

Univerzita Karlova v Praze
Přírodovědecká fakulta

Studijní program: Biologie

Studijní obor: Biologie

Katedra antropologie a genetiky člověka



Natálie Tichá

**Růst páteře v dětství a adolescenci s ohledem na pacienty
s adolescentní idiopatickou skoliózou**

The growth of the spine in childhood and adolescence considering patients
with adolescent idiopathic scoliosis

Bakalářská práce

Vedoucí závěrečné práce: RNDr. Daniela Zemková, CSc.

Praha, 2015

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci vypracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla použita k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze

.....

Natálie Tichá

Poděkování:

Za odborné konzultace a podnětné připomínky děkuji své školitelce RNDr. Daniele Zemkové, CSc.

ABSTRAKT

Znalost fyziologických růstových parametrů, zahrnujících především celkový tělesný růst, spinální růst a pubertální růstový spurt, je zásadní v léčbě všech pacientů s deformitami páteře a dovoluje lepší pochopení jak normálního, tak abnormálního růstu páteře a patologických změn vyvolaných počátkem spinální deformity v rostoucí páteři. Dětství zahrnuje kromě změn v tělesných proporcích i změny v sexuálním vývoji. Sexuální maturace vykazuje velmi těsnou korelační závislost se skeletálním vývojem. Právě kostní věk je důležitým parametrem používaným k posouzení vývoje a růstu dítěte a souvisí s maximální růstovou rychlostí v době pubertálního spurtu. Tato bakalářská práce je zaměřena na shrnutí poznatků o růstu páteře v dětství a adolescenci pro účely predikce růstu páteře v klinické praxi. V práci je přihlíženo na pacienty s adolescentní idiopatickou skoliózou, která je nejběžnější deformitou páteře u dětí a adolescentů.

Klíčová slova

páteř, růst, dětství, adolescence, adolescentní idiopatická skolióza, puberta, výška vsedě, kostní věk, Risserovo znamení

ABSTRACT

The knowledge of normal growth parameters, mainly including total body growth, spinal growth and pubertal growth spurt, is essential in treatment of all patients with spinal deformities and it allows a better understanding of both normal and abnormal spine growth and of the pathologic changes caused by onset spinal deformity in a growing spine. Childhood includes changes both in body proportions and also changes in sexual development. Sexual maturation has very tight correlation to skeletal development. Bone age is an important parameter used in consideration of development and growth of the child, it relates to maximal growth rate in time of pubertal spurt. This thesis is focused on summary of findings of spinal growth in childhood and adolescence in order to predict spine growth in clinical practice. The thesis considers patients with adolescent idiopathic scoliosis, which is the most common spinal deformity that affects children and adolescents.

Keywords

spine, growth, childhood, adolescence, adolescent idiopathic scoliosis, puberty, sitting height, bone age, Risser sign

OBSAH

| | | |
|---------|--|----|
| | SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK | |
| 1 | ÚVOD | 1 |
| 2 | ANATOMIE PÁTEŘE | 2 |
| 2.1 | Obratle | 2 |
| 2.1.1 | Charakteristika obratle..... | 2 |
| 2.1.2 | Atlas a axis | 2 |
| 2.1.3 | Křížová kost | 3 |
| 2.1.4 | Kostrč | 3 |
| 2.2 | Meziobratlová ploténka | 3 |
| 2.3 | Fyziologické zakřivení páteře | 4 |
| 2.3.1 | Formování lordózy | 4 |
| 2.4 | Skolióza | 4 |
| 3 | RŮST A VÝVOJ ČLOVĚKA | 5 |
| 3.1 | Dělení růstu podle Karlberga | 5 |
| 3.2 | Sexuální maturace | 7 |
| 3.2.1 | Puberta..... | 7 |
| 3.2.2 | Sekundární pohlavní znaky | 7 |
| 4 | RŮST SE ZAMĚŘENÍM NA PÁTEŘ | 9 |
| 4.1 | Růst páteře podle antropometrických údajů..... | 9 |
| 4.1.1 | Tělesná výška | 9 |
| 4.1.2 | Výška vsedě..... | 9 |
| 4.1.2.1 | Sekulární trend | 11 |
| 4.1.2.2 | Výška vsedě a rozměry hrudníku | 12 |
| 4.1.3 | Subischiální délka dolní končetiny..... | 12 |
| 4.1.4 | Rozpětí paží | 13 |

| | | |
|-------|---|----|
| 4.2 | Růst páteře podle radiologických dat..... | 13 |
| 4.2.1 | Rozdílný tvar obratlových těl v rámci pohlaví..... | 14 |
| 4.2.2 | Porovnání růstu páteře pacientů s AIS a zdravých jedinců..... | 14 |
| 4.2.3 | Růst hrudní páteře..... | 15 |
| 4.2.4 | Predikce délky páteře na základě rozměrů pánve..... | 16 |
| 5 | BIOLOGICKÝ VĚK..... | 18 |
| 5.1 | Kostní věk..... | 18 |
| 5.1.1 | Risserovo znamení..... | 18 |
| 5.1.2 | Tanner-Whitehouse 3 metoda..... | 20 |
| 5.1.3 | Digitální kostní věk a zjednodušená TW3 metoda..... | 22 |
| 6 | ZÁVĚR..... | 24 |
| 7 | SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY..... | 25 |

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

| | |
|----------|---|
| AIS | adolescentní idiopatická skolióza |
| C1 – C7 | značení krčních obratlů |
| CAP | curve acceleration phase (akcelerační fáze zakřivení – progrese skoliotické křivky) |
| CT | computed tomography (počítačová tomografie) |
| DSA | digital skeletal age (digitální kostní věk) |
| IS | idiopatická skolióza |
| L1 – L5 | značení bederních obratlů |
| S1 – S5 | značení křížových obratlů |
| T1 – T12 | značení hrudních obratlů |
| TW3 | Tanner-Whitehouse 3 (metoda hodnocení kostního věku) |
| TW3-RUS | radius – ulna – short bones (kompartment kostního věku podle TW3 metody) |

1 ÚVOD

Růst a vývoj člověka je dlouhý a komplikovaný proces urychlujících a zpomalujících fází, ve kterém dochází k souhře mnoha jednotlivých faktorů. Tělesný růst je indikátorem zdraví jedince, proto je znalost fyziologických růstových parametrů a vývoje nezbytná pro včasné rozpoznání patologických stavů a následnou léčbu pacienta. Dětství zahrnuje značné změny v sexuálním vývoji a v tělesných proporcích, které jsou vysoce variabilní, jelikož jsou ovlivněny genetickými, hormonálními, nutričními, environmentálními a socioekonomickými faktory (Rosen 2004). Na kostře tyto změny zahrnují maturaci, longitudinální růst a kostní růst (Gilsanz 2010). Znalost všech těchto parametrů dovoluje lepší pochopení jak normálního, tak abnormálního růstu páteře a patologických změn vyvolaných počátkem spinální deformity v rostoucí páteři. Deformita páteře se obvykle s růstem pacienta zhoršuje, což může mít za následek negativní vliv na tělesnou výšku, tvar hrudního koše a vývoj plic.

Růst páteře je možné monitorovat pomocí radiologických technik. V případě antropometrických měření o růstu páteře během dětství a adolescence vypovídá zejména zvýšení výšky vsedě (Nicolopoulos, Burwell and Webb 1985; Aldegheri and Agostini 1993). Výška vsedě koreluje s výškou trupu a na rozdíl od subischální délky končetin pokračuje v růstu i po dosažení kostní zralosti (Howell, Mahood and Dickson 1992; Fredriks et al. 2005; Stokes and Windisch 2006, Molinari, Gasser and Largo 2013). Růst páteře je však oproti dlouhým kostem zmapován méně podrobně.

Cílem této práce je shrnout poznatky o růstu páteře během dětství a adolescence pro účely predikce růstu páteře v klinické praxi. V práci je přihlíženo na pacienty s adolescentní idiopatickou skoliózou, jež je nejběžnější deformitou páteře u dětí a adolescentů.

2 ANATOMIE PÁTEŘE

Páteř, osová kostra trupu, je pevná a pohyblivá opora těla a mimo to též slouží jako ochrana míchy (Čihák 2001). Páteř člověka se skládá z 33–34 obratlů, které s růstem podstupují nejen změny morfologické, ale i velikostní. Anatomicky můžeme páteř rozdělit na dvě části: anteriorní, zahrnující obratlová těla a posteriorní, která je tvořena obratlovým obloukem s výběžky. Longitudinální růst anteriorní části vzniká v růstových ploténkách díky enchondrální osifikaci a pokračuje až do věku 16 až 18 let jedince. Naopak enchondrální osifikace posteriorních elementů je kompletní na konci první dekády života a posteriorní elementy následovně rostou pouze obvodově díky membranózní osifikaci (Guo et al. 2003).

2.1 Obratle

Základní nosnou komponentou páteře jsou obratle. Ty jsou spojené meziobratlovými ploténkami (kromě spojení atlas – hlava a atlas – axis) a zajišťují pružné a při tom pevné spojení jednotlivých segmentů osového orgánu a současně tvoří ochranu řídicích míšních struktur pro pohyb svalů (Véle 1997).

Obratle jsou fixovány vazy a svaly podél páteře. Přesto, že je jejich struktura podobná, tak se jednotlivé obratle liší jak tvarem, tak velikostí, čímž se vysvětluje jejich rozdílná funkce v jednotlivých úsecích páteře. Případná změna tvaru obratlů nebo jejich polohy vůči sobě vede ke zhoršení flexibility a stability páteře (Véle 2006).

2.1.1 Charakteristika obratle

Každý presakrální obratel (s výjimkou prvních dvou, které jsou popsány níže) se skládá z těla obratle, obratlového oblouku, ohraničujícího obratlový otvor, čtyř kloubních výběžků, dvou příčných a jednoho výběžku trnového (Dylevský 2009). Obratlová těla jsou nejmasivnější částí obratlů, jelikož jsou nosnými prvky páteře. Zezadu k tělu obratle je připojen obratlový oblouk, který má především funkci ochrannou. K obloukům obratlů jsou připojeny kloubní výběžky, jde o jeden nepárový výčnělek a dva typy párových výběžků. Od oblouků dále odstupují příčné výběžky a dozadu vybíhají nepárové trnové výběžky (Dylevský 2009). Souhrnně jsou presakrální obratle popsány v tabulce 1.

2.1.2 Atlas a axis

První krční obratel se nazývá atlas (nosič). Od ostatních se liší především tím, že nemá tělo. Atlas tvoří pouze dva kostěné oblouky a chybí mu trnový výběžek. Přes svůj název ovšem není hlavním nosičem hlavy, většinu zátěže nese až druhý krční obratel, který je velmi pevný a robustní a nazýváme ho axis (čepovec). Z těla druhého krčního obratle vybíhá zub, čímž se liší od ostatních krčních obratlů (Dylevský 2009).

Tab. 1 Dělení úseků páteře podle typů presakrálních obratlů (podle Čihák 2001).

| Úsek páteře | Počet obratlů | Základní charakteristika |
|---------------------------------|-----------------|---|
| Krční | 7 (C1 – C7) | vyjma C1 a C2: nízká těla obratlů rozeklaný trnový výběžek velký obratlový otvor |
| Hrudní | 12 (Th1 – Th12) | vyšší těla obratlů trnový výběžek směřuje šikmo dolů příčné výběžky mají fasetu pro spojení s žebry |
| Bederní | 5 (L1 – L5) | vysoká a robustní těla obratlů mohutný a krátký trnový výběžek příčné výběžky vybíhají v kostální |
| celkem 24 presakrálních obratlů | | |

2.1.3 Křížová kost

Křížová kost je původně složena z pěti izolovaných křížových obratlů (S1 – S5), které postupně osifikují a srůstají v kost jedinou. Tato kost je nepohyblivou součástí páteře a zároveň i součástí kostry pánve. Právě s kostrou pánve a kyčelními klouby tvoří podpěrný systém (Dylevský 2009).

2.1.4 Kostrě

Kostrě je malá kost tvaru trojúhelníku tvořící zakončení páteře. Obvykle se skládá z 4–5 spojených obratlů (Co1 – Co5) a svým tvarem je velmi variabilní. Kostrě je ke křížové kosti připojena chrupavkou (Dylevský 2009).

2.2 Meziobratlová ploténka

Presakrální obratle jsou spojené meziobratlovými ploténkami či meziobratlovými disky, což jsou pružné a pevné chrupavčité destičky. Těchto plotének máme na páteři celkem 23 (první mezi obratli C2 a C3, poslední mezi obratli L5 a S1) (Čihák 2001; Dylevský 2009). Celková výška všech meziobratlových plotének (cca 8–10 mm vysokých s průměrem 4 cm) představuje přibližně jednu čtvrtinu celkové délky páteře (Shankar, Scarlett and Abram 2009).

Meziobratlová ploténka má ledvinovitý tvar a je tvořena vazivovou chrupavkou organizovanou na vnější část (annulus fibrosus) a vnitřní část (nucleus pulposus). Hraniční plochu kontaktu s přiléhajícími obratli tvoří chrupavka hyalinní (Čihák 2001). Hlavní složkou meziobratlové ploténky je voda (Arlet and Antoniou 2003), která slouží jako hydrodynamický tlumič, absorbující statické i dynamické zatížení páteře (Kapandji 1974).

2.3 Fyziologické zakřivení páteře

Páteř dospělého člověka je charakteristická zakřivením v sagitální (předozadní) rovině, které jí dodává pružnost. Rozlišujeme lordózu, obloukovité zakřivení vyklenuté dopředu, a kyfózu, opak lordózy, tedy obloukovité zakřivení dozadu. Obě zakřivení se na páteři střídají kraniokaudálně (krční lordóza, hrudní kyfóza, bederní lordóza). Esovité zakřivení páteře je zakončeno promontoriem, což je úhlovité zalomení páteře mezi obratlem L5 a částí kosti křížové značenou S1. Kost křížová dále pokračuje kyfotickým zakřivením (Čihák 2001).

