



Bakalářská práce

Srovnání tradiční metody určování kostního věku s metodami umělé inteligence

Studijní program:

B0914P360009 Radiologická asistence

Autor práce:

Martin Kraus

Vedoucí práce:

MUDr. Tomáš Beran

Fakulta zdravotnických studií

Liberec 2023



Zadání bakalářské práce

Srovnání tradiční metody určování kostního věku s metodami umělé inteligence

<i>Jméno a příjmení:</i>	Martin Kraus
<i>Osobní číslo:</i>	D20000226
<i>Studijní program:</i>	B0914P360009 Radiologická asistence
<i>Zadávací katedra:</i>	Fakulta zdravotnických studií
<i>Akademický rok:</i>	2021/2022

Zásady pro vypracování:

Cíle práce

Cílem práce je otestovat limity a schopnosti již existujících metod umělé inteligence a porovnat ji s lidským hodnotitelem.

Teoretická východiska

Práce bude spočívat v porovnání výsledků hodnocení kostního věku aplikací s umělou inteligencí a lidským hodnotitelem v populaci českých dětí.

Výzkumné otázky

Diference mezi lidským hodnotitelem a umělou inteligencí při určování kostního věku, testování přesnosti a spolehlivosti umělé inteligence. Otázka budoucího využití umělé inteligence v radiodiagnostice a následné zhotovení statistického přehledu

Metoda

Kvantitativní

Technika práce

Data bude zpracovávat umělá inteligence, následně bude předána lidskému hodnotiteli s osmiletou praxí a nakonec začátečníkovi v oboru. Výsledná data budou mezi sebou porovnána.

Místo a čas realizace výzkumu

Výzkum bude probíhat na traumatologické ambulanci po dobu několika týdnů.

Vzorek

Bude se jednat o několik desítek snímků ruky a zápěstí z traumatologické ambulance, kde se nepředpokládá metabolická nebo endokrinní porucha.

Rozsah práce

Rozsah bakalářské práce činí 50–70 stran (tzn. 1/3 teoretická část, 2/3 výzkumná část).

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

Forma zpracování práce:

Jazyk práce:

tištěná/elektronická

Čeština

Seznam odborné literatury:

Greulich WW, Pyle SI. Radiographic atlas of skeletal development of the hand and wrist. 2nd ed. Stanford, Calif: Stanford University Press, 1971.

ZUNA, Ivan a Lubomír POUŠEK. 2007. Úvod do zobrazovacích metod v lékařské diagnostice I. Vyd. 2. V Praze: Nakladatelství ČVUT, c2000. ISBN 978-80-01-03779-9

SEIDL, Zdeněk. 2012. Radiologie pro studium i praxi. Praha: Grada. ISBN 978-80-247-4108-6 ČESKO.

MINISTERSTVO ZDRAVOTNICTVÍ. 2019. Národní radiologické standardy – skiografie, dospělí. Soubor doporučení a návod pro tvorbu místních radiologických standardů pro dospělé pacienty na skiografických pracovištích v České republice. In: Věstník MZČR. Částka 3, s. 1-95. ISSN 1211-0868. Dostupné také z: <https://www.mzcr.cz/skiografie-dospeli/>

Krásničanová, H. a Kuchyňková, I. 2002. Nová metoda hodnocení kostního věku TW3 a první výsledky jejího využití u nás. Československá pediatrie 57(2): 62-66.

DYLEVSKÝ, Ivan. Obecná kineziologie. Praha: Grada, 2007. ISBN 978-80-247-1649-7.

MASAŘÍKOVÁ, Helena. Hodnocení kostního věku [přednáška k předmětu Dětská radiologie, obor VŠL, Lékařská fakulta MU]. Brno. cit. 25. 11. 2015. Dostupné také

z <<http://telemedicina.med.muni.cz/pdm/detska-radiologie/res/f/hodnoceni-kostniho-veku.pdf>> MUGHAL, Arsalan Manzoor, Nuzhat HASSAN a Anwar AHMED. Bone Age Assessment Methods: A Critical Review. Pakistan Journal of Medical Sciences [online]. 1969, 30(1) [cit. 2022-05-24]. ISSN 1681-715X. Dostupné z: doi:10.12669/pjms.301.4295

GILSANZ, Vicente a Osman RATIB. Hand Bone Age: A Digital Atlas of Skeletal Maturity [online]. 1. Německo: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2005 [cit. 2022-05-24]. ISBN 978-3-642-23762-1. Dostupné z: https://www.chospab.es/biblioteca/DOCUMENTOS/Atlas_of_Hand_Bone_Age.pdf

