoda TW2**

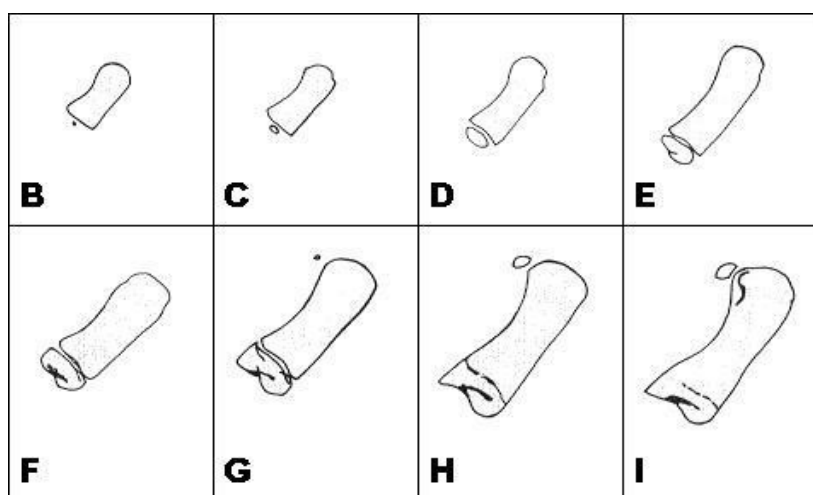
Principem této metody je hodnocení tvaru a velikosti osifikačních center. Jedná se o 20 kostí na ruce a jejich vztahu se sousedními kostmi. Mezi kosti, které chceme vyhodnotit, patří distální epifýzy ulny a radia, dále první, třetí a pátý metakarp, proximální, střední a distální falangy prvního, třetího, pátého prstu a také sedm kostí karpálních, tzv. skóre dvaceti kostí.

Každá z těchto kostí má identifikováno osm stupňů zralosti, které jsou znázorněny na obr. 2. Pro radius je stanoveno devět stupňů zralosti. Tyto ukazatele se nevztahují ke kalendářnímu věku. Vztahují se ke vzhledu kosti, v průběhu její nezralosti do doby plné zralosti (Sanctis et al., 2014, s. 65). Pro určení stupně osifikace potřebujeme rentgenový snímek ruky, kde posuzujeme každou kost se standardy atlasu TW2. Stadium kosti je hodnoceno stupněm od 1 až po 8 nebo písmeny B až I a stadia jsou ohodnocena tak, aby suma

všech skóre všech kostí mohla určit celkové hodnocení skeletální zralosti. Skóre vyjadřující zralost se pohybuje v rozmezí od 1 až 1000, přičemž hodnota 1000 značí plnou zralost skeletu (Krásničanová et al., 1996, s. 44 - 45).

Předností metody TW2 je kromě zohlednění sexuálního dimorfismu také to, že lze přesně zhodnotit kostní věk na desetiny roku a to od 1 roku až do dospělosti. Navíc lze přesně vyhodnotit dynamiku kostního zrání. Pomocí regresních rovnic (jsou stanovené hodnotami aktuální výšky, chronologického věku a skóre RUS) stanovíme predikci tělesné výšky v dospělosti. Karpální kosti jsou hodnoceny dohromady a zvláště a sledování těchto rozdílů má svůj význam v diferenciální diagnostice a kontrole terapie. Nevýhodou metody je její časová náročnost, pracnost a nutnost vybavení atlasem standardů TW2 (Krásničanová et al., 1996, s. 44-45). Metoda TW2 je přesnější než metoda GP z toho důvodu, že má mnohem pevnější a složitější matematický základ (Mentzel et al., 2005, s. 430).

Poté co získáme skóre zralosti, převedeme je na hodnotu kostního věku za pomoci tabulek atlasu TW2. Tento atlas uvádí relaci s kalendářním věkem a je vymezen zvláště pro dívky a chlapce. Důvodem je skutečnost, že skelet u obou pohlaví sice prochází shodnými stadii vývoje, ale významně rozdílnou rychlostí. U této metody je také zohledněn sexuální dimorfismus biologického zrání a kostní věk zde reprezentuje chronologický věk, kdy dané skóre zralosti je 50. percentil. V atlasu se dále nachází tabulky hodnot relací skóre maturity a kostního věku, percentilové grafy hodnot skóre karpálních kostí, kompartmentu radius – ulna - falangy a dále hodnoty TW20, jenž slouží k celkovému posouzení osifikace skeletu ruky. Tyto tabulky nám umožní přesně posoudit míru urychlení či zpomalení v rámci empirické proměnlivosti (Krásničanová et al., 1996, s. 45).



Obrázek 2: Vývojová stádia 1-8 (B-I) podle TW2 metody (převzato: Krásničanová, Lesný, 2005, s. neuvědlena).

### 2.2.2 Metoda TW3

Referenční standardy TW2 metody pocházejí z období 50. a 60. let 20.století a za tu dobu se změnila i rychlost zrání kostí. V dnešní době bývá dosaženo plné zralosti dříve než před padesáti lety (Sanctis et al., 2014, s. 65). Na základě dalších měření a testování byla v roce 2001 vytvořena ještě přesnější metoda pro stanovení skeletální zralosti. Opět se na ni podílel mezinárodní tým vedený Tannerem. Jako principiální předloha sloužila metoda TW2 (Lebl et al., 2004, s. 171).

Cílem bylo přesnější vypracování bodovacího systému, stádia kostní zralosti a také rovnice predikce dospělé výšky. Byla zrušena skóre dvaceti kostí a referenční data byla pozměněna na podkladě údajů o severoamerických dětech. Byly vytvořeny stupnice, které převedly hodnoty zrání na hodnotu kostního věku také pro děti v jiných státech, např. v Belgii, Švédsku, Itálii atd. Nové referenční metody se od metody TW2 odchyľují asi o rok, nicméně jsou přesnější než v minulých letech (Sanctis et al., 2014, s. 65).

Hodnotí se tvar, velikost a prostorové vztahy kostí ruky a distální části předloktí. Stejně jsou i stupně zralosti, od B po I. Každé stadium má své číselné skóre, které je pro každou kost dáno vahou významnosti v algoritmu osifikace skeletu u ruky. Celkové skóre skeletální zralosti je opět dáno součet všech skóre všech zhodnocených kostí a maximální hodnota, které může dosáhnout je 1000. Jakmile zjistíme skóre zralosti, převedeme jej podle tabulek TW3 atlasu na hodnotu kostního věku. Pro hodnocení necháme vyhotovit rentgenový snímek levé ruky a distálního předloktí. Adultní skóre 1000 pro kompartment RUS nám značí plnou zralost skeletu ruky a předloktí. To znamená, že došlo k uzávěru růstových štěrbin. Chlapci dosahují adultního skóre při kostním věku 16,5 roku (kalendářně odpovídá 14,6 až 18,4 let). U těchto chlapců dosahuje osifikace karpálních kostí v 15 letech (13 až 17 let kalendářního věku). Dívky dosáhnou adultního skóre osifikace v době, kdy je jejich kostní věk 15 let (12,9-16,4 roku) a karpální kosti 13 let (11-15 let).