2.3.1 Formování lordózy

Krční lordóza se začíná formovat v době, kdy dítě při lehu na břiše zaujímá oporu o předloktí a zvedá hlavu činností šíjového svalstva a tím se mění původně kyfotické zakřivení celé presakrální páteře. Bederní lordóza se formuje o několik měsíců později, kdy se dítě učí samostatně stát spolu s rozvojem bipedální chůze. K fixaci obou lordóz dochází až v 6. roce života dítěte (Čihák 2001).

2.4 Skolióza

Vedle fyziologických zakřivení páteře v sagitální rovině (lordózy a kyfózy), může být páteř vybočená i v rovině frontální, tento jev nazýváme skolióza. Hranice mezi skoliózou fyziologickou a patologickou nejsou přesné, avšak Společnost pro výzkum skoliózy (The Scoliosis Research Society) definuje patologickou skoliózu jako stranové zakřivení páteře v rozsahu 10 a více stupňů, jenž je většinou spojené s rotací obratlových těl a pravidelně doprovázeno porušením fyziologických zakřivení v sagitální rovině (Repko, 2010). Kotwicky et al. (2007) proto tvrdí, že skolióza je trojrozměrná deformita páteře a hrudníku.

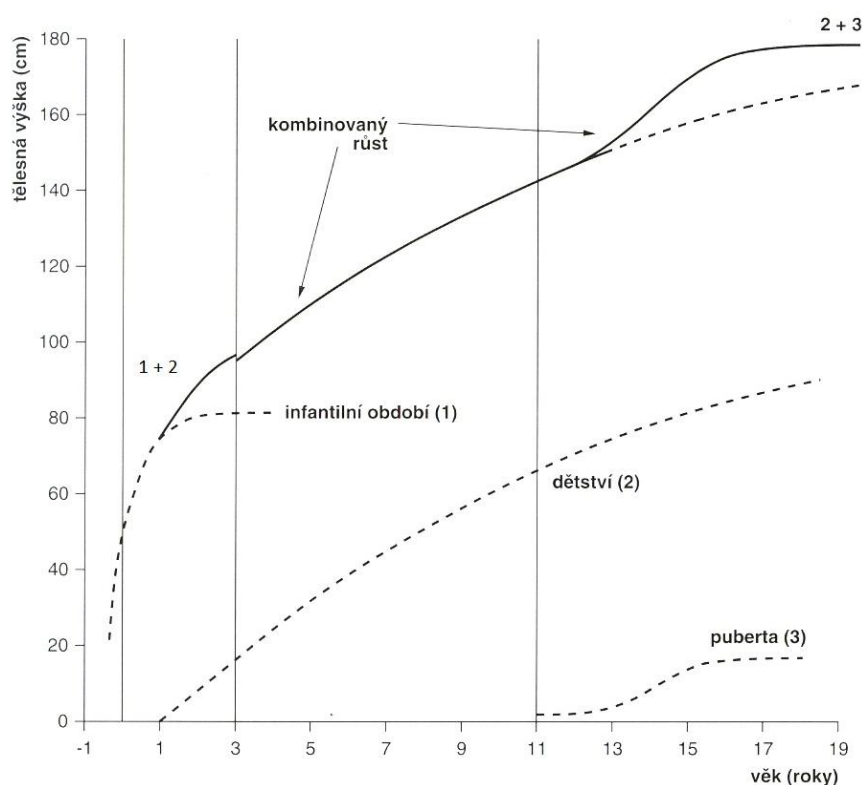
Skolióza je nejběžnější deformita páteře u dětí a adolescentů (Konieczny, Senyurt and Krauspe 2013). Má mnoho příčin, nejčastěji se však vyskytuje jako skolióza idiopatická, tedy skolióza z neznámé příčiny (Lonstein 1994). Navzdory mnohaletým výzkumům je etiologie idiopatické skoliózy stále nejasná, teorie vzniku zahrnují genetické, hormonální, mechanické, metabolické, neuromuskulární a růstové abnormality. Na základě různorodosti názorů na vznik idiopatické skoliózy je proto etiologie této deformity považována za multifaktoriální (Lowe et al. 2000). Idiopatická skolióza se objevuje v různém období růstu u jedinců s do té doby zcela normální páteří, přičemž deformita se s růstem pacienta obvykle zhoršuje. Podle období vzniku ji dělíme na tři typy: infantilní skoliózu, která vzniká od narození do 3 let věku, juvenilní od 4 do 10 let věku (do počátku puberty) a adolescentní skoliózu, jež se objevuje po 10. roku věku během pubertálního růstového spurtu (James 1954). Nověji je možné setkat se i s rozdělením idiopatické skoliózy na časně začínající (do 5 let věku) a pozdě začínající skoliózu (od 5 let věku). V této práci je zmiňována především adolescentní idiopatická skolióza (AIS), jež tvoří až 90 % případů idiopatické skoliózy a je asociována s rychlým růstem během puberty (Ylikoski 1993; Little et al. 2000; Song and Little 2000; Konieczny, Senyurt and Krauspe 2013).

3 RŮST A VÝVOJ ČLOVĚKA

Růst je výsledek interakce genetických a environmentálních faktorů (Lebl and Krásničanová 1996). Genetický růstový potenciál, který se klinicky manifestuje po zapojení hlavní postnatální růstové osy, tj. přibližně od druhého roku života, se uplatňuje až z 80 % (Sedlak and Bláha 2007). Uplatnění genetického růstového potenciálu je limitováno působením faktorů vnějšího prostředí, které se na růstu podílejí až 20 %. Růst a vývoj člověka je dlouhý a komplikovaný proces urychlujících a zpomalujících fází, ve kterém dochází k souhře mnoha jednotlivých faktorů. Tělesný růst je indikátorem zdraví jedince, proto je znalost fyziologických růstových parametrů a vývoje člověka nezbytná pro včasné rozpoznání patologických stavů a pro následnou léčbu pacienta.

3.1 Dělení růstu podle Karlberga

Švédský auxolog Karlberg (1987) rozdělil růst člověka do tří oddělených následných a částečně se překrývajících komponent: I (Infanci), C (Childhood) a P (Puberty). ICP model růstu (obr. 1) reflektuje endokrinologii růstového procesu (Karlberg 1987; Karlberg et al. 1994).



Obr. 1 ICP model růstu (upraveno podle Karlberg 1989).

Infantilní komponenta růstové křivky (I) je přímým pokračováním fetálního růstu a vymizí okolo 3. až 4. roku věku (Karlberg 1987; Karlberg et al. 1994). Komponenta I je považována za závislou na výživě a je blízce spojená s IGF (insulinu podobný růstový faktor) (Leger et al. 1996; Gohlke et al. 2004).

Dětská komponenta růstové křivky (C) se začíná uplatňovat během druhé poloviny prvního roku života a její vliv pomalu zpomaluje, ačkoliv pokračuje až doby než se růst zastaví (Karlberg 1987; Karlberg et al. 1994). Fyziologické rozmezí pro začátek růstové fáze dětství bylo stanoveno mezi 6 až 12 měsíci (Karlberg et al. 1994) a v poslední době na základě širšího souboru dat mezi 6 až 15 měsíci věku (Liu, Wikland and Karlberg 2000). Komponenta C je zrcadlem působení růstového hormonu (Wit and Van Unen 1992).

Pubertální komponenta růstové křivky (P) reprezentuje fázi přídatného růstu indukovaného pubertou. Zatímco dětství (C) je období pravidelného (lineárního) růstu, pubertální období je charakteristické intenzivním tělesným růstem. Komponenta P je urychlená až dosažení vrcholu růstové rychlosti a poté zpomaluje, dokud se růst nezastaví (Karlberg 1987). Adolescentní růst je tvořený dvěma různými růstovými systémy, jeden je závislý na růstovém hormonu a druhý na pohlavních hormonech (Karlberg 1987; Karlberg 1989).

Tab. 2 Průměr přírůstku výšky vsedě, délky končetin a tělesné výšky pro každou komponentu ICP růstového modelu pro obě pohlaví (podle Karlberg et al. 1994).

| <i>Měření</i> | <i>Pohlaví</i> | <i>Komponenta I</i> <i>(cm)</i> | <i>Komponenta C</i> <i>(cm)</i> | <i>Komponenta P</i> <i>(cm)</i> | <i>Celkem</i> <i>(cm)</i> |
|-----------------------|----------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------|
| Výška vsedě | Chlapci | 48,9 | 36,7 | 8,8 | 94,4 |
| | Dívky | 48,0 | 34,7 | 5,9 | 88,5 |
| Délka končetin | Chlapci | 30,0 | 48,6 | 6,6 | 85,2 |
| | Dívky | 28,8 | 43,7 | 5,0 | 77,5 |
| Tělesná výška | Chlapci | 79,0 | 85,2 | 15,4 | 179,6 |
| | Dívky | 76,8 | 78,4 | 10,9 | 166,1 |

3.2 Sexuální maturace

Dětství zahrnuje značné změny jak v sexuálním vývoji, tak v tělesných proporcích, které jsou vysoce variabilní, jelikož jsou ovlivněny genetickými, hormonálními, nutričními, environmentálními a socioekonomickými faktory (Rosen 2004). Na kostře tyto změny zahrnují maturaci, longitudinální růst a kostní růst (Gilsanz 2010). Sexuální maturace vykazuje velmi těsnou korelační závislost se skeletálním vývojem a následně i s průběhem pubertální růstové akcelerace (Marshall 1974; Zemková 2011).

3.2.1 Puberta

Puberta, období přechodu mezi dětstvím a dospělostí, je po kojeneckém období druhou nejintenzivnější růstovou fází v postnatální ontogenezi. Po klidovém vývojovém období prepuberty dochází během puberty k růstové akceleraci a úplné realizaci genetického růstového potenciálu (Sedlak and Bláha 2007). V načasování pubertálního růstového spurtu existuje široké rozmezí, u zdravých dětí z podobného prostředí se načasování puberty může lišit až o 4 roky (Parent et al. 2003). Vrchol růstového spurtu i jeho načasování jsou pod silnou genetickou kontrolou (Beunen et al. 2000; Palmert and Hirschhorn 2003; Silventoinen et al. 2008). Růstová rychlost během puberty vrcholí podle starších longitudinálních výzkumů přibližně ve 12 letech u dívek a 14 letech u chlapců (Tanner, Whitehouse and Takaishi 1966; Karlberg et al. 1976; Buckler and Wild 1987). Novější výzkumy ukazují, že v rámci sekulárního trendu (viz kapitola 4.1.2.1) se růstový spurt posunuje do nižšího věku a to přibližně na 11 let u dívek a 13 let u chlapců (Iuliano-Burns, Mirwald and Bailey 2001; Bláha et al. 2006; Mellion, Behrents and Johnston 2013). Dívky mají maximální růstovou rychlost během pubertálního spurtu přibližně 8 cm/rok a chlapci 10 cm/rok (Buckler and Wild 1987; Beunen et al. 2000; Iuliano-Burns, Mirwald and Bailey 2001; Cole, Pan and Butler 2014), ačkoliv je nutné počítat s variabilitou v intenzitě a načasování růstového spurtu mezi jednotlivými dětmi, se standardními odchylkami cca 1 cm/rok pro vrchol růstové rychlosti a 1 rok pro věk v době vrcholu růstové rychlosti (Tanner, Whitehouse and Takaishi 1966).

3.2.2 Sekundární pohlavní znaky

Vývoj sekundárních pohlavních znaků podle Tannerovy stupnice zahrnuje růst prsu a menarché u dívek, vývoj genitálu a testikulární objem u chlapců a vývoj pubického ochlupení u obou pohlaví (Marshall and Tanner 1969; Marshall and Tanner 1970). I když jsou práce Marshalla a Tannera (1969; 1970) pro hodnocení pubertálního vývoje zdravých dětí používané dlouhodobě, ve všech vyspělých zemích dochází k urychlení nástupu dospívání (sekulární trend, viz kapitola 4.1.2.1) a je proto vhodné doplnit je o novější údaje z recentních studií, které tento trend potvrzují (Aksglaede et al. 2009; Sørensen et al. 2010).

Rozvoj pubického ochlupení (P) se podle Marshalla a Tannera (1969; 1970) dělí do pěti stádií, přičemž stádium P1 je preadolescentní (žádné ochlupení) a stádium P5 znamená plně adultní ochlupení. Tabulka 3 zobrazuje průměrný věk při dosažení stádia P2 – P4 pro obě pohlaví.

U dívek představuje počátek pubertálního vývoje rozvoj prsu (M), který je stejně jako pubické ochlupení rozdělen podle Marshalla a Tannera (1969) do pěti vývojových stádií (M1 – M5). Počátek vývoje prsů (M2) se podle Aksglaede et al. (2009) objevuje průměrně v 9,9 letech. O rok později za počátkem rozvoje prsů je popisována maximální růstová rychlost a průměrně ve věku 13,1 let se objevuje menarché. Stejný průměrný věk menarché byl naměřen i v ČR v letech 1991 (Lhotská et al. 1993) a 2001 (Vignerová et al. 2006). Za fyziologické je považováno rozpětí 11–15 let (Krásničanová and Veselá 2006, Aksglaede et al. 2009). Věk menarché úzce koreluje s kostním věkem. V čase menarché má dívka už jen malý zbývající růstový potenciál, její tělesná výška dosahuje přibližně 95 % finální hodnoty (Zemková 2011). Pubertální vývoj dívek je uveden v tabulce 3.

U chlapců je počátek puberty definován testikulárním objemem nad 3 ml, za tzv. iniciační je považován objem 4 ml, který se průměrně objevuje kolem 11,7 let (Sørensen et al. 2010). Za fyziologické je považováno rozmezí 10–14 let (URL1). Testikulární objem je zjišťován palpačně za současného porovnání s Praderovým orchidometrem sestaveným z 12 elipsoidů o objemech 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 10, 12, 15, 20 a 25 ml. Velikost testes je přesným korelátem nejen stavu sexuální ale i skeletální maturace. V době nejvyšší růstové rychlosti mezi 13. a 14. rokem by měl být objem testes přibližně 10 ml, přičemž testikulární objem dospělého muže by měl dosahovat minimálně 15 ml (URL1). U chlapců je hodnocen též růst genitálu (G1 – G5). Podle Sørensen et al. (2010) se stádium G2 objevuje v 11,6 letech. Pubertální vývoj chlapců uvádí tabulka 3.