SATOH, Mari. Bone age: assessment methods and clinical applications. Clin Pediatr Endocrinol [online]. Japonsko: The Japanese Society for Pediatric Endocrinology, 2015, 24(4), 143-152 [cit. 2022-05-24]. Dostupné z: doi: <https://doi.org/10.1297/cpe.24.143>

Vedoucí práce:

MUDr. Tomáš Beran

Fakulta zdravotnických studií

Datum zadání práce:

14. června 2022

Předpokládaný termín odevzdání: 5. května 2023

L.S.

prof. MUDr. Karel Cvachovec, CSc.,

MBA

děkan

V Liberci dne 30. listopadu 2022

Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně jako původní dílo s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce a konzultantem.

Jsem si vědom toho, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu Technické univerzity v Liberci.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti Technickou univerzitu v Liberci; v tomto případě má Technická univerzita v Liberci právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Současně čestně prohlašuji, že text elektronické podoby práce vložený do IS/STAG se shoduje s textem tištěné podoby práce.

Beru na vědomí, že má bakalářská práce bude zveřejněna Technickou univerzitou v Liberci v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů.

Jsem si vědom následků, které podle zákona o vysokých školách mohou vyplývat z porušení tohoto prohlášení.

2. května 2023

Martin Kraus

Poděkování

Rád bych poděkoval MUDr. Tomášovi Beranovi za odborné vedení mé práce, za jeho čas, cenné poznámky a rady, vstřícný a proaktivní přístup a možnost častých osobních konzultací. Dále bych chtěl poděkovat své rodině za podporu během studia.

ANOTACE

Jméno a příjmení autora:	Martin Kraus
Instituce:	Fakulta zdravotnických studií Technické univerzity v Liberci
Název práce:	Srovnání tradiční metody určování kostního věku s metodami umělé inteligence
Vedoucí práce:	MUDr. Tomáš Beran
Počet stran:	59+2 strany příloh
Počet příloh:	2
Rok obhajoby:	2023

Srovnání tradiční metody určování kostního věku s metodami umělé inteligence

Práce bude spočívat v porovnání výsledků hodnocení kostního věku aplikací s umělou inteligencí a lidským hodnotitelem v populaci českých dětí. Cílem práce je otestovat limity a schopnosti již existujících metod umělé inteligence a porovnat ji s lidským hodnotitelem. Závěrem práce bude zodpovězení otázky využití umělé inteligence v radiodiagnostice a zhotovení statistického přehledu.

Práce se dělí na dvě části, teoretickou a praktickou. Teoretická část se zabývá funkcemi umělé inteligence, anatomii skeletu ruky, radiační ochranou a metodami pro hodnocení kostního věku.

Praktická část se zabývá určováním kostního věku pacientů lékařem a začátečníkem v oboru a následným porovnáním mezi umělou inteligencí. Výsledná data byla mezi sebou porovnána a přenesena do grafu.

Klíčová slova

Kostní věk, srovnání, umělá inteligence, vývoj skeletu, určení

ANNOTATION

Name and surname:	Martin Kraus
Institution:	Faculty of Health Studies, Technical University of Liberec
Title:	Bone age assessment: comparison between human observer and artificial intelligence
Supervisor:	MUDr. Tomáš Beran
Pages:	59+2 pages of appendices
Appendix:	2
Year:	2023

Bone age assessment: comparison between human observer and artificial intelligence

The thesis will consist in comparing the results of bone age assessment web application with artificial intelligence and a human evaluator in the population of Czech children. The aim of the work is to test the limits and capabilities of already existing artificial intelligence methods and compare it with a human evaluator. The conclusion of the work will be the answer to the question of the use of artificial intelligence in radiodiagnostics and the preparation of a statistical overview.

The thesis is divided into two parts, theoretical and practical. The theoretical part deals with the functions of artificial intelligence, the anatomy of the hand skeleton, radiation protection and methods for assessing bone age.

The practical part deals with the determination of bone age by a doctor and a beginner in the field and the subsequent comparison between artificial intelligence. the resulting data were compared with each other and transferred to a graph.