Důvodem, proč dochází k věkovým rozdílům u kompartmentu RUS a ossa carpi při dosažení adultní osifikace, je odlišná hormonální regulace osifikace tubulárních kostí RUS a kuboidních kostí zápěstí. Velkou předností tohoto postupu je skutečnost, že můžeme samostatně hodnotit kompartment radius-ulna-metakarpy-flalangy a kompartment ossa carpi. RUS kompartment se používá k předpovědi finální výšky v dospělosti, protože koreluje se stavem lineárního růstu skeletu jedince mnohem více než kompartment karpálních kostí.

Díky této inovaci lze určit kostní věk s přesností na desetinu roku (Lebl et al., 2004, s.171-173).

Tabulky a percentilové grafy pro RUS a ossa carpi, jenž uvádějí relace skóre zralosti skeletu a kostního věku, jsou rozdělené zvlášt' pro dívky a pro chlapce z důvodu rozdílné rychlosti vývoje. Zohlednění sexuálního dimorfismu skeletální zralosti je opravdu nezbytné, protože mezipohlavní rozdíl činí cca dva roky. Velkou výhodou tohoto rozdělení je, že můžeme rychle a jednoduše stanovit postavení vyšetřovaného jedince mezi vrstevníky. Normální variabilita kostního zrání leží v pásmu plus- minus dva roky. Vysoce pravděpodobným korelátem patologické situace je kostní věk vyšší nebo nižší o dva roky a více než kalendářní věk (Lebl et al., 2004, s. 172-173).

# 3 ZOBRAZOVACÍ POSTUPY V DIAGNOSTICE KOSTNÍHO VĚKU

## 3.1 Rentgenové vyšetření

Rentgenové snímkování kostí a kloubů je v praxi radiologického asistenta dodnes jedním z nejčastějších vyšetřovacích postupů. V praxi se uplatňuje asi 80 projekcí vhodných pro snímkování skeletu. Zpravidla se jedná o projekce ve dvou na sebe kolmých rovinách, ovšem můžou se vyskytovat i výjimky, kdy se provádí pouze jedna projekce, např. při zobrazování ramenního nebo kyčelního kloubu. Speciální projekce se indikují dodatečně. Srovnávací snímky mají velký význam v dětském lékařství a revmatologii. Normální a rentgenová anatomie se od sebe neliší. Pro radiologického asistenta je nezbytností znát názvy všech kostí v těle a také nejvýznamnější anatomické struktury tvořící kosti a klouby. Například u kostí dlouhých končetin rozeznáváme proximální a distální epifýzu, metafýzu a diafýzu.

Abychom mohli dobře pochopit význam zobrazovacích metod a jejich obrazů, měli bychom znát složení kostní tkáně v jednotlivých částech kosti a fyziologické pochody, které v nich probíhají. Nepřežitá přestavba kosti probíhá fyziologicky po celý život. Pokud dojde k jejímu narušení vlivem různých metabolických poruch či jiných příčin, má to vliv i na volbu zobrazovacích metod (Vomáčka et al., 2012, s. 78-79). Stanovení kostního věku je součástí diagnostických algoritmů u většiny chorob (Vomáčka et al., 2012, s. 125)

### 3.1.1 Rentgenový snímek ruky a distálního předloktí

V lidském těle je mnoho oblastí, které byly zkoumány v naději, že se budou podílet na vytvoření metody, která poskytne přesné informace pro posouzení tělesného rozvoje. Výhodou u ruky a zápěstí je výskyt mnoha kostí a epifýz na jedné ploše, na nichž lze velmi dobře pozorovat kostní zrání v průběhu času (Sanctis et al., 2014, s. 64).

Standardně se provádí rentgenový snímek levé ruky a distálního předloktí, v rozsahu od distálních epifýz radia a ulny až po distální epifýzy falang (Lebl et al., 2004, s. 173).

Jedná se o zadopřední projekci, přičemž vzdálenost mezi rentgenkou a objektem bývá 1 metr a velikost ohniska 0,6 milimetrů. Hodnota napětí je obvykle 45 kV a rozsah expozice je 3 až 4 mAs (Mentzel et al., 2005, s. 430).



Dle anatomického rozložení se kosti ruky rozdělují na kosti zápěstní (ossa carpi), kosti záprstní (ossa metacarpi) a články prstů (phalanges digitorum). Zápěstí (corpus) tvoří osm krátkých kostí, jenž jsou uloženy ve dvou řadách. Ze strany palcové v proximální řadě se nachází os scaphoideum, os lunatum, os triquetrum, os pisiforme a v distální řadě, ve stejném směru, nalezneme os trapezium, os trapezoideum, os capitatum a os hamatum (Naňka, Elišková, 2009, s. 27-28).

Na rentgenovém snímku můžeme lépe posoudit vývoj kostí podle počtu, tvaru a velikosti zápěstních kostí. Například ve druhém roce života jsou na snímku vidět dvě zápěstní kosti, zatímco po 12. roce jsou už téměř všechny kosti viditelné. Po sedmém až osmém roce lze posoudit, jaká bude prognóza konečného růstu a zároveň určit, kolik procent celkové výšky již bylo dosaženo (Sitzmann et al., 2007, s. 5-6). V tabulce č.1 jsou uvedeny časové odstupy mezi osifikacemi jednotlivých karpálních kostí (Sanctis et al., 2014, s. 65).



Obrázek 3: RTG levé ruky a zápěstí pro určení kostního věku (převzato: archiv FNOL)

Tabulka 1: Doba zrání osifikačních center karpálních kostí

NÁZEV KOSTI	DÍVKA	CHLAPEC
Os hamatum	2 měsíce	4 měsíce
Os capitatum	2 měsíce	4 měsíce
Os triquetrum	2 roky	3 roky
Os lunatum	3 roky	4 roky
Os trapezium	3 roky	4 roky
Os trapezoideum	4 roky	6 let
Os scaphoideum	4 roky	6 let
Os pisiforme	9 let	12 let

(převzato Sanctis et al., 2014, s. 65).