Tab. 3 Průměrný věk vývoje sekundárních pohlavních znaků u dívek a chlapců (podle Aksglaede et al. 2009 a Sørensen et al. 2010).

| Stádium vývoje | Průměrný věk (roky) | |
|---|----------------------------------|-----------------------------------|
| | Dívky (Aksglaede et al. 2009) | Chlapci (Sørensen et al. 2010) |
| M2/G2 | 9,86 | 11,59 |
| M3/G3 | 10,97 | 13,13 |
| M4/G4 | 12,29 | 13,61 |
| P2 | 11,09 | 12,38 |
| P3 | 11,74 | 13,25 |
| P4 | 12,50 | 13,67 |
| menarché/testikulární objem 4 ml | 13,13 | 11,66 |

4 RŮST SE ZAMĚŘENÍM NA PÁTEŘ

4.1 Růst páteře podle antropometrických údajů

Znalost fyziologických růstových parametrů je zásadní v léčbě všech pacientů s deformitami páteře a dovoluje lepší pochopení jak normálního, tak abnormálního růstu páteře a patologických změn vyvolaných počátkem spinální deformity v rostoucí páteři. Deformita páteře se obvykle s růstem pacienta zhoršuje, což může mít za následek negativní vliv na tělesnou výšku, tvar hrudního koše a vývoj plic.

4.1.1 Tělesná výška

Tělesná výška je jedním ze základních parametrů antropometrie. Je to citlivý ukazatel zdravotního stavu jedince, jelikož právě porucha růstu je často prvním projevem onemocnění.

Od narození po dospělost tělo vyrostě přibližně o 1,2 až 1,3 metru. Růst je rychlý do 2 let věku a poté se značně zpomaluje až do začátku puberty (Luo et al. 2003). Ve 2 letech je tělesná výška přibližně 50 % finální výšky v dospělosti, v 9 letech dosahuje 80 % a v pubertě přibližně 86 % finální výšky (Dimeglio, Bonnel and Canavese 2010). Sherar et al. (2005) uvádí, že dítě při maximální růstové rychlosti (peak high velocity, PHV) v době puberty dosahuje 92 % jeho finální výšky.

Tělesná výška je globální ukazatel složený ze dvou komponent – výšky vsedě (růst trupu) a subschiální délky (růst dolních končetin). Jelikož tyto dvě oblasti rostou často v odlišných poměrech a v odlišném čase (Prader 1992; Fredriks et al. 2005), tělesná výška ne vždy přesně koreluje se ztrátou výšky trupu u dětí s deformitami páteře.

4.1.2 Výška vsedě

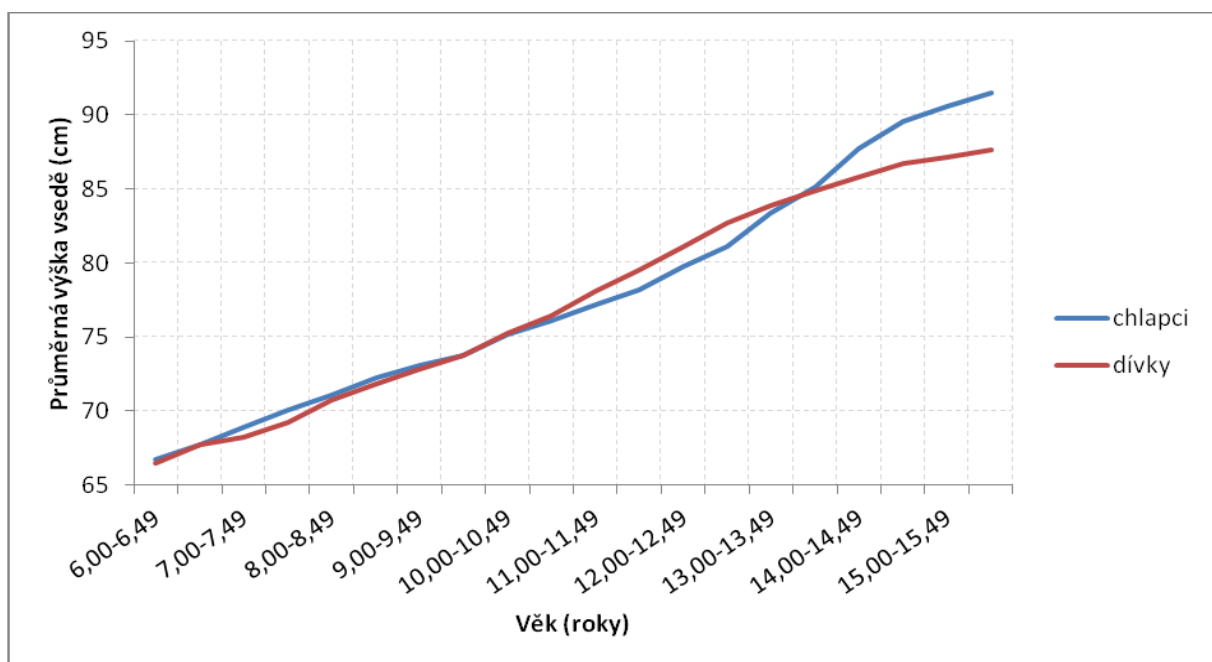
O růstu páteře během dětství a adolescence vypovídá zejména zvýšení výšky vsedě (Tanner et al. 1976; Nicolopoulos, Burwell and Webb 1985; Aldegheri and Agostini 1993; Pathmanathan and Prakash 1994), jež je složeným rozměrem sdružujícím výšku hlavy, krku a trupu. Dítě by vždy mělo být měřeno za stejných podmínek a za použití stejných měřících přístrojů, přičemž u jedinců mladších 2 let je namísto výšky vsedě doporučováno měřit vleže na zádech temenokostrční délku.

U dětí s deformitami páteře ztráta výšky vsedě odpovídá závažnosti deformity. Z tohoto důvodu je u pacientů se skoliózou důležité monitorovat změny výšky vsedě spíše než tělesnou výšku.

Výška vsedě koreluje s výškou trupu a je průměrně přibližně 34 cm při narození (Dimeglio 2006). Od narození do 5 let je charakterizována nárůstem výšky vsedě o 27 cm, přičemž o 12 cm se výška vsedě zvýší během prvního roku života. Od 5 do 10 let nastává podle Dimeglia (2001) zklidňující fáze, kdy výška vsedě roste o 2,5 cm/rok. Na začátku puberty je průměrný zbývajícím růst výšky vsedě přibližně 12,5 cm pro chlapce a 11,5 cm pro dívky; 2/3 z tohoto nárůstu se objevují během vrcholu růstové rychlosti či v akcelerační fázi. Průměrný zbývajícím růst výšky vsedě během decelerační fáze je přibližně 4 cm pro chlapce a 3,5 cm pro dívky (Dimeglio and Canavese 2013).

Fredriks et al. (2005) udává, že výška vsedě reprezentuje 68 % tělesné výšky v infantilním období, ve 3 letech se snižuje na 57 % u obou pohlaví a během puberty výška vsedě reprezentuje 52 % tělesné výšky. Pubertální spurt se objevuje jako první u končetin a až později u trupu (Tanner et al. 1976; Cameron, Tanner and Whitehouse 1982; Prader 1992; Busscher, Wapstra and Veldhuizen 2010; Molinari, Gasser and Largo 2013). V průměrné populaci puberta začíná přibližně s výškou vsedě 75 cm u dívek a 78 cm u chlapců. Když je výška vsedě 84 cm má 80 % dívek menarche (Dimeglio 2001; Dimeglio, Bonnel and Canavese 2010).

Molinari, Gasser a Largo (2013) udávají počátek pubertálního spurtu výšky vsedě v 9,8 letech u dívek a v 11,2 letech u chlapců. Podle semilongitudinální studie českých dětí (Bláha et al. 2006) je počátek pubertálního spurtu výšky vsedě u dívek již v 8,7 letech a u chlapců v 9,9 letech, přičemž vrcholu růstové rychlosti dosahují dívky v 11,9 letech (3,4 cm/rok) a chlapci v 13,9 letech (4 cm/rok). U dívek přírůstky začínají klesat již po 13. roce, zatímco u chlapců jsou zvětšené ještě ve věku 14,5 až 15 let (Bláha et al. 2006). V recentních zahraničních studiích je uváděna maximální růstová rychlost výšky vsedě taktéž průměrně ve 12 letech u dívek a 14 letech u chlapců (Busscher, Wapstra and Veldhuizen 2010; Molinari, Gasser and Largo 2013).



Graf 1 Výška vsedě u českých dětí ve věku 6 až 16 let (podle Bláha et al. 2006).

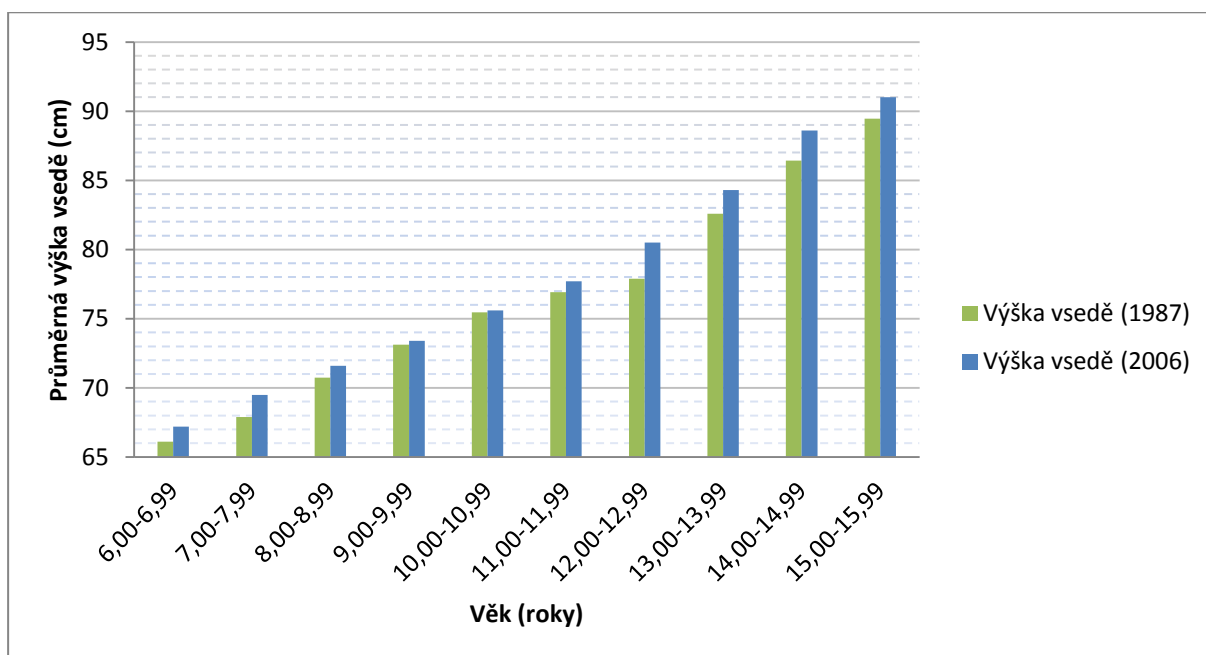
Podle studie Howell, Mahood and Dickson (1992) pokračuje růst výšky vsedě průměrně o 4 mm/rok další 3 roky po dosažení kostní zralosti 15 let pro dívky a 16,5 let pro chlapce podle Tanner et al. (2001) (viz kapitola 5.1.2). Podobná míra růstu trupu po 17. roku byla pozorována i ve studii Fredriks et al. (2005) a Stokes and Windisch (2006), zatímco růst končetin byl prakticky zastaven. Molinari, Gasser and Largo (2013) uvádí nárůst výšky vsedě po dosažení kostní zralosti podle Tannera

průměrně o 0,91 cm u dívek a 1,16 cm u chlapců, zatímco nárůst délky končetin je již zanedbatelný. Tento pokračující růst páteře může být příčinou další progresse skoliózy u mladých dospělých (Howell, Mahood and Dickson 1992). Progradující skoliotická deformita, především v období rychlého růstu, je indikována k léčbě trupovou ortézou, jejíž cílem je zabránění další progresse křivky a udržení rovnovážného postavení trupu (Repko 2012). Ortéza působí na páteř nadprahovou silou, která vyvolává funkční adaptaci pojivové tkáně (Mařík 2000). Korzet je obvykle používán do doby dosažení kostní zralosti, i když podle Negrini et al. (2009) je před 20. rokem života, dokonce i u skeletálně dospělých pacientů, možné dosáhnout nošením ortézy radiografických a estetických zlepšení, i když ne tak značných jako během růstu pacienta.