Keywords

Artificial intelligence, assessment, bone age, comparisson, skeletal development

Obsah

Seznam symbolů a zkratek	11
1 Úvod	12
2 Teoretická část	13
3 Anatomie.....	14
3.1 Kostí ruky (ossa manus)	14
3.1.1 Zápěstní kosti (ossa carpi).....	14
3.2 Osifikace a vývoj zápěstních kostí	16
3.2.1 Vývoj karpálních kostí a jejich adaptace v průběhu života.....	16
3.2.2 Osifikace karpálních kostí.....	16
4 Kostní věk	18
4.1 Přístrojové vybavení	18
4.1.1 Skiografie.....	18
4.1.2 Metoda magnetické resonance.....	19
4.2 Provedení skiografické projekce ruky	19
4.3 Greulich-Pylové metoda	20
4.3.1 Historie vývoje Greulich-Pylové metody a její význam v růstové diagnostice	23
4.4 Tanner-Whitehousova metoda.....	23
4.4.1 Historie Tanner-Whitehousovy metody.....	25
4.5 Diagnostika růstových poruch	26
5 Využití umělé inteligence ve zdravotnictví	27
5.1 Historie automatizovaného určování kostního věku.....	28
5.2 Klinické využití automatizovaného určování kostního věku	29
6 Aplikace 16bit: Pysis s umělou inteligencí.....	30
6.1 Aplikace 16bit: Pysis.....	30

6.2 Používání aplikace.....	30
6.3 Zkušenosti s aplikací a její přesnost.....	31
7 Radiační ochrana	32
7.1 Standardy oddělení	33
7.2 Klinická odpovědnost.....	33
7.3 Klinická odpovědnost za praktickou část	34
7.4 Postup při lékařském ozáření	34
7.4.1 Odůvodnění a vystavení žádanky.....	34
7.4.2 V případě výkonů s indikací posuzovanou radiologickým asistentem ...	34
7.4.3 LO dětského pacienta	35
8 Praktická část.....	37
8.1 Cíle a výzkumné předpoklady.....	37
8.2 Metody.....	37
9 Hodnocení skiagrafičeských snímků	39
9.1 Příprava a zpracování snímků.....	39
9.2 Hodnocení kostního věku	39
9.3 Analýza a srovnání výsledků.....	39
9.4 Hodnocení snímku u pacienta 891	40
9.4.1 Studie kostního věku – umělá inteligence	40
9.4.2 Studie kostního věku – lékař.....	41
9.4.3 Studie kostního věku – postup začátečníka v oboru.....	41
9.5 Hodnocení snímku u pacienta 96513	42
9.5.1 Studie kostního věku – umělá inteligence	42
9.5.2 Studie kostního věku – Lékař	43
9.5.3 Studie kostního věku – začátečník.....	44
9.6 Pacient 28969	45
9.6.1 Studie kostního věku – umělá inteligence	45

9.6.2 Studie kostního věku – lékař.....	46
9.6.3 Studie kostního věku – začátečník.....	46
10 Analýza výzkumných dat a vyhodnocení cílů	47
10.1 Vyhodnocení cílů, výzkumných otázek a předpokladů	49
11 Diskuze.....	51
12 Návrh doporučení pro praxi	52
13 Závěr	53
Seznam použité literatury	54
Seznam obrázků.....	57
Seznam příloh	59

Seznam symbolů a zkratek

AI	Umělá inteligence
Apod.	A podobně
BP	Bakalářská práce
CARP	Carpal score
CASAS	Computer-based skeletal aging scoring system
CT	Computed tomography
DL	Deep learning
G-P	Greulich-Pylová
IZ	Ionizující záření
kV	Kilovolt
LO	Lékařské ozáření
mAs	Miliamper sekunda
ML	Machine learning
MZ ČR	Ministerstvo zdravotnictví České republiky
RUS	Radius, ulna, short bones
T-W	Tanner-Whitehouse
UZ	Ultrazvuk

1 Úvod

V dnešní době je určování kostního věku stále důležitou součástí diagnostiky a léčby dětských pacientů. Existují různé metody pro určení kostního věku, které jsou založeny na srovnávání rentgenových snímků dítěte s atlasem kostního věku.

V posledních letech se stále více uplatňuje umělá inteligence v oblasti medicíny. Aplikace umělé inteligence může pomoci lékařům při určování diagnózy a léčby pacientů. V oblasti určování kostního věku se také objevují aplikace s umělou inteligencí, které mají pomoci lékařům v rychlém a přesném určení kostního věku dítěte.

Cílem této bakalářské práce je porovnat výsledky určení kostního věku pomocí aplikace s umělou inteligencí a lidským hodnotitelem u populace českých dětí. Data budou zpracovávána umělou inteligencí a následně budou předána lidskému hodnotiteli s osmiletou praxí a začátečníkovi v oboru. Výzkum bude probíhat na traumatologické ambulanci po dobu několika týdnů, kde bude provedena komparace několika desítek snímků zápěstí, u kterých není předpokládána metabolická nebo endokrinní porucha.