## 3.2 Kostní denzitometrie

Pokud vyšetřujeme denzitu kostní tkáně, využíváme metodu kostní denzitometrie. Tato modalita pracuje na základě míry absorpce X-zářením, jenž je stanovená rentgenovou absorpční fotometrií (Seidl et al., 2012, s. 38). Jedná se o metodu, jedno- nebo dvoufotonovou metodu, která vyhodnocuje mineralizaci kostí ve vztahu k věku a pohlaví vyšetřovaného pacienta (Vomáčka et al., 2012, s. 79).

Moderní rentgenové denzitometrické přístroje prozařují vyšetřované místo pomocí rozbíhavého svazku X-zářením. Svazek má jehlanovitý tvar. Můžeme provést celotělovou obrazovou diagnostiku kostní tkáně, stanovíme obsah svalové hmoty či tukové tkáně. Také lze stanovit obsah vody a minerálů v jednotlivých částech těla. Nevýhodou je skutečnost, že nelze zjistit z celkové absorpce X-zářením, která část je atenuována kostí a která měkkou tkání (Seidl et al., 2012, s. 38).

### 3.2.1 Určení kostního věku pomocí kostní denzitometrie:

Stanovení kostního věku na rentgenogramu ruky je nevýhodné z hlediska větší radiační zátěže dětského organismu. Aby se zabránilo škodlivým účinkům v pozdějších letech, v důsledku kumulace radiačního záření, je snaha vyšetřovat děti metodami s mnohem menší dávkou záření. Jedním z alternativních návrhů bylo použít kostní denzitometrii, která je bezpečnější pro stanovení kostní zralosti. Kostní denzitometrie vyšetřuje minerály obsažené v kostní tkáni a používá se pro diagnostiku osteoporózy. Hodnoty snímkování ruky a zápěstí se u klasického rentgenu pohybují kolem 0,001 mSv, zatímco v kostní denzitometrii je tato hodnota zhruba desetkrát nižší, tedy 0,0001 mSv. V kostní denzitometrii se snímek pro určení

kostního věku zhotovuje tak, že pacient sedí u vyšetřovacího stolu a levou ruku položí na dvojvrstvou fosforovou desku. Ruka je položena rovně, bez ulnární nebo radiální odchylky. Rentgenka je centrována na metakarpy. Je zachycena celá ruka a zápěstí, aby bylo možno posoudit všechny epifýzy. Nastavení hodnot pro snímkování se liší ve věkových skupinách. U mladších dětí, do sedmi let věku, se používají standardní hodnoty kolem 40 kV a expoziční rozsah je 1,60 mAs. U dětí starší sedmi let je použito 42 kV a 1,60 mAs. Poté se snímek vyhodnotí na základě atlasu GP (Heppe et al., 2012, s. 114-115).

### 3.3 Ultrazvuk

Ultrazvuk je stejné fyzikální podstaty jako zvuk. Jedná se o akustické vlnění a jeho frekvence leží nad hranicí slyšitelnosti lidského ucha, zhruba nad 20 kHz. Pro lidské ucho je neslyšitelný. Ultrazvuk má menší vlnovou délku než je vlnová délka zvukového vlnění. Tento fyzikální jev určuje jeho vlastnosti (Seidl et al., 2012, s. 39).

V běžné diagnostické praxi se využívá frekvence od 1 do 15 MHz. Ultrazvukové vlnění se na makroskopických rozhraních dvou prostředí s různou akustickou impedancí odrazí a na mikroskopických strukturách se rozptyluje. Pokud na toto rozhraní nedopadá toto vlnění kolmo, dochází k jeho lomu (ohybu). Při průchodu hmotou ztrácí svou energii, přičemž část energie se ke zdroji nevrací, z důvodu rozptylu a absorpce. Postupně se přeměňuje v teplo (Vomáčka et al., 2012, s. 38).

V praxi jsou zdrojem ultrazvukového vlnění destičky z materiálů, jakým je třeba křemen nebo syntetické látky. Vlivem periodického nabíjení elektrickým proudem se destičky smršťují a rozpínají, tedy deformují. Výsledkem je vznik mechanického vlnění, tzv. piezoelektrický jev (Seidl et al., 2012, s. 39).

Škála indikací k vyšetření pomocí této zobrazovací metody je velmi široká. Velký význam má v dětském lékařství a v porodnictví. Důvodem je relativní neškodnost ultrasonografie a snadná opakovatelnost vyšetření (Vomáčka et al., 2012, s. 41).

Tato diagnostická zobrazovací technika je založená na registraci ultrazvuku, který byl odražen od tkání. Používáme piezoelektrické sondy, jejichž frekvence se nachází v rozmezí 2-18 MHz. Pomocí piezoelektrického měniče vysíláme do těla pacienta ultrazvukové vlnění. Prostupnost ultrazvuku prostředím, akustická impedance a ani rychlost šíření ultrazvukového vlnění není ve všech tkáních úplně stejná. Pro registraci odraženého vlnění se ultrazvuk vysílá v mikrosekundových impulzech a s opakovací frekvencí. Dojde k registraci odražených

signálů a doby, za jakou se vrátí do senzoru po svém vyslání. Protože intenzita vlnění klesá exponenciálně, je pro dobrou vizualizaci potřeba upravit detekovaný signál. Upravíme jej tak, že detekovaný signál zesílíme úměrně době, jenž uplynula od jeho vyslání. Vzduch má velmi vysokou impedanci, proto musíme zajistit, aby vlnění procházelo pouze vodním prostředím. Proto pokryjeme povrch sondy gelem, jenž nám zajistí dostatečný průchod vlnění ze sondy do kůže pacienta (Seidl et al., 2012, s. 40).

### **3.3.1 Ultrasonografické vyšetření ke stanovení kostního věku:**

Určení kostního věku metodou GP nebo Tanner a Whitehouse vyžaduje vyhotovení rentgenových snímků. Nevýhodou je ale radiační zátěž pacienta. Jednou z alternativních metod může být ultrazvuk (Mentzel et al., 2005, s. 430).

Stanovení kostního věku pomocí ultrazvukové metody, je založeno na kostním zraní epifýz. Jedná se o kvantitativní ultrazvukovou technologii. Měříme rychlost s jakou ultrazvukové vlny projdou určitou pevnou vzdáleností v kosti. Při tomto postupu použijeme dvě sondy. Jedna vytváří ultrazvukové vlnění o frekvenci 750 kHz a směřuje na distální epifýzu radia a ulny. Druhá sonda funguje jako přijímač. Touto technikou vyhodnotíme šířku růstové ploténky, jenž se nám zobrazuje jako hypogenní oblast. Hodnotíme ji ve třech rozměrech, přední, zadní a laterální. Celý proces trvá zhruba pět minut. Během tohoto času dojde celkem k jedenácti cyklům měření. Je to z důvodu dosažení co nejpřesnějších výsledků.