4.1.2.1 Sekulární trend

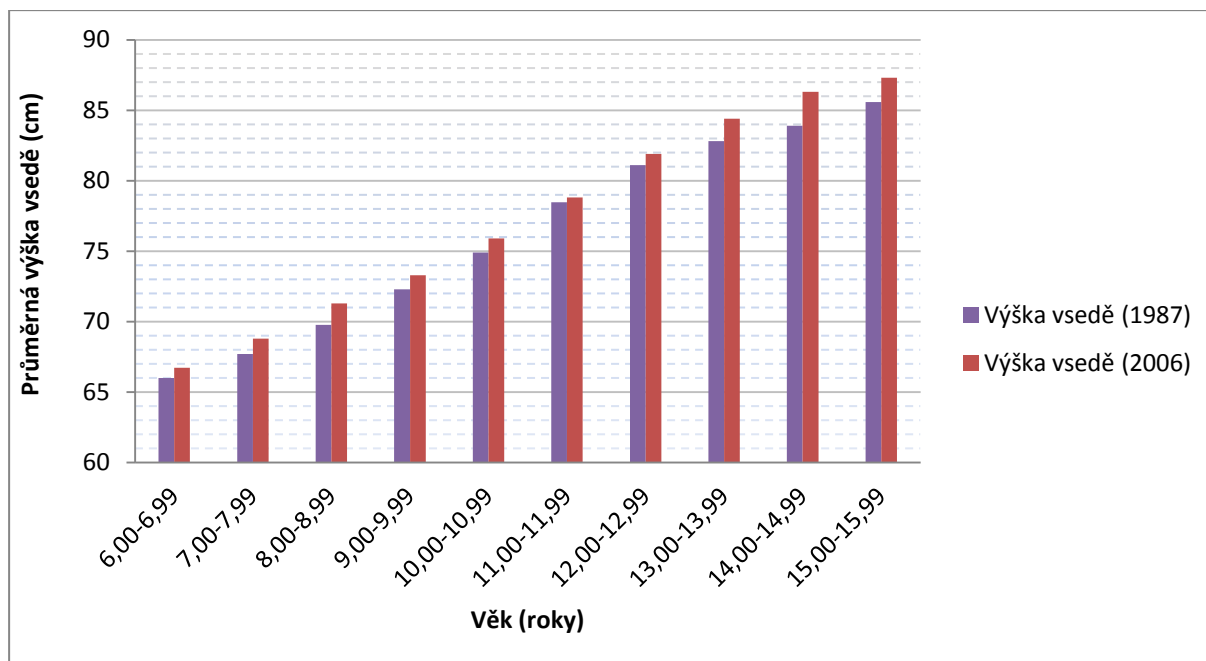
Průměrnou výšku vsedě podle semilongitudinální studie českých dětí ve věku 6 až 16 let zobrazuje graf 1. Graf 2 a 3 poté porovnává výšku vsedě z výše zmíněné semilongitudinální studie a data z o 20 let starší antropometrické studie československých dětí ve stejném věku (Bláha et al. 1987; Bláha et al. 2006). Na obou grafech je patrné zvýšení výšky vsedě u současné populace, které je způsobeno sekulárním trendem. K sekulárnímu trendu patří zvyšování růstové rychlosti v předpubertálním období a časnější nástup puberty a růstové akcelerace u populací z vyspělých zemí, což vede k zvyšování tělesné výšky. Vignerová et al. (2006) popisuje sekulární změny jako výsledek vzájemného vztahu genetické výbavy jedince a faktorů vnějšího prostředí.

V současné době se hovoří o vyznívání sekulárního trendu, jenž je zřejmě důsledkem optimální realizace dědičného růstového potenciálu člověka díky zlepšení stravy, hygieny a obecně celkových životních podmínek.



Graf 2 Porovnání výšky vsedě u chlapců ve věku 6-16 let v letech 1987 a 2006

(podle Bláha et al. 1987 a Bláha et al. 2006).



Graf 3 Porovnání výšky vsedě u dívek ve věku 6-16 let v letech 1987 a 2006
(podle Bláha et al. 1987 a Bláha et al. 2006).

4.1.2.2 Výška vsedě a rozměry hrudníku

Ve studii Charles et al. (2008) bylo dokázáno, že délka hrudní kosti odpovídá přibližně předozadnímu průměru hrudníku a že tyto dva segmenty reprezentují téměř 20 % výšky vsedě. Mimo to délka T1 – T12 úseku páteře odpovídá přibližně transversálnímu průměru a tyto parametry reprezentují 30 % výšky vsedě. A konečně, obvod hrudníku odpovídá téměř 100 % výšky vsedě. Tyto vztahy jsou konstantní během celé růstové periody od 4 do 16 let, což znamená, že jejich hodnoty vzrůstají proporcionálně v porovnání s růstem. Analyzované vztahy jsou kromě toho aplikovány stejnocenně mezi chlapce a dívky bez deformity páteře a mezi ty děti a adolescenty s hrudní křivkou menší či rovnou 45° a nerovností trupu menší nebo rovnou 25 mm (Charles et al. 2008).

4.1.3 Subischiální délka dolní končetiny

Část těla tvořena dolními končetinami je známa jako subischiální délka dolní končetiny. Její hodnotu získáme odečtením výšky vsedě od tělesné výšky. Při narození je subischiální délka dolních končetin průměrně 19 cm a po dokončení růstu je průměrně 81 cm u chlapců a 74,5 cm u dívek (Dimeglio 2001). Dolní končetiny přispívají daleko větším procentem k růstu do výšky, na rozdíl od trupu, a zodpovídají za změnu tělesných proporcí během růstu (Prader 1992; Dimeglio 2001; Fredriks et al. 2005). Tabulka 4 znázorňuje poměr mezi výškou vsedě a dolními končetinami během různých vývojových období člověka.

Tab. 4 Růst je typický změnou proporcionality těla. S věkem se poměr mezi výškou vsedě a dolními končetinami mění (podle Dimeglio and Canavese 2012).

| Vývojové období | Tělesný segment (hodnoty uvedeny v %) | | |
|-----------------|---------------------------------------|------|-----------------|
| | Hlava | Trup | Dolní končetiny |
| Novorozenec | 25 | 40 | 35 |
| Kojenec | 23 | 37 | 40 |
| Školní věk | 20 | 35 | 45 |
| Preadolescent | 18 | 34 | 48 |
| Dospělí | 13 | 40 | 47 |

4.1.4 Rozpětí paží

Rozpětí paží je možné použít k odhadu tělesné výšky, jelikož mezi oběma veličinami existuje velmi dobrá korelace (Jarzem and Gledhill 1993; Cheng et al. 1998). Tělesná výška odpovídá přibližně 97 % délky rozpětí paží s drobnými rozdíly v rámci pohlaví. Tento vztah přetrvává po celou dobu puberty až do dospělosti. U 77 % zdravých dětí je délka rozpětí paží o 0–5 cm větší než tělesná výška, v 22 % je o 5–10 cm větší a v 1 % je větší o 10 cm a více. Dimeglio (2001) udává, že rozpětí paží děleno dvěma je velmi blízko výšce vsedě, naopak děleno čtyřmi se blíží délce T1 – S1 úseku páteře.

Vztah mezi rozpětím paží a výškou je často používán u dětí s deformitou páteře, jako je například skolióza, pro vypočítání normálních hodnot plicních funkcí. U těchto dětí je měření délky rozpětí paží též dobré k odhadu tělesné výšky v případě, že by jejich páteř patologicky zakřivená nebyla (Dimeglio 2006).

4.2 Růst páteře podle radiologických dat

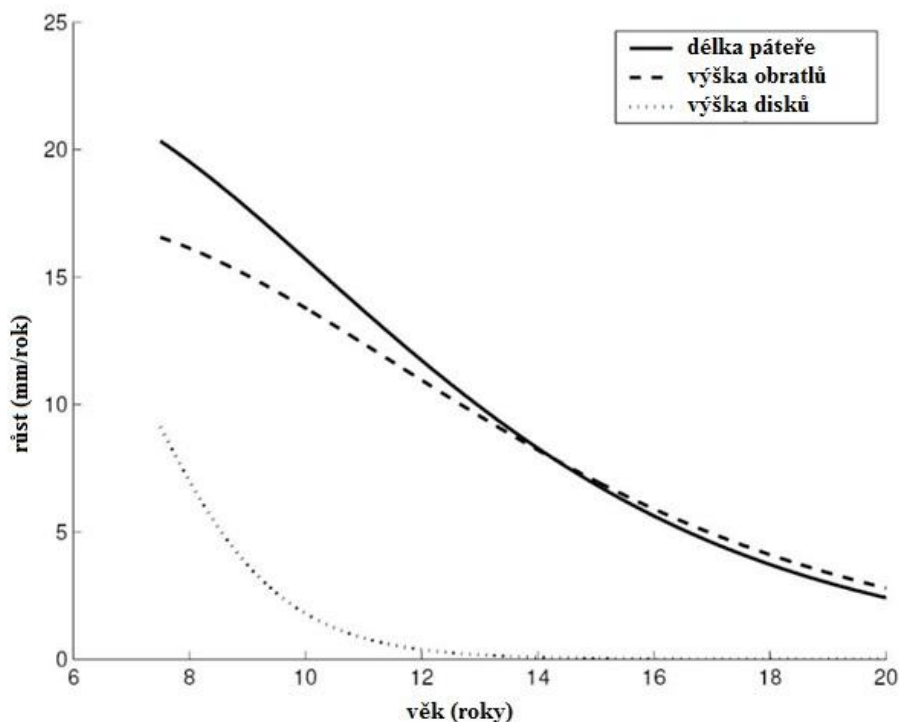
Většina longitudinálních studií o růstu lidské páteře se spoléhá na antropometrické měření výšky vsedě jakožto nepřímého měření délky páteře. Bohužel i v rukou zkušeného auxologa je obtížné naměřit výšku vsedě přesně. Data u dětí jsou primárně od Dimeglia (Dimeglio 2001; Dimeglio and Canavese 2012), ale u těchto dat nelze určit, zda jsou z longitudinálních nebo průřezových studií a též neposkytují žádné informace o rozsahu a rozdělení. Je též těžké uvažovat, jak detailní informace ohledně spinálních rozměrů mohou být získány z těchto měření, jelikož páteř tvoří přibližně 60 % výšky vsedě a je třeba počítat i s nárůstem rozměrů hlavy a pánve. Průřezovým studiím s přímým rentgenovým snímáním páteře se věnovali například Bagnall, Harris and Jones (1979), Currarino, Williams and Reisch (1986) či Emans et al. (2005).

4.2.1 Rozdílný tvar obratlových těl v rámci pohlaví

Podle studie Taylor and Twomey (1984) roste páteř identicky u dívek a chlapců do věku 9 let. Od 9 do 12 let byly změny výšky o 61 % větší u dívek než u chlapců, což je zapříčiněno jejich dřívějším růstovým spurtem. Během růstové akcelerace rostou obratle dívek spíše do výšky, naopak u chlapců nabývají spíše do šířky (transverzální průměr). Tyto růstové rozdíly vedou k nepatrně kratší, ale signifikantně užší páteři u dívek oproti chlapcům, což může přispívat k zvýšenému riziku progresu skoliózy u dívek (Taylor and Twomey 1984; Veldhuizen, Baas and Webb 1986; Meijer et al. 2010).

4.2.2 Porovnání růstu páteře pacientů s AIS a zdravých jedinců

Ve studii Stokes and Windisch (2006) byl zjištěn statisticky signifikantní trend zvyšující se výšky obratlů s věkem, zatímco žádný signifikantní nárůst neexistoval pro výšku disků (obr. 2). Sledovaná celková délka páteře (T5 – L5) u pacientů se skoliózou se zvýšila z přibližně 250 mm v 7,5 letech na 380 mm ve 20 letech, přičemž podle Stokes a Windisch (2006) u dětí do 10 let roste výška obratlů i disků a přispívají tak k spinálnímu růstu společně, po 10. roku odhadovaný podíl růstu disků klesá k zanedbatelné hodnotě. Spinální růst během adolescence je tedy zásluhou obratlů nikoliv disků (Stokes and Windisch 2006).



Obr. 2 Růst páteřního úseku T5 – L5 u dětí se skoliózou. Růst páteře do výšky mezi 7,5 až 20 roky klesal od cca 20 mm za rok k přibližně 3 mm (převzato a upraveno podle Stokes and Windisch 2006).

Žádné signifikantní rozdíly v délce thorakolumbální páteře mezi zdravými dětmi a pacienty s adolescentní idiopatickou skoliózou (AIS) nebyly nalezeny (Skogland and Miller 1981; Veldhuizen, Baas and Webb 1986), ovšem rentgenové snímky pacientů s AIS mezi 6,5 až 18,5 lety porovnané se snímky stejně starých zdravých jedinců demonstrují dřívější počátek a pozdější konec pubertálního spinálního růstového spurtu u pacientů se skoliózou (Skogland and Miller 1981).

Guo et al. (2003) zjistil relativně rychlejší růst anteriorní, a pomalejší růst posteriorní, části hrudních obratlů u pacientů s idiopatickou skoliózou (IS) porovnaných se zdravými jedinci. Z toho vyplývá, že longitudinální růst obratlových těl u pacientů s IS, oproti stejně starým zdravým jedincům, je disproporcionálně rychlejší. Stokes (2007) také dokumentuje rozdílný růstový profil u pacientů s AIS porovnaných s kontrolním souborem. Na základě Hueter-Volkmanova zákona, podle kterého při trvalém stlačení poloviny obratle dojde ke zpomalení růstu této poloviny, princip „bludného kruhu“ vysvětluje mechanismus skoliotické progresy, kdy asymetrické rozmístění zátěže vede k asymetrickému růstu obratle a přispívá k spinální deformitě (Stokes et al. 1996). Stokes (2007) modeloval efekt asymetrického zatížení skoliotické páteře k potvrzení pravděpodobnosti principu „bludného kruhu“, kdy skoliotická páteř čelí většímu zatížení na konkávní straně, což způsobuje asymetrický růst páteře a progresi deformity. Hueter-Volkmanův zákon se uplatňuje i při léčbě skoliózy. Jelikož v období růstu dítěte roste v oblasti tlaku růstová ploténka pomaleji a v oblasti tahu naopak rychleji, trupové ortézy (typ Cheneau) záměrně působí silou v místě vrcholu skoliotické křivky, zatímco na druhé straně korzetu je volný prostor, který umožňuje vyklenutí páteře (Chêneau 2002). Tyto ortézy jsou schopny účinně korigovat prakticky všechna zakřivení skoliotické páteře (Mařík et al. 1997).