Cílem výzkumu je zjistit přesnost, spolehlivost a efektivitu umělé inteligence v určování kostního věku dítěte v porovnání s lidským hodnotitelem. Výsledná data budou mezi sebou porovnána a vyhodnocena. V případě pozitivních výsledků by aplikace s umělou inteligencí mohla být použita jako doplňková metoda pro určení kostního věku dětských pacientů.

2 Teoretická část

Teoretická část bakalářské práce tvoří pevný základ pro následnou praktickou část a má za úkol prozkoumat a analyzovat současný stav řešené problematiky. Tato část je založena na relevantních poznatcích a informacích, které byly načerpány z různých odborných informačních zdrojů, jak tuzemských, tak i zahraničních. Získané informace byly shromážděny pomocí rešerše, což umožnilo vytvořit ucelený přehled o daném tématu.

V teoretické části se klade důraz na pochopení základních konceptů a principů umělé inteligence (AI), jejího vývoje a současných trendů. Zvláštní pozornost je věnována uplatnění AI ve zdravotnictví, které v posledních letech prochází značným rozvojem. Tato část práce se zaměřuje na zkoumání různých oblastí, ve kterých se AI ve zdravotnictví uplatňuje, jako jsou diagnostika nebo léčba.

Teoretická část se bude zabývat také přínosy a výzvami spojenými s implementací AI do zdravotní péče, jakož i potenciálními riziky a omezeními.

Analýza získaných poznatků bude sloužit jako základ pro praktickou část práce, která bude zaměřena na konkrétní aplikaci AI ve zdravotnictví a jejich dopad na kvalitu a efektivitu poskytované péče. V rámci praktické části budou navrženy a ověřeny metody hodnocení kostního věku založené na umělé inteligenci s cílem prozkoumat přenos, spolehlivost a možnost následného využití AI ve zdravotnictví.

Teoretická část tedy poskytuje nezbytný rámec pro praktickou část, která bude navazovat na závěry a doporučení vyplývající z analýzy současného stavu umělé inteligence ve zdravotnictví.

3 Anatomie

V této části bakalářské práce se zaměříme na anatomii skeletu, zejména na anatomii ruky, přičemž se častěji zkoumá méně dominantní levá ruka. Anatomické znalosti ruky jsou důležité pro pochopení procesu růstu kostí a pro správné určování kostního věku.

3.1 Kostí ruky (ossa manus)

Ruka se skládá ze tří hlavních částí: zápěstí, dlaně a prstů. Dlaňová část ruky je tvořena pěti metakarpálními kostmi (ossa metacarpi), které se nacházejí mezi zápěstím a prsty. Každá z těchto metakarpálních kostí se spojuje s články (phalanges), které tvoří prsty.

Prsty, s výjimkou palce, mají tři články: proximální (phalanx proximalis), mediální (phalanx media) a distální (phalanx distalis). Palec (pollex) má pouze dva články: proximální (phalanx proximus) a distální (phalanx distalis).

Zápěstí je složeno z osmi karpálních kostí, které jsou uspořádány ve dvou řadách. Kostí v proximální řadě zahrnují: os scaphoideum (člunkovitá kost), os lunatum (poloměšičitá kost), os triquetrum (trojhranná kost) a os pisiforme (hrášková kost). Distální řada se skládá z os trapezium (velká kost mnohohranná), os trapezoideum (malá kost mnohohranná), os capitatum (hlavatá kost) a os hamatum (hákovitá kost).

Dvě klíčové karpální kosti, os scaphoideum a os lunatum, jsou připojeny k kosti vřetenní (radius), která spolu s kostí loketní (ulna) tvoří kosti předloktí. Tyto karpální kosti umožňují pohyb ruky ve všech směrech a přenášejí sílu a tlak mezi rukou a předloktím (Řezníčková, 2003; Čihák, 2016).

3.1.1 Zápěstní kosti (ossa carpi)

Zápěstní kosti představují pevný základ karpálního tunelu, kterým procházejí šlachy flexorů digitorum superficialis et profundus spolu s nervem medianus. Tento nerv může být často utlačován při syndromu karpálního tunelu. Kostí zápěstí se vyznačují svým jedinečným tvarem a spojením se sousedními kostmi. Většina zápěstních kostí, s výjimkou os pisiforme, má rovnější dorzální plochy s otvory pro cévní vstup. Palmární

plochy jsou mírně konvexní, zatímco laterální, proximální a distální strany mají kloubní plochy pro kontakt se sousedními kostmi.