Studie, které se tímto postupem zabývaly, hodnotily ultrazvukové snímky podle klasických rentgenových snímků a nebo se standardami GP atlasu. Ačkoliv jsou výsledky studií pro použití ultrazvukové metody příznivé, stále není ultrazvuková metoda vhodná pro přesné určení kostního věku (Sanctis et al., 2014, s. 67).

## **3.4 Magnetická rezonance**

U zobrazování magnetickou rezonancí je pacient uložen do velmi silného magnetického pole, následně je vyslán krátký radiofrekvenční impulz a po jeho skončení je snímán magnetický signál. Magnetický signál je tvořen jádry atomů vodíku nacházejících se v těle pacienta. Signál se měří a používá k rekonstrukci obrazu. Teorie magnetické rezonance je velmi složitá, neboť se jedná o problematiku z oblasti kvantové fyziky (Vomáčka et al., 2012, s. 47).

Z fyzikálního hlediska se nejlépe zobrazují oblasti s největším obsahem protonů vodíku a tkáně s vysokým procentem vody, především parenchymatózní orgány, chrupavky,

svaly, vazy či kostní dřev. Také se dobře zobrazují fluidní struktury (likvor, moč, žluč, proudící krev). Velkou výhodou vyšetření pomocí magnetické rezonance je skutečnost, že je neionizující a proto je vhodné pro vyšetření u dětí a mladších lidí. Jelikož se jedná o jedinou neinvazivní metodu, jenž dobře zobrazí chrupavku, vazy či menisky, bývá stále častěji použita v diagnostice poranění a patologických změn (Vomáčka et al., 2012, s. 57).

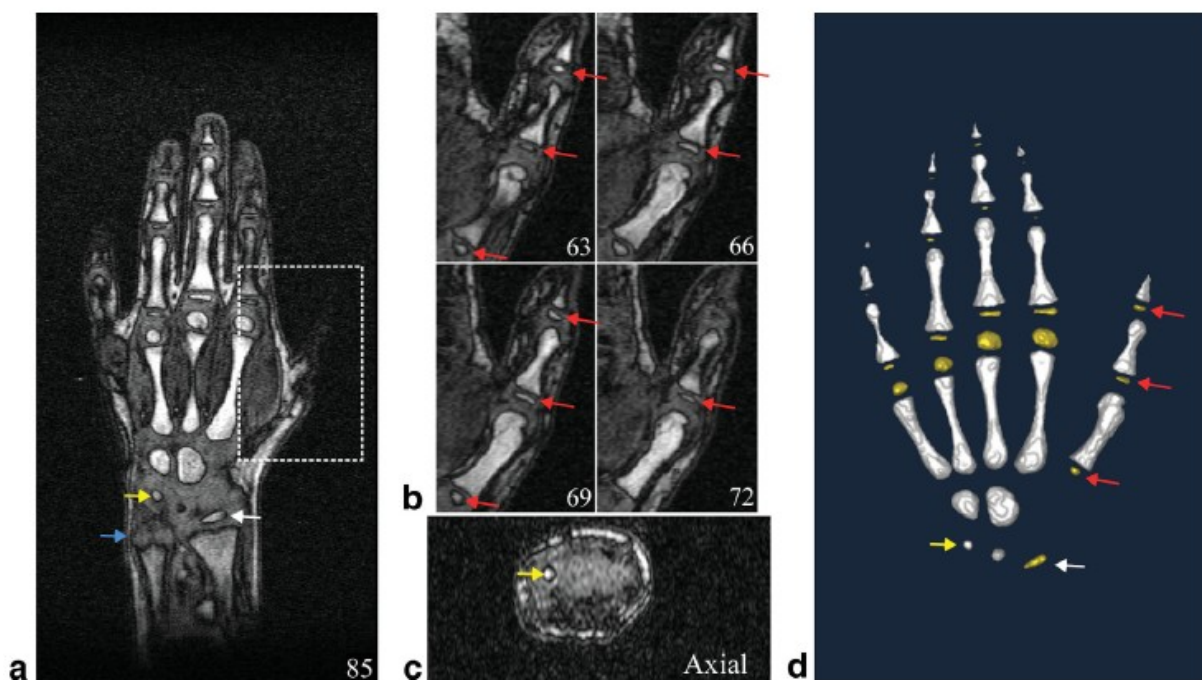
### **3.4.1 Určení kostního věku pomocí magnetické rezonance:**

Stejně jako u ultrasonografie, tak i v případě magnetické rezonance je výhodou, že se nejedná o invazivní vyšetření a také zde nedochází k radiačnímu zatížení organismu. Také dobře zobrazuje měkké tkáně. Proto se začalo uvažovat o jejím využití v diagnostice kostního věku jako alternativní metoda k rentgenovému a ultrazvukovému vyšetření (Terada et al., 2012, s. 1697). Oproti ultrazvukovému vyšetření, je magnetická rezonance více objektivní a nezávislejší (Dedouit et al., 2011, s. 232.e1).