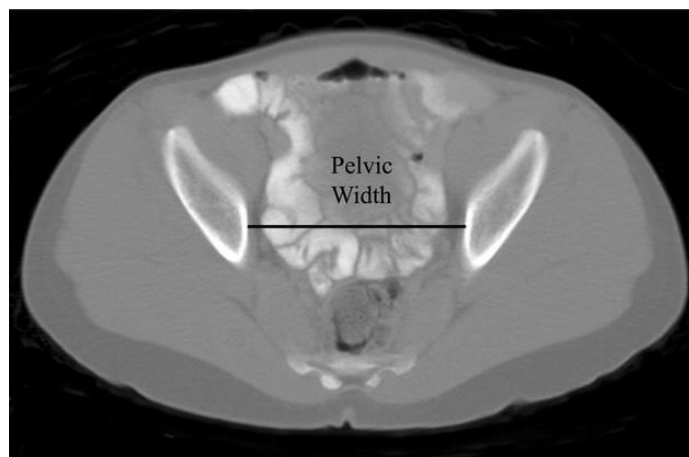
4.2.3 Růst hrudní páteře

Podle studie Currarino, Williams a Reisch (1986) roste hrudní páteř relativně rychle v prvních dvou letech života a poté mezi 2 až 16 roky poněkud pomaleji a lineárně vzhledem k věku. Vztah mezi délkou hrudní páteře a věkem u dětí starších 2 let se dá vyjádřit následující lineární rovnicí: $Y = 13,067 + 0,9989 X$, kde Y znamená délku hrudní páteře v centimetrech a X věk dítěte v letech. Mezi pohlavími nebyly nalezeny žádné statisticky významné rozdíly, kromě patnácti až šestnáctiletých dětí, kde průměrná délka hrudní páteře byla 8 mm nad vypočítaný průměr u chlapců a 1 cm pod tuto hodnotu u dívek (Currarino, Williams and Reisch 1986). Hrudní páteř reprezentuje velkou část celé páteře (37,8 až 39,7 %) u dospělých a její délka se dá změřit na rentgenových snímcích hrudníku. Měření tohoto úseku páteře může poskytovat dobrý ukazatel výšky trupu (Kuhns and Holt 1975).

Karol et al. (2008) dokázal, že délka hrudní páteře nad 18 cm je nezbytná k vyhnutí se závažným respiračním insuficiencím. Dále prokázal, že děti podstupující předčasnou fúzi obratlů mají redukovanou hrudní hloubku a kratší T1 – T12 úsek páteře v porovnání se zdravými subjekty. Usilovná vitální kapacita (FVC) se může snížit až o 50 % z předpovídaného objemu, jestli je více než 60 % z hrudní páteře (8 a více hrudních obratlů) spojených před 8 lety věku (Karol et al. 2008).

4.2.4 Predikce délky páteře na základě rozměrů pánve

Emans et al. (2005) zhodnotil celkový počet 198 CT snímků zdravých pacientů od 0 do 21 let věku a dokázal, že vnitřní šířka pánve (obr. 3) poskytuje individualizovaný parametr pro predikci rozměrů hrudníku a délky páteře u dětí a adolescentů nezávisle na věku. Byla prokázána vysoce signifikantní pozitivní korelace mezi šířkou pánve a délkou páteře. Studie Emans et al. (2005) ustanovila fyziologický rozsah hodnot pro rozměry páteře u obou pohlaví (tab. 5 a 6) nezávisle na věku, které mohou být nápomocné při určení léčebných postupů.



Obr. 3 CT snímek se znázorněným měřením šířky pánve (převzato z Emans et al. 2005).

Na práci Emans et al. (2005) navázal Gold et al. (2014), přičemž ověřil správnost použití individuálních rozměrů vnitřní šířky pánve získaných pomocí rentgenových snímků porovnaných se snímky z počítačové tomografie (CT). Vnitřní šířka pánve měřená z rentgenových snímků je užitečná k určení individuálních a věkově nezávislých rozměrů hrudníku (Gold et al. 2014). Navíc zadopřední rentgenové snímky páteře jsou mnohem dostupnější, snadněji získané a vystavují pacienty nižší dávce ozáření než snímky pořízené počítačovou tomografií (Brenner and Hall 2007; Pearce et al. 2012). U pacientů se spinální deformitou měření vnitřní šířky pánve z CT snímku koreluje s vnitřní šířkou pánve naměřenou z klasického rentgenového snímku. Všechna měření ukázala silnou vnitrotřídní korelaci. Podle Gold et al. (2014) může být metoda spolehlivě použita k posouzení pacientů v časném stádiu skoliózy a k posouzení vlivu operativního léčení na hrudník a růst páteře.

Tab. 5 Hodnoty pro délku páteře u mužů na základě vnitřní šířky pánve (podle Emans et al. 2005).

| Šířka pánve u mužů (cm) | Délka hrudní páteře (cm) | Délka bederní páteře (cm) | Celková délka páteře (cm) |
|----------------------------|-----------------------------|------------------------------|------------------------------|
| 3 | 6,7-13,2 | 2,8-6,8 | 9,7-19,8 |
| 4 | 8,7-15,2 | 4,1-8,0 | 13,0-23,0 |
| 5 | 10,7-17,1 | 5,4-9,3 | 16,3-26,3 |
| 6 | 12,7-19,1 | 6,7-10,6 | 19,6-29,5 |
| 7 | 14,6-21,1 | 8,0-11,9 | 22,9-32,8 |
| 8 | 16,6-23,0 | 9,3-13,2 | 26,1-36,0 |
| 9 | 18,6-25,0 | 10,6-14,5 | 29,4-39,3 |
| 10 | 20,6-27,0 | 11,9-15,8 | 32,7-42,6 |
| 11 | 22,5-29,0 | 13,2-17,1 | 35,9-45,8 |
| 12 | 24,5-30,9 | 14,5-18,4 | 39,2-49,1 |
| 13 | 26,5-32,9 | 15,8-19,7 | 42,4-52,4 |
| 14 | 28,4-34,9 | 17,1-21,0 | 45,7-55,7 |

Tab. 6 Hodnoty pro délku páteře u žen na základě vnitřní šířky pánve (podle Emans et al. 2005).

| Šířka pánve u žen (cm) | Délka hrudní páteře (cm) | Délka bederní páteře (cm) | Celková délka páteře (cm) |
|---------------------------|-----------------------------|------------------------------|------------------------------|
| 3 | 5,2-11,7 | 2,1-6,0 | 7,5-17,5 |
| 4 | 7,1-13,6 | 3,4-7,3 | 10,7-20,7 |
| 5 | 9,1-15,6 | 4,7-8,6 | 14,0-24,0 |
| 6 | 11,1-17,6 | 6,0-9,9 | 17,3-27,2 |
| 7 | 13,1-19,5 | 7,3-11,2 | 20,6-30,5 |
| 8 | 15,1-21,5 | 8,6-12,5 | 23,9-33,8 |
| 9 | 17,0-23,5 | 9,9-13,7 | 27,1-37,0 |
| 10 | 19,0-25,5 | 11,2-15,0 | 30,4-40,3 |
| 11 | 21,0-27,4 | 12,5-16,3 | 33,7-43,6 |
| 12 | 23,0-29,4 | 13,8-17,6 | 36,9-46,8 |
| 13 | 24,9-31,4 | 15,0-18,9 | 40,2-50,1 |
| 14 | 26,9-33,4 | 16,3-20,2 | 43,4-53,4 |

5 BIOLOGICKÝ VĚK

Biologický věk určuje stupeň biologické vyzrálosti dětského organismu, charakterizuje celkový stav růstu a vývoje jedince a je mírou formování jeho morfologických a funkčních znaků (Sedlak 2007). Biologický věk se nemusí vždy shodovat, a často se také neshoduje, s věkem chronologickým (kalendářním), který je stanoven dle data narození. Při porovnání obou věků tedy můžeme mít dítě průměrné ve vývoji, dítě akcelerované či opožděné ve vývoji.

Mezi ukazatele biologického věku řadíme například tzv. věk zubní, proporcionální či výškový. Též hodnocení sekundárních pohlavních znaků (viz kapitola 3.2.2) patří mezi parametry biologického věku. Se sexuální maturací blízce souvisí i další ukazatel a to kostní zrání, jež je v současnosti nejpřesnější metodou stanovení biologického věku dítěte (URL2).

5.1 Kostní věk

Jedním z parametrů používaných k posouzení vývoje a růstu dítěte je kostní (skeletální) věk, neboť postup osifikace a růst kostí postkraniálního skeletu vykazuje velmi vysokou korelační závislost s celkovým lineárním růstem (Gilsanz 2010; Nahhas et al. 2013). Každé osifikační centrum prochází určitým počtem stadií, jejichž posouzení je základem pro určení stupně kostní zralosti (URL2). Jednotlivé metody vycházejí z analýzy rentgenových snímků různých částí skeletu dítěte, kdy srovnávají aktuální nález se standardy v rentgenologických atlasech (Sedlak 2007).

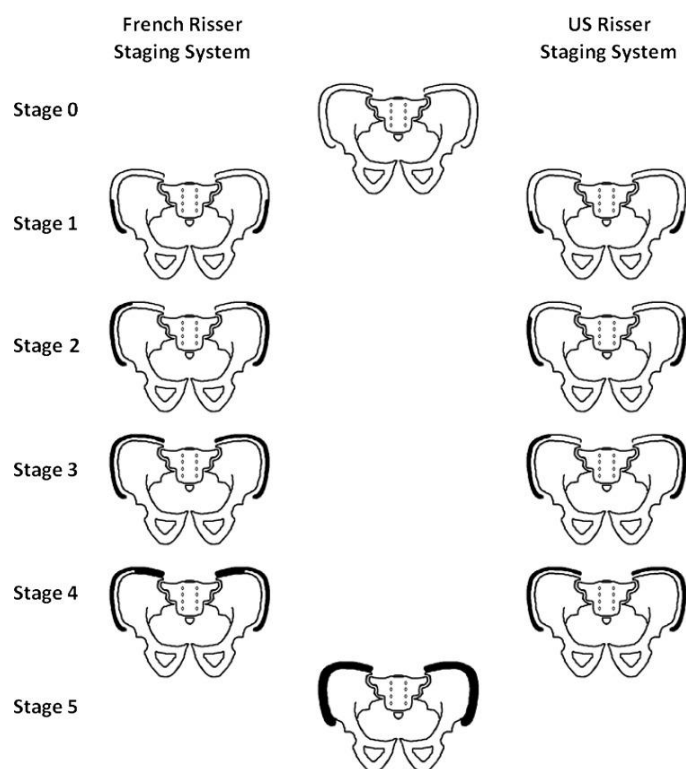
S kostním věkem souvisí maximální růstová rychlost v době pubertálního spurtu (Hewitt and Acheson 1961a; Hewitt and Acheson 1961b; Molinari, Gasser and Largo 2013). Podle Karlberga (2002) by vrchol růstové rychlosti neměl být určen na základě chronologického věku, jelikož maximální růstová rychlost je ovlivněna mnoha faktory, jako je sekulární trend, genetické a environmentální faktory a nutriční stav.

5.1.1 Risserovo znamení

Risserovo znamení hodnotí stupeň osifikace apofýzy lopaty kosti kyčelní (Risser 1958), která je viditelná přímo na rentgenovém snímku páteře, proto se právě tato metoda nejčastěji využívá při predikci spinálního růstu. Hodnocení je rozděleno do šesti stádií, přičemž stádium Risser 0 znamená, že apofýza ještě nezačala osifikovat a stádium Risser V je plně osifikovaná apofýza spojená s lopatou kosti kyčelní (obr. 4). Při Risser V je růst kostí kyčelních ukončen, nejde však ještě o ukončení osifikace páteře (Dickson and Deacon 1987). Ukončení růstu zjistíme při splynutí prstenčitých apofýz s obratlovými těly na snímku páteře v obou projekcích. Plně osifikována je páteř po dosažení 25. roku života (Dickson and Deacon 1987; Dimeglio 2001).

Systém hodnocení osifikace iliakální apofýzy se začal používat ve Spojených státech amerických a později byl s modifikacemi adoptován ve Francii a dalších evropských zemích. Ačkoli se metoda nazývá stále stejným jménem, jsou v jednotlivých verzích patrné rozdíly mezi stádii Risser

II až IV (Bitan, Veliskakis and Campbell 2005; Brand 2008; Nault et al. 2010), které mohou vést k různým možnostem jak a kdy léčit pacienty s deformitami páteře. Systém Spojených států amerických rozděluje osifikaci apofýzy lopaty kosti kyčelní na čtvrtiny, což definují stádia 1–4 a stádium 5 popisuje období, kdy plně osifikovaná apofýza fúzuje s lopatou kosti kyčelní (obr. 4). Systém Francie rozděluje lopatu kosti kyčelní na třetiny (stádium 1–3) a stádium 4 již reprezentuje periodu, kdy osifikovaná apofýza začíná splývat s lopatou kosti kyčelní. Stádium 5 zde nastává, když je splynutí apofýzy s lopatou kosti kyčelní kompletní (obr. 4). Je tedy důležité uvědomit si, že evropská verze se kloní k apofyzární fúzi o jedno stádium dříve než americká.



Obr. 4 Rozdíly v osifikaci iliakální apofýzy mezi systémem Francie (vlevo) a systémem Spojených států amerických (vpravo) (převzato z Hacquebord and Leopold 2012).

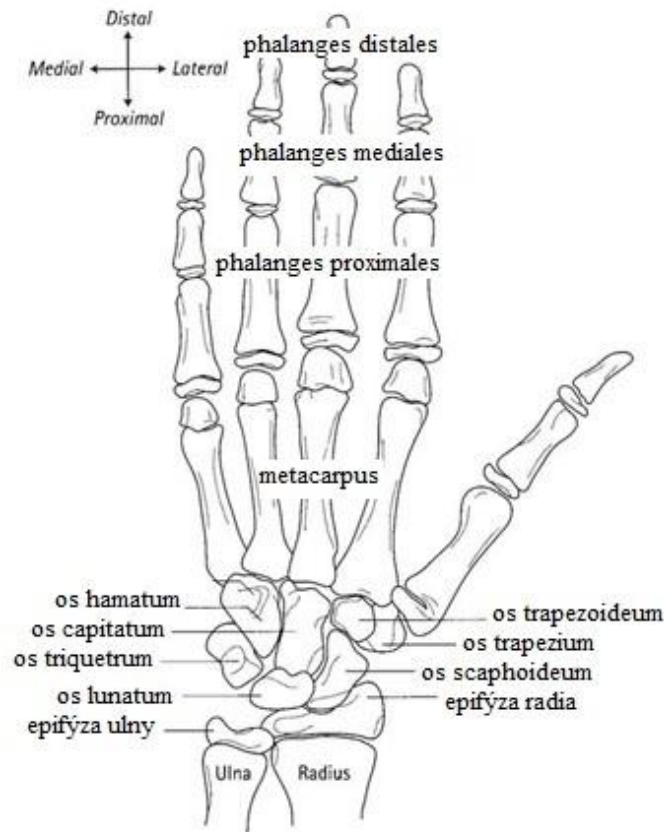
Od roku 1958, kdy byla metoda určování kostní zralosti podle Rissera (Risser 1958) popsána, je to nejčastěji používaná metoda k vyhodnocování růstu pacientů ve vztahu ke klinickým problémům růstu páteře (Modi et al. 2009). I přesto, že tato metoda byla často kritizována pro omezenou přesnost v odhadování zbývajících růstu páteře (Shuren et al. 1992; Sanders et al. 2006; Sanders et al. 2007; Sanders 2007). Little a Sussman (1994) usuzují, že Risserovo znamení není dostatečně přesné k zastoupení rentgenu ruky a zápěstí jako měřítka kostní maturace u individuálního pacienta, avšak toto hodnocení zůstává i nadále neocenitelným pomocníkem v léčbě skoliózy a je široce používáno mezinárodní ortopedickou komunitou jako hlavní kritérium v rozhodování o začátku a možném způsobu léčení deformit páteře během nejkritičtějšího období progresu u skeletálně nedospělých adolescentů (Bitan, Veliskakis and Campbell 2005).