Proximální řada zápěstních kostí je tvořena, od radiální k ulnární straně, os scaphoideum, os lunatum, os triquetum a os pisiforme, která je palmárně připojena k os triquetum. Distální řada zahrnuje od vřetenní kosti k loketní v následujícím pořadí: os trapezium, os trapezoideum, os capitatum a os hamatum.

Os scaphoideum je konvexně zakřivené směrem k vřetenní kosti a distálně směrem k os trapezium a os trapezoideum. Na palmární straně kosti je konkavita zvaná tuberculum ossis scaphoidei, která je součástí zvýšeného výběžku karpu.

Os lunatum je pojmenováno podle srpkovitěho tvaru, který je viditelný pouze z boku. Os triquetrum má nepravidelný trojúhelníkový tvar a na dlani obsahuje oválnou kloubní plochu pro os pisiforme.

Os pisiforme má tvar a velikost většího zrna hrachu. Je zploštělé a má hladký kloubní povrch, který se artikuluje s kostí trojhrannou (os triquetum). Tato kost je považována za sezamskou kost, která se původně nachází ve šlaše musculus flexor carpi ulnaris.

Os trapezium má sedlovitou kloubní plochu, která se spojuje se záprstní kostí palce. Tuberculum ossis trapezii ční do dlaně a zakončuje vyvýšenost karpu. Vedle tuberkula je rýha, kterou prochází šlacha musculus flexor carpi radialis.

Os trapezoideum je širší na hřbetu ruky než na dlani a jeho střešovitá kloubní plocha na vzdálené straně kosti se přizpůsobuje zářezu na bázi druhého metakarpu.

Os capitatum je největší ze zápěstních kostí, s kulovitou hlavicí (caput ossis capitati) orientovanou proximálně. Tato hlavice zapadá do výklenku kosti loďkovité (os scaphoideum) a kosti poloměsíčitě (os lunatum).

Os hamatum disponuje dvěma distálními kloubními plochami pro čtvrtý a pátý metakarp. Hamulus ossis hamati je zakřivený z ulnární konvexity, vybíhá z loketního okraje kosti do dlaně a tvoří loketní vyvýšeninu karpální kosti společně s os pisiforme. Zde končí prodloužení šlachy flexor carpi ulnaris.

Tímto způsobem tvoří zápěstní kosti komplexní a pevnou strukturu, která umožňuje pohyb ruky a zároveň poskytuje ochranu pro citlivé struktury, jako jsou nervy a cévy

procházející karpálním tunelem. Porozumění anatomii zápěstních kostí a jejich vzájemným spojením je klíčové pro identifikaci a léčbu různých onemocnění a poranění, které mohou postihovat tuto oblast, včetně syndromu karpálního tunelu, zlomenin nebo artritidy (Čihák, 2016).

3.2 Osifikace a vývoj zápěstních kostí

3.2.1 Vývoj karpálních kostí a jejich adaptace v průběhu života

Vývoj karpálních kostí začíná během embryonálního stadia, konkrétně v šestém týdnu vývoje, kdy dochází k proliferaci a zesílení mezenchymu zápěstí na distálním konci růstové zóny předloktí. V průběhu šestého týdne se mezenchym začíná transformovat na chrupavku, tento proces se nazývá chondrifikace.

Osifikace, neboli kostění, začíná v chrupavčité bázi os capitatum až po narození. K tomuto procesu přispívají buňky zvané osteoblasty, které produkují základní kostní hmotu ve formě prekurzorů. Osteoblasty postupně obalují základní kostní hmotu, dokud nejsou zcela obklopeny, čímž se stávají osteocyty. Osteocyty již neprodukují novou kostní hmotu, zvanou kostní matrix, ale aktivně se podílejí na procesu uvolňování minerálů z jejich výchozího materiálu, což napomáhá regulaci hladiny vápníku v tělesných tekutinách. Osteocyty mají schopnost být znovu aktivovány na osteoblasty nebo se mohou transformovat do retikulárních buněk.

Osteocyty jsou protáhlé, vřetenovité, zploštělé buňky s mnoha příčnými jemnými výběžky. Tyto buňky jsou umístěny v dutinách, otvorech základní hmoty, a jejich výběžky pronikají do malých kanálků, zvaných canaliculi ossium.