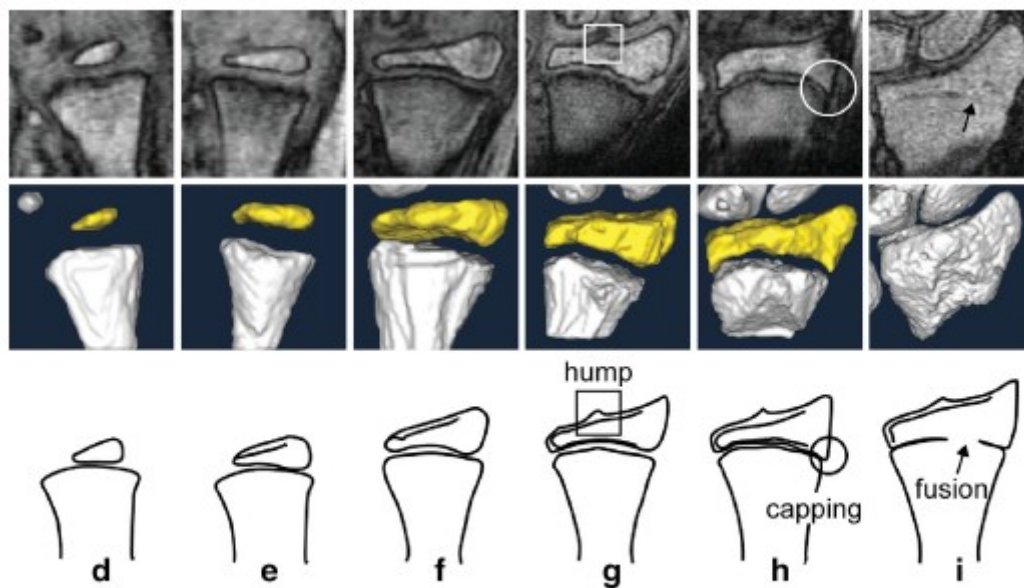
V Japonsku se provedla studie, jejímž cílem bylo zjistit, zda je magnetická rezonance vhodná pro odhad kostního věku. Vyšetření probíhalo následovně. Byl použit otevřený, kompaktní přístroj s permanentním magnetem, NEOMAX Engineering vyrobený v Japonsku. Intenzita pole tohoto přístroje byla 0,3 Tesla, homogenita pole byla 50 mm na 22x22x8 a váha přístroje činila 700 kilogramů. Přístroj byl původně určen pro vyšetření ruky, kde mohla být diagnostikována revmatoidní artritida. Radiofrekvenční cívka o šestnácti závitech byla uzpůsobena pro zobrazování dětské ruky a zápěstí. Aby docházelo k co nejmenšímu pohybu, sedělo každé vyšetřované dítě na židli a sledovalo televizní obrazovku, přičemž vyšetřovaná ruka byla pevně, ale bezbolestně fixována na plastové podložce pomocí flexibilní pásky. Byla použita 3D koherentní gradientní sekvence, přičemž doba setrvání byla 20 mikrosekund. TR trval 40 ms a TE 11 ms. Celá doba vyšetření trvala 2 minuty a 44 sekund.

Výsledek hodnotili dva lékaři z ortopedie, kteří pracovali nezávisle na sobě. Použili metodu TW2 – RUS, jejíž hodnoty byly upraveny pro japonské děti. Snímky byly hodnoceny dvakrát po dobu dvou týdnů. Korelace mezi kalendářním věkem a kostním věkem zobrazeným pomocí magnetické rezonance byl dopočítána pomocí jednoduché regresní analýzy. Snímky byly vytvořeny v axiální a koronální rovině. Na snímcích A a C lze jasně rozeznat os hamate (označena žlutou šipkou). Na zvětšeném snímku B (v koronální rovině) jsou červenými šipkami označeny morfologické rysy epifýz na krátkých kostech, které lze snadno přehlédnout. Snímek D je trojrozměrnou rekonstrukcí segmentovaných kostí.

Zde jsou znázorněny detailní struktury epifyzy, jež byly použity pro určení kostního věku (Terada et al., 2012, s. 1698).



Obrázek 4: MR levé ruky a distálního předloktí v koronální a axiální rovině a 3D rekonstrukce (převzato Terada et al., 2012, s. 1699).



4. Skeletal assessment of the distal epiphysis of the radius for TW2 stages from d to i. The chronological ages and sexes of each steer are (d) 5.1 (boy), (e) 4.2 (girl), (f) 9.9 (boy), (g) 11.5 (boy), (h) 14.0 (girl), and (i) 16.4 (boy). The schematic representations in the r part were drawn according to Ref. 2. [Color figure can be viewed in the online issue, which is available at wileyonlinelibrary.com.]

Obrázek 5: Vývoj osifikace epifýz radii (převzato Terada et al., 2012, s. 1701).

Vývojové změny u jednotlivých kostí byly posouzeny metodou TW2, na základě ukazatelů poznatelných na snímcích z vyšetření magnetickou rezonancí. U distálních epifýz radia (bílá barva) se na palmární a dorsální straně začaly tvořit plochy pro kloubní spojení. Epifýzy distálního falangu palce (červená šipka) ukazují na utváření sedla. Proximální falangy (modré šipky) jsou širší než diafýzy. Jejich kloubní spoje jsou mírně vyklenuté. Metakarpy jsou širší než kloubní spoje. Tyto změny jsou klíčovými znaky, neboť vymezují určitý věk, ve kterém se vyšetřovaný jedinec nachází (Terada et al., 2012, s. 1698).

Na základě studie došli japonští vědci k názoru, že použití magnetické rezonance v diagnostice kostního věku by bylo možné, neboť výsledky určení skeletální zralosti jsou přesné a věrohodné (Terada et al., 2012, s. 1702).

## 4 SPECIFIKA DĚTSKÉ RADIOLOGIE

Radiologie u dětí patří do zvláštní kategorie radiologie. Vyžaduje speciální přístup radiologických asistentů a lékařů. Děti trpí jinými nemocemi. U novorozenců a malých dětí se můžeme setkávat s vrozenými nebo vývojovými vadami. Při hodnocení rentgenových snímků bychom neměli zapomínat ani na fyziologické odchylky nacházející se v průběhu vývoje (Seidl et al., 2012, s.73).

Dětský organismus, jenž teprve roste a vyvíjí se, je na rentgenové záření asi 10x citlivější než je to u organismu dospělých. Digitalizace konvenční radiografie snižuje dávky radiace. Dětské oddělení bývají přednostně vybavena těmito systémy (Vomáčka et al., 2012, s. 123).

### 4.1 Radiační ochrana u dětí

U dětí je dvojnásobně důležité dbát na ochranná opatření proti ionizujícímu záření. Jakákoliv indikace k rentgenovému vyšetření by měla být důsledně zvážena. Týká se to klasických vyšetření a také výpočetní tomografie. Pokud je to možné, použijeme zobrazovací diagnostické metody, které nejsou spojeny s ionizujícím zářením a nejsou spojeny s radiační zátěží. Mezi ně řadíme ultrasonografii a magnetickou rezonanci. Pokud je ale rentgenová metoda nezbytná, maximálně snížíme dávku tak, aby nedošlo ke snížení diagnostické výpovědi. Snížíme hodnotu kV a mAs. Snímky by měly být co nejpřesnější, abychom zamezili opakování expozice. Cloníme primární svazek a vykrýváme stíněním gonády (Seidl et al., 2012, s. 73).

Abychom zamezili pohybovým artefaktům používáme fixační pomůcky určené pro fixaci dětí. Převážně fixujeme novorozence, kojence a menší děti. Výjimečně může dítě držet matka nebo zdravotní sestra, ale radiologický asistent ne. Ten pouze předá instrukce sestře, případně jiné doprovázející osobě. Jestliže dítě drží doprovod, musí být podepsáno poučení, informační souhlas s nelékařským ozářením a do deníku návštěv v kontrolovaném pásmu se tento fakt zaznamená. To vše je potvrzeno podpisem doprovodu (Vomáčka et al., 2012, s. 123).