Nevýhodou této metody je především fakt, že první známky osifikace iliakální apofýzy se objevují u 85 % pacientů po dosažení maximální růstové rychlosti, takže hodnota další růstové předpovědi je již velmi malá (Little et al. 2000; Busscher, Wapstra and Veldhuizen 2010). Užitečnost Risserova znamení může být vylepšena zahrnutím hodnocení chrupavky v jamce kyčelního kloubu (tzv. ypsilonové chrupavky), která typicky fúzuje před počátkem osifikace iliakální apofýzy a její splynutí úzce koreluje s maximální růstovou rychlostí. Pokud má pacient uzavřenou chrupavku, velmi pravděpodobně prodělal pubertální růstový spurt (Sanders et al. 2006), nicméně prediktivní hodnota otevřené chrupavky je méně jasná (Busscher, Wapstra and Veldhuizen 2010). K učinění stádia Risser 0 více užitečným navrhnul Dimeglio et al. (2005), odvozením od Sauvegrainovi metody určující kostní věk zhodnocením vývoje osifikačních center lokte, zjednodušený systém, který vyhodnocuje morfologický vývoj olekranonu k určení akcelerační růstové fáze. Tedy, že stádium Risser I se obvykle objevuje, když je apofýza olekranonu spojena s kostí loketní. Tato jednoduchá „olekranonová metoda“ byla potvrzena a navržena k používání v souvislosti s pacienty ve stádiu Risser 0 k určení kostního věku a vrcholu růstové rychlosti (Charles et al. 2007; Canavese et al. 2014).

Hoppenfeld et al. (2004) zjistil průměrný růst 1,75 cm u dívek a 2,46 cm u chlapců mezi stádii Risser IV a V, ale žádný růst po dosažení stádia Risser V (fúze iliakální apofýzy). Iliakální apofýza byla uzavřená (Risser IV) průměrně ve 14,9 letech u dívek a v 16 letech u chlapců. Podobný nárůst výšky vsedě zaznamenali i Aldegheri a Agostini (1993) mezi lety 15 a 16 u dívek a 17 a 18 u chlapců, tedy po dosažení stádia Risser IV. Z toho plyne, že uzavření iliakální apofýzy není finální indikátor pro zastavení spinálního růstu. Karol et al. (1993) zjistil, že adolescentní chlapci s idiopatickou skoliózou běžně mají oproti dívkám pozdní počátek vzniku skoliózy a též zpožděnou progresi skoliotické křivky často až do stádia Risser V, což u nich snižuje použitelnost tohoto hodnocení. Věk v době stádia Risser V ve studii Hoppenfeld et al. (2004) je velmi podobný s věkem ve studii Zaoussis a James (1958), tedy 17,4 let u dívek a 18,3 let u chlapců. Splynutí iliakální apofýzy bylo ve studii Zaoussis a James (1958) shodné s uzavřením prstenčitých apofýz obratlových těl. Nicméně iliakální apofýza se může spojit s lopatou kosti kyčelní až do věku 22 či 23 let a občas se stává, že se nespojí nikdy (Zaoussis and James 1958; Dimeglio 2001).

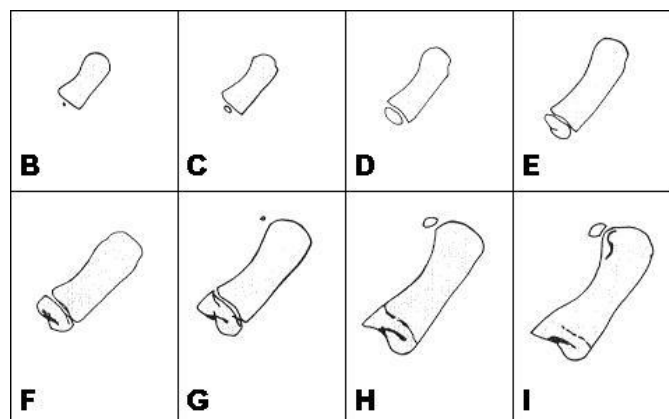
5.1.2 Tanner-Whitehouse 3 metoda

Metoda Tanner-Whitehouse 3 (TW3) hodnotí rentgenový snímek kostí levé ruky a distálních epifýz předloktí a je členěna do 2 oddílů s rozdílným typem osifikace (obr. 5). První, s názvem RUS (radius – ulna – short bones), hodnotí 13 kostí (distální epifýzy kostí vřetenní a loketní, epifýzy metakarpů a falangů 1., 3. a 5. prstu). Druhá, CARP (carpal bones), hodnotí 20 kostí (13 předchozích a 7 karpálních kostí, mimo os pisiforme) (Tanner et al. 2001). Tato metoda je rozšířena především mezi endokrinology.



Obr. 5 Vymezení kompartmentů RUS a CARP (upraveno podle Tanner et al. 2001).

Každá kost, s respektováním pohlaví pacienta, je přiřazena k příslušnému standardu v osifikačním atlasu (B – I) a bodově ohodnocena (obr. 6). Součet bodů kostí jednotlivých kompartmentů, tzv. skóre skeletální maturace, odpovídá určité hodnotě kostního věku v desetínách roku uvedené v tabulkách osifikačního atlasu, což je velkou výhodou této metody (Kuchyňková and Krásničanová 2004). Naopak nevýhodou metody TW3 je především její pracnost, časová náročnost a předpoklad dlouhodobější zkušenosti v posuzování rentgenových snímků (Hsieh et al. 2011).



Obr. 6 Schéma vývojových stádií B – I epifýz metakarpů (podle Tanner et al. 2001).

Tab. 7 Stádium Risserova znamení a odpovídající kostní věk dle metody TW3 pro obě pohlaví (podle Modi et al. 2009).

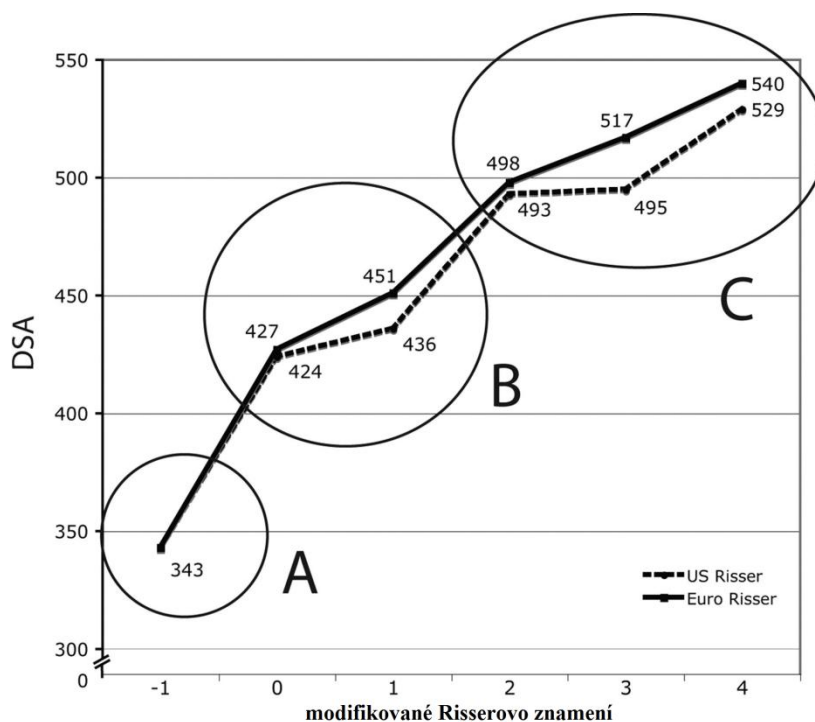
| | <i>Risserovo znamení</i> | <i>Kostní věk (TW3)</i> |
|----------------|--------------------------|-------------------------|
| Dívky | 0 | 9,63 |
| | 1 | 10,53 |
| | 2 | 12,45 |
| | 3 | 13,11 |
| | 4 | 14,44 |
| | 5 | 15,00 |
| Chlapci | 0 | 10,50 |
| | 1 | 12,64 |
| | 2 | 13,96 |
| | 3 | 15,05 |
| | 4 | 15,85 |
| | 5 | 16,42 |

5.1.3 Digitální kostní věk a zjednodušená TW3 metoda

Progrese skoliózy během adolescence blízce souvisí s vospělostí pacienta. Sanders et al. (2007) studoval vztah mezi různými ukazateli zralosti (Risserovo znamení, TW3 metoda, hodnocení podle Tannera, chronologický věk, sérologické markery kostní zralosti a další) a akcelerační fázi zakřivení (CAP) páteře u dívek s idiopatickou skoliózou. TW3-RUS hodnocení skeletální maturace (Tanner et al. 2001; Aja-Fernández et al. 2004) byla metoda, která nejlépe korelovala s počátkem progrese skoliotického zakřivení páteře v časně fázi adolescence. Jelikož radius a ulna měli nejnižší korelaci s akcelerační fázi skoliotické křivky, rozhodl se Sanders et al. (2007) testovat RUS systém bez těchto dvou kostí a pojmenoval jej digitální kostní věk (DSA). Bylo zjištěno, že skóre DSA mezi 400 až 425 nejlépe koresponduje s počátkem CAP adolescentní idiopatické skoliózy. Načasování CAP koresponduje se změnou z TW3 stádia F na G (Sanders et al. 2007). Podobně Wang et al. (2007) dokázal, že DSA skóre je spolehlivý indikátor k předpovídání zbývajícího růstu páteře u potencionálních pacientů s idiopatickou skoliózou, ale měl by být korelován s chronologickým věkem a u dívek též s menarché.

K vylepšení korelace progrese skoliotického zakřivení páteře a hodnocení podle Rissera navrhnul Nault et al. (2010) změnu v hodnocení Risserova znamení, kdy stádium Risser 0 rozdělil do dvou skupin (otevřená a uzavřená chrupavka v jamce kyčelního kloubu). S CAP adolescentní idiopatické skoliózy korespondují pacienti ve stádiu Risser 0 s uzavřenou chrupavkou v jamce kyčelního kloubu a pacienti ve stádiu Risser I. Autoři shledali tento vylepšený systém hodnocení lépe korelující s DSA a determinující počátek progrese zakřivení adolescentní idiopatické skoliózy.

Podle Nault et al. (2010) není žádný signifikantní rozdíl mezi americkým a evropským systémem hodnocení s ohledem na skóre DSA asociované s každým stádiem Risserova znamení (obr. 7).



Obr. 7 Graf zobrazující hodnocení Risserova znamení podle amerického systému (přerušovaná čára) a podle evropského systému (plná čára) v závislosti na skóre DSA. Stádium Risser 0 je zde rozděleno na dvě skupiny: skupina -1 (s otevřenou chrupavkou v jamce kyčelního kloubu) a skupina 0 (s uzavřenou chrupavkou v jamce kyčelního kloubu). Tři nově vzniklé skupiny pacientů jsou reprezentovány kruhy A (stádium Risser 0 s otevřenou chrupavkou), B (stádia Risser 0 s uzavřenou chrupavkou a Risser I) a C (stádia Risser II, III a IV). Pacienti ve skupině B nejlépe korespondují se skóre DSA mezi 400 a 425, které reprezentuje počátek CAP (převzato a upraveno podle Nault et al. 2010).

Nevýhodou skóre DSA je především náročné zpracování, jelikož vyžaduje přístup do TW3 osifikačního atlasu kvůli získání skóre jednotlivých kostí (viz kapitola 5.1.2), které pak musí být sečteny (Tanner et al. 2001; Sanders et al. 2007). Sanders et al. (2008) proto vyvinul novou metodu na základě poznatků z rentgenových snímků, které byly použity ke stanovení skóre DSA. Nová metoda je zjednodušením TW3 metody, ovšem není tak časově náročná a přitom zůstává spolehlivá a vysoce koreluje s chováním skoliotické křivky. Stanovených bylo 8 stádií, přičemž stádium 1 a 2 koresponduje s prepubertálním obdobím, stádium 3 a 4 odpovídá akcelerační fázi skoliózy (vrchol pubertálního růstového spurtu, stádium Risser 0), stádium 5 a 6 značí decelerační fázi puberty, stádium 7 odpovídá stupni Risser IV a stádium 8 je maturační a koresponduje se stupněm Risser V (Sanders et al. 2008).

6 ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo shrnout poznatky o růstu páteře u dětí a adolescentů pro predikci růstu páteře v klinické praxi. V práci bylo přihlíženo na pacienty s adolescentní idiopatickou skoliózou, která je nejběžnější deformitou páteře u dětí a adolescentů a je asociována s pubertálním růstovým spurtem. Neléčená skolióza může vést k závažným deformitám trupu, které limitují kapacitu a funkční biomechaniku hrudníku a obecně vede ke zhoršení kvality života postiženého jedince. Znalost fyziologických růstových parametrů, zahrnujících především celkový tělesný růst, spinální růst a pubertální růstový spurt, je proto zásadní v léčbě všech pacientů s deformitami páteře.

Tato práce začíná stručnou základní charakteristikou anatomie páteře včetně popisu zakřivení páteře. Vedle fyziologických zakřivení je uvedena definice stranového vybočení páteře, tzv. skoliózy, nejčastější deformity páteře u dětí a adolescentů. Následně je práce zaměřena na růst a vývoj člověka.