Během života se mění poměr mezi nezmineralizovanou kostní hmotou (osteoidem) a minerální složkou kosti. Zatímco novorozenec kost obsahuje asi 48 % anorganických látek, v dospělosti se jejich obsah zvyšuje na 60 % a více. Tento jev způsobuje, že kosti jsou v mládí pružnější, zatímco ve stáří se stávají křehčími. To znamená, že kosti se v průběhu života přizpůsobují různým nárokům a potřebám organismu (Čihák, 2016).

3.2.2 Osifikace karpálních kostí

Metakarpy jsou krátké kosti, které jsou klíčovým indikátorem tělesné dospělosti jedince. Jejich osifikace začíná v kosti hlavaté a postupuje přes kosti hákovou, trojhrannou, poloměsíčitou, člunkovou, mnohohrannou větší a mnohohrannou menší.

Kost hrášková, sezamská kost, osifikuje až později. Celý proces osifikace probíhá podél spirály, od kosti hlavaté k okraji loketní kosti, poté ke kosti vřetení a radiálním okrajem distálně a odsud ulnárně ke kosti mnohohranné menší. Osifikace metakarpů je významným ukazatelem kostního věku jedince.

Kostní věk, tedy dosažená osifikace zápěstí, se porovnává se skutečným věkem dítěte na vyšetření a zjišťuje se tak, zda se skelet vyvíjí dostatečně rychle a správně. Porovnání kostního věku s věkem skutečným umožňuje určit, zda jsou kosti jedince v souladu se skutečným věkem a zda dochází k normálnímu vývoji.

Pro zohlednění celkové tělesné vyspělosti je při určování věku jedince důležité srovnávat i status postupného rozvoje chrupu, který je nazýván zubním věkem. Osifikační jádra se tvoří dříve u dívek než u chlapců, proto mohou být hodnoty kostního věku odlišné mezi oběma pohlavími.

Metody hodnocení kostního věku jsou důležité pro správnou diagnostiku a stanovení správného léčebného postupu. Pro hodnocení kostního věku se nejčastěji používají rentgenové snímky ruky a zápěstí, ale i jiné metody jako magnetická rezonance (MR) nebo ultrazvuk (Čihák, 2016; Dylevský, 2007).

4 Kostní věk

Určování kostního věku je důležitým nástrojem pro posouzení biologického věku jedince. Kostní věk může být shodný s kalendářním věkem, ale také se může lišit, například u dětí s růstovými poruchami nebo u dětí s hormonálními abnormalitami. Proto je určení kostního věku důležité v oblastech jako jsou pediatrie, endokrinologie, sportovní medicína, ortopedie, klinická genetika a forenzní medicína.

Pro určení kostního věku se nejčastěji používá rentgenový snímek nedominantní ruky. Na snímku jsou hodnoceny osifikace kostí, šířka epifyzárních štěrbin a eventuální odchylky a anomálie. Důležité je také posoudit vývoj kostí vzhledem k pohlaví a etnickému původu, protože se mohou lišit v rychlosti a způsobu osifikace.

Existuje několik metod pro určení kostního věku, jako je Greulich-Pylové metoda, Tanner-Whitehouseova metoda a Fels metoda. Tyto metody se liší v počtu kostí, které se hodnotí, a v způsobu určování kostního věku.

Určení kostního věku může být také doplněno o další diagnostické metody, jako jsou krevní testy a ultrazvukové vyšetření. Tyto testy mohou pomoci určit hormonální hladiny, například hladiny růstového hormonu, a další faktory ovlivňující růst a vývoj kostí (Masaříková, 2015).

4.1 Přístrojové vybavení

4.1.1 Skiografie

Při prostém rentgenovém snímku zvaném radiogram, dopadají rentgenové paprsky procházející vyšetřovanou tkání na fotografický film obsahující halogenidy stříbra, kde se stříbro uvolní z vazby na sloučeninu a díky fotochemické reakci vzniká latentní obraz, který je zviditelněn hustotou zrněk koloidního stříbra při jeho vzniku a zbývající bromid stříbrný se při jeho vzniku rozpouští v ustalovači. Hustota ztmavnutí filmu je úměrná množství procházejícího rentgenového záření. Výsledný rentgenový snímek ukazuje v negativu znázornění hustoty tkání: oblasti s nízkou hustotou, například měkké tkáně, mají menší absorpci a kvůli tomu vysoké ztmavnutí, naopak oblasti s vysokou hustotou, například kosti, absorbují více rentgenového záření a jsou tedy světlé. Skiografie je

nejčastější metodou používanou při určování kostního věku, při které se zhotovuje radiografický snímek zápěstí za použití rentgenů (Seidl, 2012; Zuna a Poušek, 2007).