## 4.2 Snímkování dětí

Národní radiologické standardy (NRS) vycházejí z požadavků Evropské komise a upravují předpisy snímkování u dětí. Používají se RTG přístroje s vysokofrekvenčním generátorem. Napětí rentgenky se pohybuje v rozmezí 60-65 kV (nebo také 40-45 kV) a velikost ohniska bývá 0,6 mm (maximálně do 1,3 mm). Sekundární mřížka se nepoužívá. Ohnisková vzdálenost je v rozmezí od 80 do 100 cm. Expoziční čas je menší než 4 ms a součin proudu a času má být menší nebo roven 5 mAs, přístroje pracují s proudy, které jsou nízké (Seidl et al., 2012, s. 74).

## ZÁVĚR

Tato bakalářská práce si kladla za cíl podat přehled o postupech určování kostního věku a nezastupitelné roli zobrazovacích metod v diagnostice kostního věku.

První kapitola se věnovala růstu a vývoji z fyziologického a patologického hlediska, včetně růstu a vývoji kostí. Definovali jsme biologický a kostní věk.

Ve druhé kapitole jsme se zabývali mezinárodně uznávanými metodami určování kostního věku. V klinické praxi se nejvíce využívá metoda Greulichova a Pyleových, poněvadž je rychlá, jednoduchá a celkem přesná.

Ve třetí kapitole jsme se zabývali zobrazovacími postupy. Rentgenový snímek levé ruky a distálního předloktí je základní vyšetřovací jednotkou v diagnostice skeletální zralosti. Důvodem je zobrazení velkého počtu kostí na malé ploše. Nevýhodou je však určitá radiační zátěž dětského organismu. Proto se vědci zabývají možností využít jiné zobrazovací metody, například kostní denzitometrii, kde se používají nižší hodnoty, tedy je radiační zátěž menší a kvalita zobrazení je téměř shodná s rentgenovým vyšetřením. Ultrazvuk a magnetická rezonance mají výhodu, že zde není radiační zátěž. Tyto metody jsou ale stále předmětem výzkumů a proto se s nimi v praxi setkáme jen výjimečně.

Čtvrtá kapitola poskytla stručné informace o snímkování a radiační ochraně v pediatrické radiologii.

## REFERENČNÍ SEZNAM

KRÁSNIČANOVÁ, Hana - ZEMKOVÁ-HELLEROVÁ, Daniela - LEBL, Jan. Růst dětí a jeho poruchy. 1. vyd. Praha : Galén, 1996. 157 s. ISBN 8085824302.

LEBL, Jan - ZAPLETALOVÁ, Jiřina - KOLOUŠKOVÁ, Stanislava. Dětská endokrinologie. 1. vyd. Praha : Galén, c2004. 479 s. Trendy soudobé pediatrie (Galén); sv. 3. ISBN 8072622501.

STOŽICKÝ, František - PIZINGEROVÁ, Kateřina. Základy dětského lékařství. Vyd. 1. Praha : Nakladatelství Karolinum, 2006. 359 s. Učební texty Univerzity Karlovy v Praze. ISBN 8024610671.

KRÁSNIČANOVÁ, Hana — LESNÝ, Petr. *Kompendium pediatrické auxologie 2005* [[elektronický zdroj]]. Praha : Mladá fronta, 2005.

SEIDL, Zdeněk. Radiologie pro studium i praxi. Vyd. 1. Praha : Grada Publishing, 2012. 368 s., iv s. obr. příl. ISBN 978-80-247-4108-6.

VOMÁČKA, Jaroslav - NEKULA, Josef - KOZÁK, Jiří T. Zobrazovací metody pro radiologické asistenty. 1. vyd. Olomouc : Univerzita Palackého v Olomouci, 2012. 153 s. Odborná publikace. ISBN 978-80-244-3126-0.

NAŇKA, Ondřej - ELIŠKOVÁ, Miloslava. Přehled anatomie. 2., dopl. a přeprac. vyd. Praha : Galén ; Karolinum, c2009. xi, 416 s. ISBN 978-80-7262-612-0.

SEDLAK P, et al. Růstové grafy – limity jejich aktuálního použití. *Pediatrie pro praxi* [online]. 2014 roč. 15, č. 2, s. 113-116 [cit. 6.2.2015] ISSN 1803-5264.

Dostupné z

[http://www.pediatriepropraxi.cz/artkey/ped-201402-0017\\_Rustove\\_grafy\\_8211\\_limity\\_jejich\\_aktualniho\\_pouziti.php](http://www.pediatriepropraxi.cz/artkey/ped-201402-0017_Rustove_grafy_8211_limity_jejich_aktualniho_pouziti.php)

MANZOOR, Mughal A., Hassan NUZHAT a Ahmed, ANWAR. Bone age assessment methods: a critical review. *Pakistan Journal Of Medical Sciences* [online]. 2014, roč. 30, č. 1, s. 211-215 [cit. 17.2.2015 ]. ISSN 1681715X . Dostupné z: DOI: 10.12669/pjms.301.4295

HSIEH, C-W et al. Simplified radius, ulna, and short bone-age assessment procedure using grouped-Tanner-Whitehouse method. *Pediatrics International* [online]. 2011, roč. 53, č. 4 , s. 567-575 [cit.17.2.2015]. ISSN 1442-200X. Dostupné z DOI: 10.1111/j.1442-200X.2011.03378.x

DE SANCTIS, V, et al. 'Hand X-ray in pediatric endocrinology: Skeletal age assessment and beyond', *Indian Journal Of Endocrinology And Metabolism* [online]. 2014, roč. 18, supl 1, s. S63-S71 [cit. 17.2.2015]. ISSN 2230950. Dostupné z DOI: 10.4103/2230-8210.145076

HEPPE, DM et al. 'Bone age assessment by dual-energy X-ray absorptiometry in children: an alternative for X-ray?', *The British Journal Of Radiology* [online]. 2012, roč. 85, č. 1010, s. 114-120 [cit. 25.2. 2015]. ISSN 00071285. Dostupné z DOI: 10.1259/bjr/23858213

HORTER, MJ et al. 'Determination of skeletal age : comparison of the methods of Greulich and Pyle and Tanner and Whitehouse', *Der Orthopäde* [online]. 2012, roč. 41, č. 12, s. 966-976 [cit. 5.3.2015]. ISSN 00854530. Dostupné z DOI: 10.1007/s00132-012-1983-y.