V první části je uvedeno dělení růstu člověka podle Karlberga (ICP model). Dále je zmiňována maturace sexuální, která vykazuje velmi těsnou korelační závislost se skeletálním vývojem a následně i s průběhem pubertální růstové akcelerace. Kapitola nabízí stručné shrnutí pubertálního období a údaje o sekundárních pohlavních znacích podle Tannerovy stupnice. Toto období postnatálního vývoje je důležité monitorovat mimo jiné i proto, že během puberty, v době maximální růstové rychlosti, dochází u pacientů s adolescentní idiopatickou skoliózou k největší progresi zakřivení páteře.

Následující část je věnována již přímo růstu páteře. Nejprve podle antropometrických údajů, jelikož znalost fyziologických růstových parametrů dovoluje lepší pochopení jak normálního, tak abnormálního růstu páteře a patologických změn vyvolaných počátkem spinální deformity v rostoucí páteři. Popsána je zde zejména výška vsedě, jež koreluje s výškou trupu a pokračuje v růstu i po dosažení kostní zralosti. Jelikož páteř tvoří přibližně 60 % výšky vsedě, je však těžké uvažovat, jak detailní informace nám tato hodnota může poskytnout. Dále je uveden růst podle radiologických dat, které umožňují přímé měření páteře. Zde je porovnáván, mimo jiné, růst obratlů mezi pacienty s adolescentní idiopatickou skoliózou a zdravými jedinci a především je zde zmiňována možnost predikce délky páteře u dětí a adolescentů na základě vnitřních rozměrů pánve. Tento parametr může být spolehlivě použit k posouzení pacientů v časném stádiu skoliózy a k posouzení vlivu operativního léčení na hrudník a růst páteře.

Závěrečná část této práce popisuje biologický věk, resp. věk kostní, který je jedním z parametrů používaných k posouzení vývoje a růstu dítěte a se kterým souvisí maximální růstová rychlost v době pubertálního spurtu. V kapitole jsou uváděny klady, zápory a možná vylepšení Risserova znamení, nejběžnějšího měřítka kostní zralosti pro páteř. Zmíněna je též v klinické praxi často používaná metoda Tanner-Whitehouse 3 a od ní odvozená zjednodušená metoda podle Sanderse, která dobře koreluje s akcelerační fází progresu zakřivení adolescentní skoliózy a přitom není tak časově náročná na vyhodnocení jako metoda TW3.

7 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- Aja-Fernández S, De Luis-García R, Martín-Fernández MA, Alberola-López C
2004 A computational TW3 classifier for skeletal maturity assessment. A Computing with Words approach. *Journal of Biomedical Informatics* 37 (2): 99–107.
- Aksglaede L, Sørensen K, Petersen JH, Skakkebaek NE, Juul A
2009 Recent Decline in Age at Breast Development: The Copenhagen Puberty Study. *Pediatrics* 123 (5): 932–939.
- Aldegheri R, Agostini S
1993 A Chart of Anthropometric Values. *Journal of Bone & Joint Surgery. British Volume* 75-B(1): 86–88.
- Arlet V, Antoniou J
2003 Macro- and Microscopic Anatomy of the Disk and End Plate. In: Dewald RL (ed.) *Spinal Deformities: The Comprehensive Text*. New York: Thieme. pp. 78–89.
- Bagnall KM, Harris PF, Jones PR
1979 A Radiographic Study of the Human Fetal Spine. 3. Longitudinal Growth. *Journal of Anatomy* 128 (4): 777–787.
- Beunen G, Thomis M, Maes HH, Loos R, Malina RM, Claessens AL, Vlietinck R
2000 Genetic Variance of Adolescent Growth in Stature. *Annals of Human Biology* 27(2): 173–186.
- Bitan FD, Veliskakis KP, Campbell BC
2005 Differences in the Risser grading systems in the United States and France. *Clinical orthopaedics and related research* 436: 190–195.
- Bláha P et al.
1987 *Antropometrie československé populace od 6 do 55 let (Československá spartakiáda 1985). Díl II, část I*. Praha: ÚNZ VS. pp. 185.
- Bláha P, Krejčovský L, Jiroutová L, Kobzová J, Sedlak P, Brabec M, Riedlová J, Vignerová J
2006 *Somatický vývoj současných českých dětí. Semilongitudiální studie*. Praha: UK a SZÚ. pp. 345.
- Brand RA
2008 50 Years Ago in CORR: The Iliac Apophysis: An Invaluable Sign in the Management of Scoliosis Joseph C. Risser MD CORR 1958;11:111–119. *Clinical Orthopaedics and Related Research* 466 (6): 1516–1517.
- Brenner DJ, Hall EJ
2007 Computed Tomography — An Increasing Source of Radiation Exposure. *New England Journal of Medicine* 357 (22): 2277–2284.
- Buckler JM, Wild J
1987 Longitudinal Study of Height and Weight at Adolescence. *Archives of Disease in Childhood* 62(12): 1224–1232.
- Busscher I, Wapstra FH, Veldhuizen AG
2010 Predicting growth and curve progression in the individual patient with adolescent idiopathic scoliosis: design of a prospective longitudinal cohort study. *BMC Musculoskeletal Disorders* 11(1): 93.

- Cameron N, Tanner JM, Whitehouse RH
1982 A Longitudinal Analysis of the Growth of Limb Segments in Adolescence. *Annals of Human Biology* 9(3): 211–220.
- Canavese F, Charles YP, Dimeglio A, Schuller S, Rousset M, Samba A, Pereira B, Steib JP
2014 A comparison of the simplified olecranon and digital methods of assessment of skeletal maturity during the pubertal growth spurt. *The Bone & Joint Journal* 96-B(11): 1556–1560.
- Charles YP, Dimeglio A, Canavese F, Daures JP
2007 Skeletal age assessment from the olecranon for idiopathic scoliosis at Risser grade 0. *The Journal of Bone and Joint Surgery. American Volume* 89(12): 2737–2744.
- Charles YP, Dimeglio A, Marcoul M, Bourgin JF, Marcoul A, Bozonnat MC
2008 Influence of Idiopathic Scoliosis on Three-Dimensional Thoracic Growth. *Spine* 33(11): 1209–1218.
- Cheng JC, Leung SS, Chiu BS, Tse PW, Lee CW, Chan AK, Xia G, Leung AK, Xu YY
1998 Can We Predict Body Height from Segmental Bone Length Measurements? A Study of 3,647 Children. *Journal of Pediatric Orthopedics* 18(3): 387–393.
- Chêneau J
2002 Scoliosis correction bracing since 1970 till the present. Some results. *Pohybové ústrojí* 9 (3-4): 5–16.
- Cole TJ, Pan H, Butler GE
2014 A mixed effects model to estimate timing and intensity of pubertal growth from height and secondary sexual characteristics. *Annals of Human Biology* 41 (1): 76–83.
- Currarino G, Williams N, Reisch JS
1986 Linear Growth of the Thoracic Spine in Chest Roentgenograms from Birth to 16 Years. *Skeletal Radiology* 15(8): 628–630.
- Čihák R
2001 *Anatomie I. Druhé, upravené a doplněné vydání*. Praha: Grada. pp. 479.
- Dickson RA, Deacon P
1987 Spinal Growth. *Journal of Bone & Joint Surgery. British Volume* 69-B(5): 690–692.
- Dimeglio A
2001 Growth in Pediatric Orthopaedics. *Journal of Pediatric Orthopaedics* 21(4): 549–555.
- Dimeglio A
2006 Growth in Pediatric Orthopaedics. In: Lovell WW, Winter RB, Morrissy RT, Weinstein SL (eds.) *Lovell and Winter's Pediatric Orthopaedics*. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins. pp. 35–65.
- Dimeglio A, Charles YP, Daures JP, de Rosa V, Kaboré B
2005 Accuracy of the Sauvegrain method in determining skeletal age during puberty. *The Journal of Bone and Joint Surgery. American Volume* 87 (8):1689–1696.
- Dimeglio A, Bonnel F, Canavese F
2010 Normal Growth of the Spine and Thorax. In: Behrooz A, Akbarnia MY, Thompson GH (eds.) *The Growing Spine*. Heidelberg: Springer Berlin. pp. 13–42.

Dimeglio A, Canavese F

2012 The growing spine: how spinal deformities influence normal spine and thoracic cage growth. *European Spine Journal* 21(1): 64–70.

Dimeglio A, Canavese F

2013 Progression or not progression? How to deal with adolescent idiopathic scoliosis during puberty. *Journal of Children's Orthopaedics* 7(1): 43–49.

Dylevský I

2009 *Speciální kineziologie*. Praha: Grada. pp. 184.

Emans JB, Ciarlo M, Callahan M, Zurakowski D

2005 Prediction of Thoracic Dimensions and Spine Length Based on Individual Pelvic Dimensions in Children and Adolescents: An Age-Independent, Individualized Standard for Evaluation of Outcome in Early Onset Spinal Deformity. *Spine* 30(24): 2824–2829.

Fredriks AM., van Buuren S, van Heel WJ, Dijkman-Neerincx RH, Verloove-Vanhorick SP, Wit JM

2005 Nationwide age references for sitting height, leg length, and sitting height/height ratio, and their diagnostic value for disproportionate growth disorders. *Archives of Disease in Childhood* 90(8): 807–812.

Gasser T, Molinari L, Largo R

2013 A Comparison of Pubertal Maturity and Growth. *Annals of Human Biology* 40(4): 341–347.

Gilsanz V

2010 Pediatric Assessment of Skeletal Growth. *Rev Esp Endocrinol Pediatr* 1: 11–18.

Gohlke BC, Fahnenstich H, Dame C, Albers N

2004 Longitudinal Data for Intrauterine Levels of Fetal IGF-I and IGF-II. *Hormone Research* 61(4): 200–204.

Gold M, Dombek M, Miller PE, Emans JB, Glotzbecker MP

2014 Prediction of Thoracic Dimensions and Spine Length on the Basis of Individual Pelvic Dimensions: Validation of the Use of Pelvic Inlet Width Obtained by Radiographs Compared with Computed Tomography. *Spine* 39(1): 74–80.

Guo X, Chau W-W, Chan Y-L, Cheng JC-Y

2003 Relative Anterior Spinal Overgrowth in Adolescent Idiopathic Scoliosis. Results of disproportionate endochondral-membranous bone growth. *Journal of Bone & Joint Surger. British Volume* 85-B(7): 1026–1031.

Hacquebord JH, Leopold SS

2012 In Brief: The Risser Classification: A Classic Tool for the Clinician Treating Adolescent Idiopathic Scoliosis. *Clinical Orthopaedics and Related Research* 470(8): 2335–2338.

Hewitt D, Acheson RM

1961a Some Aspects of Skeletal Development through Adolescence. I. Variations in the Rate and Pattern of Skeletal Maturation at Puberty. *American Journal of Physical Anthropology* 19(4): 321–331.

Hewitt D, Acheson RM

1961b Some Aspects of Skeletal Development through Adolescence. II. The Inter-Relationship between Skeletal Maturation and Growth at Puberty. *American Journal of Physical Anthropology* 19(4): 333–344.

- Hoppenfeld S, Lonner B, Murthy V, Gu Y
2004 The Rib Epiphysis and Other Growth Centers as Indicators of the End of Spinal Growth. *Spine* 29(1): 47–50.
- Howell FR, Mahood JK, Dickson RA
1992 Growth beyond skeletal maturity. *Spine* 17(4): 437–440.
- Hsieh C-W, Liu T-C, Wang J-K, Jong T-L, Tiu C-M
2011 Simplified Radius, Ulna, and Short Bone-Age Assessment Procedure Using Grouped-Tanner-Whitehouse Method. *Pediatrics International: Official Journal of the Japan Pediatric Society* 53(4): 567–575.
- Iuliano-Burns S, Mirwald RL, Bailey DA
2001 Timing and Magnitude of Peak Height Velocity and Peak Tissue Velocities for Early, Average, and Late Maturing Boys and Girls. *American Journal of Human Biology* 13(1): 1–8.
- James JI
1954 Idiopathic scoliosis. The Prognosis, Diagnosis, and Operative Indications Related to Curve Patterns and the Age at Onset. *Journal of Bone & Joint Surgery. British Volume* 36-B(1): 36–49.
- Jarzem PF, Gledhill RB
1993 Predicting Height from Arm Measurements. *Journal of Pediatric Orthopedics* 13(6): 761–765.
- Kapandji IA
1974 *The Physiology of the Joints, Vol. 3: The Trunk and the Vertebral Column*. Edinburg: Churchill Livingstone. pp. 251.
- Karlberg J
1987 On the Modelling of Human Growth. *Statistics in Medicine* 6(2): 185–192.
- Karlberg J
1989 A Biologically-Oriented Mathematical Model (ICP) for Human Growth. *Acta Paediatrica Scandinavica* 78 (s350): 70–94.
- Karlberg J
2002 Secular Trends in Pubertal Development. *Hormone Research* 57(s2): 19–30.
- Karlberg J, Jalil F, Lam B, Low L, Yeung CY
1994 Linear Growth Retardation in Relation to the Three Phases of Growth. *European Journal of Clinical Nutrition* 48(s1): S25–43; discussion S43–44.
- Karlberg P, Taranger J, Engström I, Karlberg J, Landström T, Lichtenstein H, Lindstrom B, Svennberg-Redegren I
1976 Physical growth from birth to 16 years and longitudinal outcome of the study during the same age period. *Acta Paediatrica* 65(s258): 7-76.
- Karol LA, Johnston CE, Browne RH, Madison M
1993 Progression of the Curve in Boys Who Have Idiopathic Scoliosis. *The Journal of Bone and Joint Surgery. American Volume* 75(12): 1804–1810.
- Karol LA., Johnston C, Mladenov K, Schochet P, Walters P, Browne RH
2008 Pulmonary Function Following Early Thoracic Fusion in Non-Neuromuscular Scoliosis. *The Journal of Bone and Joint Surgery. American Volume* 90(6): 1272–1281.