4.1.2 Metoda magnetické resonance

Studie „Skeletal age assessment in children using an open compact MRI system“ potvrdila využitelnost hodnocení kostního věku pomocí MR snímků ruky a zápěstí s následným srovnáním s rentgenovými snímky. Tato metoda poskytuje neinvazivní alternativu ke klasickému rentgenovému vyšetření, což je výhodné zejména pro děti, které by mohly být vystaveny nežádoucím dávkám ionizujícího záření (IZ). Na druhou stranu je třeba zmínit, že MR snímky mohou vyžadovat značný časový úsek, což je nevhodné pro malé děti, které mohou být v pohybu.

Studie byla provedena na speciální magnetické rezonanci s permanentním magnetem, která byla vyvinuta jako ruční skener pro pediatrická využití a jako nástroj pro hodnocení kostního věku. Tento typ magnetické rezonance poskytuje výhodu malého rozměru, který umožňuje snadné umístění pacienta do zařízení, což je zvláště důležité pro děti.

Je však třeba zmínit, že MR snímky nejsou univerzálním řešením pro hodnocení kostního věku, a to zejména pro děti s některými druhy kostních chorob, jako jsou například choroby postihující metabolismus kalcia. V těchto případech může být nutné využít jiné diagnostické metody.

Přesto lze konstatovat, že využití MR snímků pro hodnocení kostního věku má velký potenciál a může být velmi užitečné pro určení biologického věku dětí. Budoucí výzkum by se měl zaměřit na další zdokonalení této metody a na srovnání s ostatními diagnostickými metodami (Sato, 2015; Terada et al, 2013).

4.2 Provedení skiografické projekce ruky

Pro určení stavu kostí horní končetiny je nutné využít rentgenovou projekci, která může být provedena v zadopřední (anteroposteriorní) nebo dorzovolární poloze. Při této projekci se snímá celá horní končetina a zahrnuje zápěstí (carpus), předloktí (antebrachium) a ruku (manus). Před samotnou expozicí je nutné zajistit správnou přípravu pacienta, což zahrnuje sejmutí ozdob, popřípadě obvazů, dlah, mastí, zásypů apod. Dále je třeba připravit pracoviště s rentgenkou s pevnou nebo rotační anodou a menším ohniskem.

Samotné provedení projekce se skládá z několika kroků. Nejprve je nutné uložit pacienta pohodlně vsedě s předloktím spočívajícím volární stranou na snímkovacím stole a dlaní položenou na detektoru. Poté je třeba zacentrovat centrální paprsek kolmo ke středu detektoru dorzovolárně. Pacienta je možné fixovat fixačním pásem na předloktí a označit stranovou značku P nebo L v distálním rohu detektoru.

Pro získání kvalitních snímků jsou nutné správně nastavené směrné expoziční hodnoty, které se pohybují v rozmezí 50-60 kV (kilovolt) a 30-50 mAs (miliampér sekunda). Při expozici je nutné pacienta upozornit na nutnost nepohybu a správně uložit dlaň a předloktí k detektoru.

Nejčastějšími chybami a vadami snímků jsou urážnutí konečků prstů nebo zápěstí, neostrost kvůli nesprávnému uložení pacienta a překrývání měkkých částí při nedostatečném oddálení prstů od sebe. Při srovnávacím snímku obou rukou je nutné zajistit symetrické uložení obou rukou a centrování paprsku mezi ně.

Tento postup se používá při rentgenovém vyšetření horní končetiny, který je nutný pro určení kostního věku a dalšího hodnocení stavu horní končetiny. Správné provedení této projekce zajišťuje získání kvalitních snímků a přesnou diagnózu (Svoboda, 1976).

4.3 Greulich-Pylové metoda

Určování kostního věku z radiografických snímků je jednou z nejstarších radiografických procedur v medicíně. První atlas pro určování kostního věku byl zveřejněn v roce 1898 Johnem Polandem a dnes je stále běžně používán atlas Greulich a Pylové, který pochází z roku 1959. Tato metoda je jednou ze dvou metod určení kostního věku u dítěte, závisí na porovnání rentgenových snímků zápěstí s standardy Greulich-Pylové atlasu (dále G-P atlas).