MENTZEL, H; et al. Assessment of skeletal age at the wrist in children with a new ultrasound device. *Pediatric Radiology* [online]. 2005, roč. 35, č. 4, s.429-433 [cit. 5.3.2015]. ISSN 03010449. Dostupné z DOI: 10.1007/s00247-004-1385-3

YILDIZ, M et al. 'Implementation and statistical evaluation of a web-based software for bone age assessment', *Journal Of Medical Systems* [online]. 2011, roč. 35, č. 6, s. 1485-1489 [cit. 15.3.2015]. ISSN 0148-5598. Dostupné z DOI: 10.1007/s10916-009-9425-z

TERADA, Y et al. 'Skeletal age assessment in children using an open compact MRI system', *Magnetic Resonance In Medicine: Official Journal Of The Society Of Magnetic Resonance In Medicine / Society Of Magnetic Resonance In Medicine* [online]. 2013, roč. 69, č. 6, s. 1697-1702 [cit. 18.3.2015]. ISSN 07403194. Dostupné z DOI: 10.1002/mrm.24439

DEDOUIT,F, et al. Age assessment by magnetic resonance imaging of the knee: a preliminary study. *Forensic Science International* [online]. 2012, roč. 217, č. 1-3, s.232.e1-7 [cit. 10.3.2015] ISSN 03790738. Dostupné z DOI: 10.1016/j.forsciint.2011.11.013

## SEZNAM ZKRATEK

- NRS - národní radiologické standardy
- např. - například
- tzn. - to znamená
- RTG – rentgen
- resp. - respektive
- atd. - a tak dále
- cm – centimetr
- mm – milimetr
- ms - mikrosekunda
- ACTH – adenokortikotropní hormon
- PBM – peak bone mass
- RUS – radius – ulna – short bones
- TE – time to echo
- TR – time to repeat

# SEZNAM TABULEK

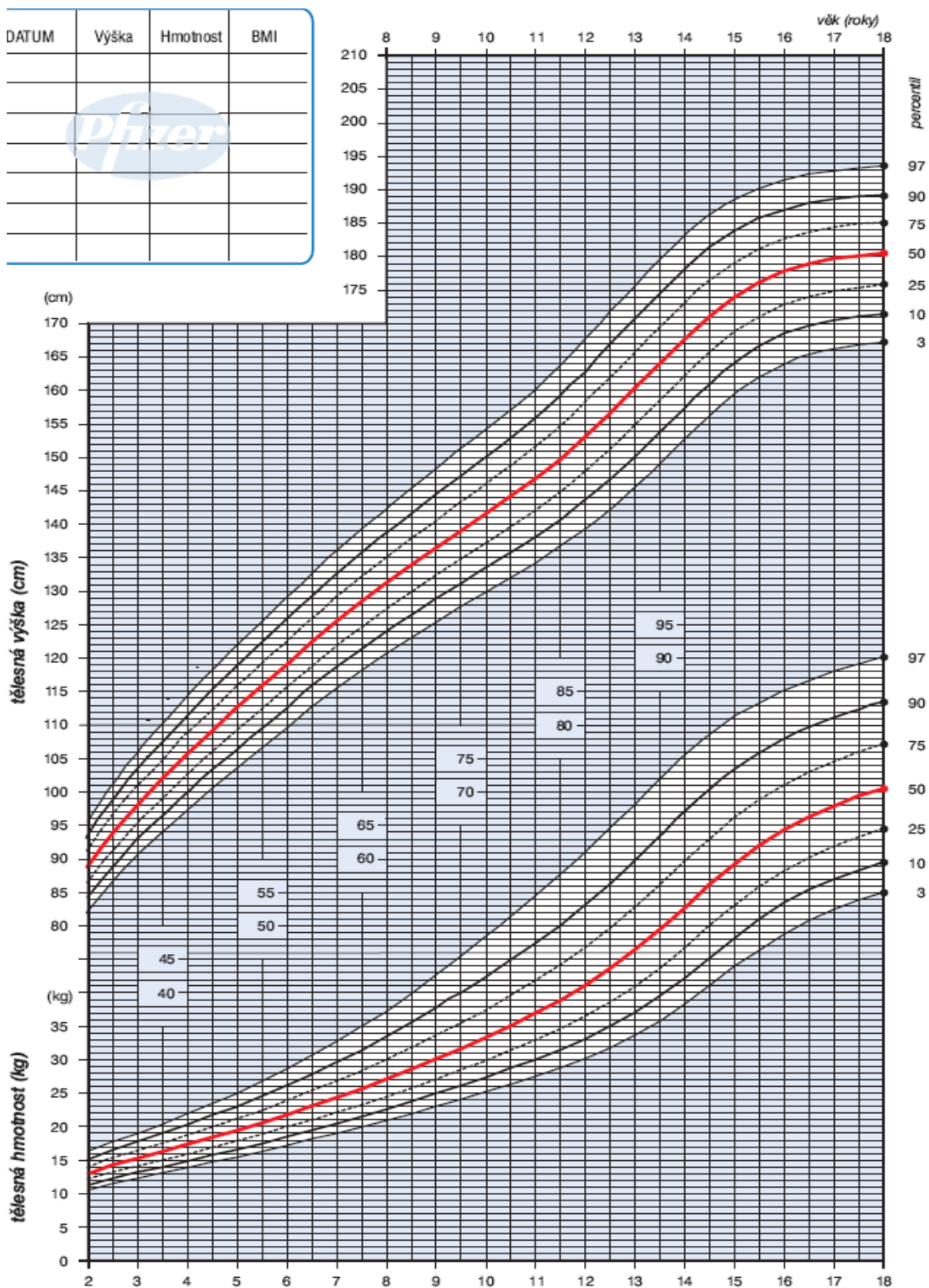
Tabulka1.....	26
---------------	----

## SEZNAM OBRÁZKŮ

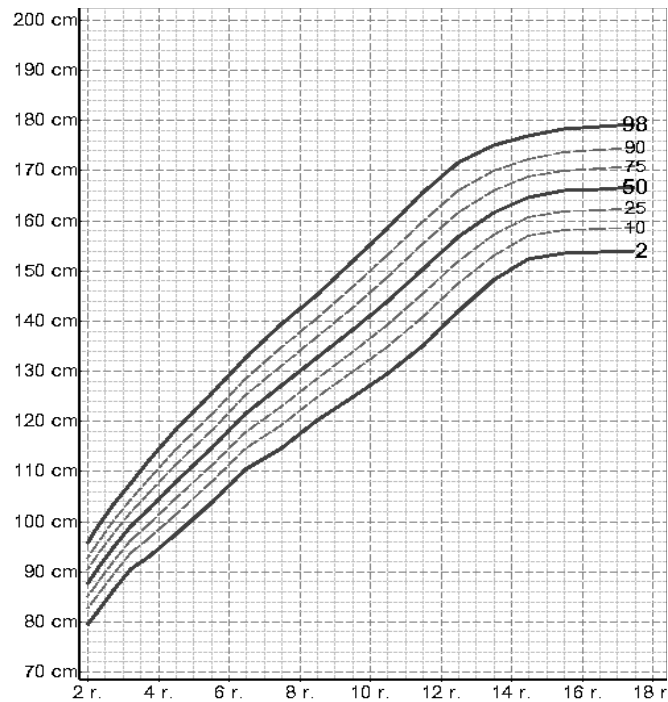
Obrázek 1.....	18
Obrázek2.....	21
Obrázek3.....	25
Obrázek4.....	30
Obrázek5.....	30