- Konieczny MR, Senyurt H, Krauspe R
2013 Epidemiology of Adolescent Idiopathic Scoliosis. *Journal of Children's Orthopaedics* 7(1): 3–9.
- Kotwicki T, Chowańska J, Kinel E, Lorkowska M, Stryła W, Szulc A
2007 Sitting Forward Bending Position versus Standing Position for Studying the Back Shape in Scoliotic Children. *Scoliosis* 2(s1): S34.
- Krásničanová H, Veselá M
2006 Vztahy hmotnost-výška a menstruační cyklus u pacientek s mentální anorexií. *Česká a slovenská psychiatrie* 102(2): 66-72.
- Kuchyňková I, Krásničanová H
2004 Methods of Skeletal Maturity Assessment: Some Clinical Aspects. *Anthropologie* 42(2): 115–119.
- Kuhns LR, Holt JF
1975 Measurement of Thoracic Spine Length on Chest Radiographs of Newborn Infants. *Radiology* 116(2): 395–397.
- Lebl J, Krásničanová H
1996 *Růst dětí a jeho poruchy*. Praha: Galén. pp. 157.
- Leger J, Oury JF, Noel M, Baron S, Benali K, Blot P, Czernichow P
1996 Growth Factors and Intrauterine Growth Retardation. I. Serum Growth Hormone, Insulin-Like Growth Factor (IGF)-I, IGF-II, and IGF Binding Protein 3 Levels in Normally Grown and Gestation. *Pediatric Research* 40(1): 94.
- Lhotská L, Bláha P, Vignerová J, Roth Z, Prokopec M
1993 *V. celostátní antropologický výzkum dětí a mládeže 1991 (české země)*. Antropometrické charakteristiky. Praha: Státní zdravotní ústav. pp. 187.
- Little DG, Sussman MD
1994 The Risser Sign: A Critical Analysis. *Journal of Pediatric Orthopedics* 14(5), 569–575.
- Little DG, Song KM, Katz D, Herring JA
2000 Relationship of Peak Height Velocity to Other Maturity Indicators in Idiopathic Scoliosis in Girls. *The Journal of Bone and Joint Surgery. American Volume* 82(5): 685–693.
- Liu YX, Wikland KA and Karlberg J
2000 New Reference for the Age at Childhood Onset of Growth and Secular Trend in the Timing of Puberty in Swedish. *Acta Pædiatrica* 89(6): 637–643.
- Lonstein JE
1994 Adolescent Idiopathic Scoliosis. *The Lancet* 344(8934): 1407–1412.
- Lowe TG, Edgar M, Margulies JY, Miller NH, Raso VJ, Reinker KA, Rivard CH
2000 Etiology of Idiopathic Scoliosis: Current Trends in Research. *The Journal of Bone and Joint Surgery. American Volume* 82-A(8): 1157–1168.
- Luo ZC, Cheung YB, He Q, Albertsson-Wikland K, Karlberg J
2003 Growth in Early Life and Its Relation to Pubertal Growth. *Epidemiology* 14(1): 65–73.

Marshall WA

1974 Interrelationships of Skeletal Maturation, Sexual Development and Somatic Growth in Man. *Annals of Human Biology* 1(1): 29–40.

Marshall WA, Tanner JM

1969 Variations in Pattern of Pubertal Changes in Girls. *Archives of Disease in Childhood* 44(235): 291–303.

Marshall WA, Tanner JM

1970 Variations in the Pattern of Pubertal Changes in Boys. *Archives of Disease in Childhood* 45(239): 13–23.

Mařík I

2000 Systémové, končetinové a kombinované vady skeletu: diagnostické, terapeutické a biomechanické aspekty – 1. část. Monografie. In: *Pohybové ústrojí* 7 (2-3): 83–215.

Mařík I, Černý P, Zubina P, Sobotka Z, Korbelář P

1997 Srovnání korekčních účinků korzetu typu Cheneau a dynamické korekční trupové ortézy typ Černý. *Pohybové ústrojí* 4(3): 56–61.

Meijer GJM, Homminga J, Hekman EEG, Veldhuizen AG, Verkerke GJ

2010 The Effect of Three-Dimensional Geometrical Changes during Adolescent Growth on the Biomechanics of a Spinal Motion Segment. *Journal of Biomechanics* 43(8): 1590–1597.

Mellion ZJ, Behrents RG, Johnston LE

2013 The Pattern of Facial Skeletal Growth and Its Relationship to Various Common Indexes of Maturation. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 143(6): 845–854.

Modi HN, Modi CH, Suh SW, Yang JH, Hong J-H

2009 Correlation and Comparison of Risser Sign versus Bone Age Determination (TW3) between Children with and without Scoliosis in Korean Population. *Journal of Orthopaedic Surgery and Research* 4(1): 1–8.

Molinari L, Gasser T, Largo R

2013 A Comparison of Skeletal Maturity and Growth. *Annals of Human Biology* 40(4): 333–340.

Nahas RW, Sherwood RJ, Chumlea WC, Towne B, Duren DL

2013 Predicting the Timing of Maturational Spurts in Skeletal Age. *American Journal of Physical Anthropology* 150(1): 68–75.

Nault M-L, Parent S, Phan P, Roy-Beaudry M, Labelle H, Rivard M

2010 A Modified Risser Grading System Predicts the Curve Acceleration Phase of Female Adolescent Idiopathic Scoliosis. *The Journal of Bone & Joint Surgery* 92(5): 1073–1081.

Negrini S, Atanasio S, Fusco C, Zaina F

2009 Efficacy of Bracing Immediately after the End of Growth: Final Results of a Retrospective Case Series. *Scoliosis* 4(s2): O49.

Nicolopoulos KS, Burwell RG, Webb JK

1985 Stature and Its Components in Healthy Children, Sexual Dimorphism and Age Related Changes. *Journal of Anatomy* 141: 105–114.

Palmert MR, Hirschhorn JN

2003 Genetic Approaches to Stature, Pubertal Timing, and Other Complex Traits. *Molecular Genetics and Metabolism* 80(1-2): 1–10.

- Parent A-S, Teilmann G, Juul A, Skakkebaek NE, Toppari J, Bourguignon JP
2003 The Timing of Normal Puberty and the Age Limits of Sexual Precocity: Variations around the World, Secular Trends, and Changes after Migration. *Endocrine Reviews* 24(5): 668–693.
- Pathmanathan G, Prakash S
1994 Growth of Sitting Height, Subischial Leg Length and Weight in Well-off Northwestern Indian Children. *Annals of Human Biology* 21(4): 325–334.
- Pearce MS, Salotti JA, Little MP, McHugh K, Lee C, Kim KP, Howe NL, Ronckers CM, Rajaraman P, Sir Craft AW, Parker L, Berrington de González A
2012 Radiation Exposure from CT Scans in Childhood and Subsequent Risk of Leukaemia and Brain Tumours: A Retrospective Cohort Study. *Lancet* 380(9840): 499–505.
- Prader A
1992 Pubertal Growth. *Pediatrics International* 34(2): 222–235.
- Repko M
2010 Skolióza – komplexní diagnostické a terapeutické postupy. *Pediatric pro praxi* 11(4): 218–222.
- Repko M
2012 Diagnostika a terapie skoliózy. *Medicína v praxi* 9(2): 70–73.
- Risser JC
1958 The Iliac Apophysis; an Invaluable Sign in the Management of Scoliosis. *Clinical Orthopaedics* 11: 111.
- Rosen DS
2004 Physiologic Growth and Development During Adolescence. *Pediatrics in Review* 25(6): 194–200.
- Sanders JO
2007 Maturity Indicators in Spinal Deformity. *The Journal of Bone and Joint Surgery. American Volume* 89 (s1): 14–20.
- Sanders JO, Browne RH, Cooney TE, Finegold DN, McConnell SJ, Margraf SA
2006 Correlates of the Peak Height Velocity in Girls with Idiopathic Scoliosis. *Spine* 31(20): 2289–2295.
- Sanders JO, Browne RH, McConnell SJ, Margraf SA, Cooney TE, Finegold DN
2007 Maturity Assessment and Curve Progression in Girls with Idiopathic Scoliosis. *The Journal of Bone and Joint Surgery. American Volume* 89(1): 64–73.
- Sanders JO, Khoury JG, Kishan S, Browne RH, Mooney JF 3rd, Arnold KD, McConnell SJ, Bauman JA, Finegold DN
2008 Predicting Scoliosis Progression from Skeletal Maturity: A Simplified Classification during Adolescence. *The Journal of Bone and Joint Surgery. American Volume* 90(3): 540–553.
- Sedlak P
2007 Biological age. In: Bláha P, Susanne Ch, Rebato E (eds.) *Essential of Biological Anthropology*. Praha: Karolinum. pp. 231–244.
- Sedlak P, Bláha P
2007 Child Growth and Development. In: Bláha P, Susanne Ch, Rebato E (eds.) *Essential of Biological Anthropology*. Praha: Karolinum. pp. 149–160.

Sedlak P, Bláha P

2007 Ontogenetic Development of the Man. In: Bláha P, Susanne Ch, Rebato E (eds.) *Essential of Biological Anthropology*. Praha: Karolinum. pp. 161–217

Shankar H, Scarlett JA, Abram SE

2009 Anatomy and Pathophysiology of Intervertebral Disc Disease. *Techniques in Regional Anesthesia and Pain Management* 13(2): 67–75.

Sherar LB, Mirwald RL, Baxter-Jones ADG, Thomis M

2005 Prediction of Adult Height Using Maturity-Based Cumulative Height Velocity Curves. *The Journal of Pediatrics* 147(4): 508–514.

Shuren N, Kasser JR, Emans JB, Rand F

1992 Reevaluation of the Use of the Risser Sign in Idiopathic Scoliosis. *Spine* 17(3): 359.

Silventoinen K, Haukka J, Dunkel L, Tynelius P, Rasmussen F

2008 Genetics of Pubertal Timing and Its Associations With Relative Weight in Childhood and Adult Height: The Swedish Young Male Twins Study. *Pediatrics* 121(4): e885–e891.

Skogland LB, Miller JA

1981 The Length and Proportions of the Thoracolumbar Spine in Children with Idiopathic Scoliosis. *Acta Orthopaedica Scandinavica* 52(2): 177–185.

Song KM, Little DG

2000 Peak Height Velocity as a Maturity Indicator for Males with Idiopathic Scoliosis. *Journal of Pediatric Orthopaedics* 20(3): 286–288.

Sørensen K, Aksglaede L, Petersen JH, Juul A

2010 Recent Changes in Pubertal Timing in Healthy Danish Boys: Associations with Body Mass Index. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism* 95(1): 263–270.

Stokes IA

2007 Analysis and Simulation of Progressive Adolescent Scoliosis by Biomechanical Growth Modulation. *European Spine Journal* 16(10): 1621–1628.

Stokes IA, Spence H, Aronsson DD, Kilmer N

1996 Mechanical Modulation of Vertebral Body Growth. Implications for Scoliosis Progression. *Spine* 21(10): 1162–1167.

Stokes IA, Windisch L

2006 Vertebral Height Growth Predominates over Intervertebral Disc Height Growth in Adolescents with Scoliosis. *Spine* 31(14): 1600–1604.

Tanner JM, Whitehouse RH, Takaishi M

1966 Standards from Birth to Maturity for Height, Weight, Height Velocity, and Weight Velocity: British Children, 1965. Part I. *Archives of Disease in Childhood* 41(219): 454.

Tanner JM, Whitehouse RH, Marubini E, Resele LF

1976 The Adolescent Growth Spurt of Boys and Girls of the Harpenden Growth Study. *Annals of Human Biology* 3(2): 109–126.

Tanner JM, Healy MJR, Goldstein H, Cameron N

2001 *Assessment of Skeletal Maturity and Prediction of Adult Height (TW3 Method)*. London: W. B. Saunders. pp. 110.

Taylor JR, Twomey LT
1984 Sexual Dimorphism in Human Vertebral Body Shape. *Journal of Anatomy* 138(pt 2): 281–286.

Veldhuizen AG, Baas P, Webb PJ
1986 Observations on the Growth of the Adolescent Spine. *Journal of Bone & Joint Surgery, British Volume* 68-B(5): 724–728.

Véle F
1995 *Kineziologie posturálního systému. [Vysokoškolská skripta]*. Praha: Karolinum. pp. 85.

Véle F
1997 *Kineziologie pro klinickou praxi*. Praha: Grada Publishing. pp. 272.

Véle F
2006 *Kineziologie. Přehled klinické kineziologie a patokineziologie pro diagnostiku a terapii poruch pohybové soustavy*. Praha: Triton. pp. 375.

Vignerová J, Riedlová J, Bláha P, Kobzová J, Krejčovský L, Brabec M, Hrušková M
2006 *VI. celostátní antropologický výzkum dětí a mládeže 2001*. Praha: Státní zdravotní ústav. pp. 238.

Wang S., Qiu Y., Ma Z, Xia C, Zhu F, Zhu Z
2007 Histologic, Risser Sign, and Digital Skeletal Age Evaluation for Residual Spine Growth Potential in Chinese Female Idiopathic Scoliosis. *Spine* 2007 32(15): 1648–1654.

Wit JM, Van Unen H.
1992 Growth of Infants with Neonatal Growth Hormone Deficiency. *Archives of Disease in Childhood* 67(7): 920–924.

Ylikoski M
1993 Spinal Growth and Progression of Adolescent Idiopathic Scoliosis. *European Spine Journal* 1(4): 236–239.

Zaoussis AL, James JIP
1958 The Iliac Apophysis and the Evolution of Curves in Scoliosis. *Journal of Bone & Joint Surgery, British Volume* 40-B(3): 442–453.

Zemková D
2011 Metody hodnocení kostního věku. *Praktická gynekologie* 15(1): 28–32.

Internetové zdroje:

URL1 Krásničanová H
2008 Sexuální a skeletální růst chlapců. Volum testes, orchidometrie a biologický věk. *Pediatric pro praxi* [cit. 15. 3. 2015]
Dostupné z: <http://www.porucharustu.cz/stahnout-soubor?id=26>.

URL2 Krásničanová H, Lesný P
2005 *Kompendium pediatrické auxologie. Kostní věk*. [cit. 8. 5. 2015]
Dostupné z: http://www.ojrech.cz/lesny/kompendium/bone_age.htm.