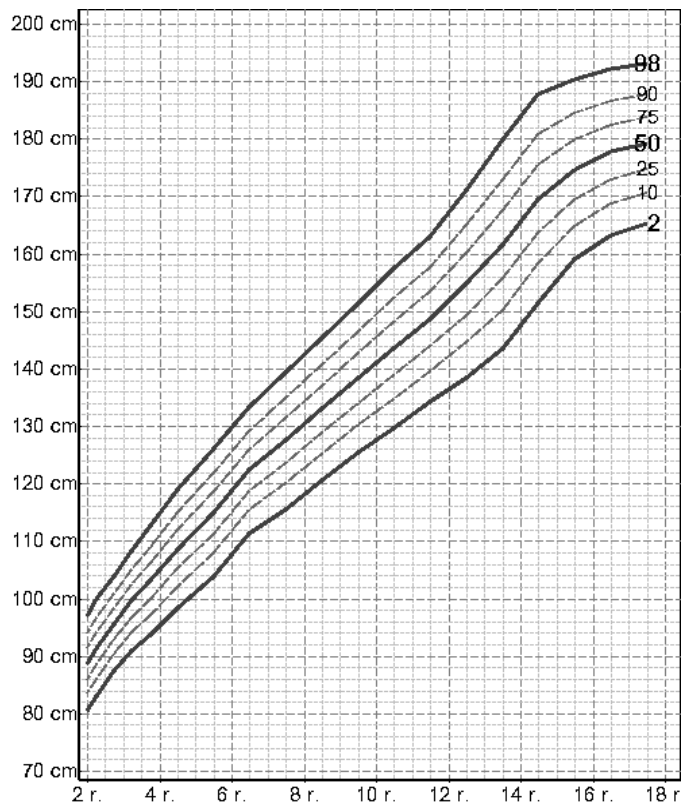
# OBRAZOVÁ PŘÍLOHA



Příloha 1: Růstový percentilový graf (převzato: archiv autora).

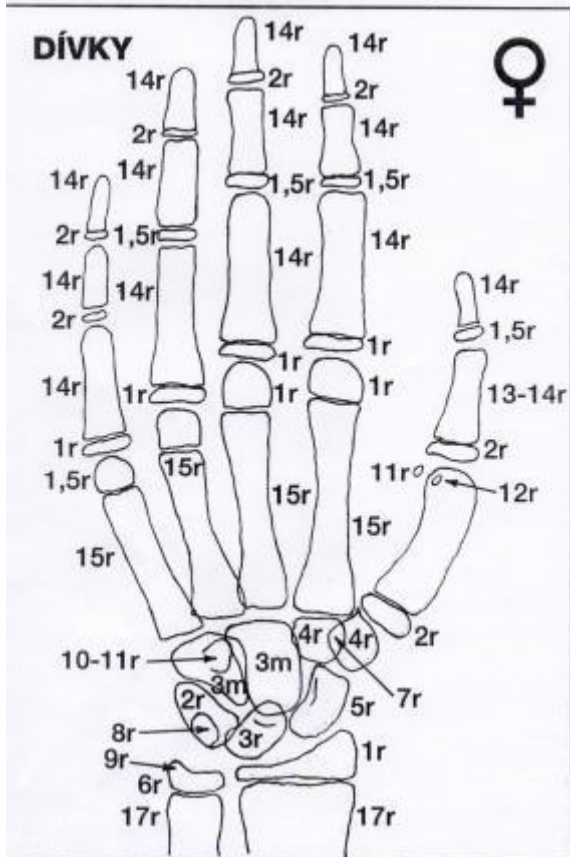


*Příloha 2: Růstový percentilový graf DÍVKY  
(převzato: Krásničanová, Lesný, 2005, s. neuvedena)*

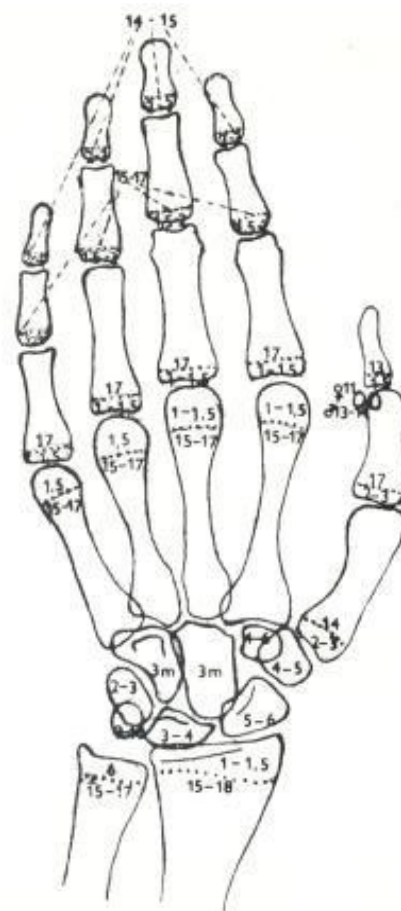


*Příloha 3: Růstový percentilový graf CHLAPCI  
(převzato: Krásničanová, Lesný, 2005, s. neuvedena)*

**Plně vyvinuté zápěstní kůstky 13-14 r.**



*Příloha 4: Osifikace kostí ruky a zápěstí v atlasu (převzato: Bakaj Zbrožková, Michálková).*



*Příloha 5: Osifikace kostí ruky a zápěstí v atlasu (převzato: Bakaj Zbrožková, Michálková).*



*Příloha 7: RTG levé ruky a zápěstí - 3 roky (převzato: archiv FNOL).*



*Příloha 6: RTG levé ruky a zápěstí - 5 let (převzato: archiv FNOL).*



*Příloha 8: RTG levé ruky a zápěstí - 7 let (převzato: archiv FNOL).*



*Příloha 9: RTG levé ruky a zápěstí - 11 let (převzato: archiv FNOL).*



*Příloha 10: RTG levé ruky a zápěstí pacienta (10 let) s adrenogenitálním syndromem, osifikace odpovídá 13,5 let (převzato: archiv FNOL).*