G-P atlas obsahuje 29 předloh pro dívky a 31 pro chlapce, kde srovnávání se nazývá "atlas matching". Snímky v atlasu pocházejí z třicátých let dvacátého století a byla vybrána skupina dětí (asi 2500) ze středních a vyšších společenských vrstev. Hodnocení kostního věku bylo prováděno na dětech od raného věku třech měsíců, až do devatenáctého roku u chlapců a osmnáctého u dívek. Metoda hodnocení kostního věku je subjektivní a používá se dodnes.

Metoda závisí na porovnání rentgenových snímků zápěstí se standardy G-P atlasu. V atlasu se nachází srovnávací tabule s textovým doplňkem, pomocí které se vybere požadovaná věková kategorie dítěte. Hodnocení vývoje kostí jednotlivce vychází z faktu, že kosti procházejí změnami ve stabilní chronologické posloupnosti od okamžiku osifikačního centra až po docílení finálního tvaru a velikosti. Nicméně kalendářní věk dětí se specifickými změnami je odlišný.

Vážné choroby nebo dlouhá období podvýživy mohou oddálit osifikační změny nebo pozměnit jejich pořadí, ve kterém se tvoří osifikační centra. Proto je kostní věk vyjádřený jako chronologický věk, který je charakterizován stupněm osifikace skeletu a odpovídá normám určitého pohlaví a rasy. Může být shodný s kalendářním věkem dítěte, zrychlený nebo odložený. Tyto získané informace jsou doplněním informací o vývoji pacienta, zejména ve vztahu k výsledkům jiných studií a zkoumání.

Od publikace G-P atlasu proběhly různé modifikace a aktualizace těchto metod, a byly vyvinuty novější metody využívající sofistikovanější zobrazovací techniky, jako je MR a výpočetní tomografie (CT). Užití ultrasonografické metody se ukázalo jako nevhodné a málo spolehlivé řešení u dětí s opožděným a pokročilým kostním věkem. Hodnocení kostního věku dnes zůstává důležitým nástrojem v diagnostice a léčbě různých dětských endokrinních poruch, stejně jako ve forenzní antropologii a dalších oborech.

G-P metoda, přestože je stále používána, má svá omezení. Její subjektivní charakter může vést k rozdílům v hodnocení mezi jednotlivými lékaři. Navíc, snímky v atlasu pocházejí z třicátých let dvacátého století a zastupují pouze děti ze středních a vyšších společenských vrstev, což může způsobit zkreslení při aplikaci metody na děti z jiných socioekonomických prostředí nebo etnických skupin.

V posledních letech se objevily i návrhy na využití umělé inteligence a strojového učení pro posouzení kostního věku. Tyto metody nabízejí potenciál pro zlepšení přesnosti a zkrácení doby hodnocení, snížení subjektivity a eliminaci potřeby zkušených radiologů pro interpretaci snímků. Nicméně, tato oblast stále vyžaduje další výzkum a validaci, než se stane běžnou praxí v klinickém prostředí (Greulich a Pylová, 1959; Spadoni a Cianfarani, 2010).

Shrnutí, G-P metoda zůstává jednou z nejčastěji používaných metod pro určení kostního věku u dětí, ačkoli má svá omezení. Je důležité, aby lékaři byli obeznámeni s touto metodou, stejně jako s alternativními způsoby hodnocení kostního věku, aby mohli poskytnout nejlepší možnou péči svým pacientům. V budoucnu bude důležité sledovat nové výzkumy a technologické pokroky v oblasti hodnocení kostního věku, aby se zlepšila přesnost a efektivita těchto postupů.

Kromě Greulich-Pylové metody existují i jiné metody určení kostního věku, jako je například metoda Tannera a Whitehousea, která hodnotí osifikaci u dětí na základě rentgenových snímků různých kostních oblastí. Tato metoda může být náročnější na čas a zkušenosti lékaře, ale může také poskytnout přesnější výsledky v některých případech.

Jinou alternativou je metoda Fels, která zahrnuje hodnocení kostního věku pomocí antropometrických měření a analýzy růstu kostí. Tato metoda může být méně závislá na rentgenových snímcích a vhodnější pro některé skupiny pacientů (Rijn a Thodberg, 2013).

V některých případech mohou být použity i pokročilejší zobrazovací techniky, jako je MRI nebo CT, které poskytují detailnější a přesnější informace o kostní struktuře a vývoji. Tyto metody mohou být zvláště užitečné v diagnostice a léčbě dětských onemocnění, která ovlivňují kostní vývoj, jako jsou růstové poruchy nebo endokrinní poruchy (Satoh, 2015).

Důležitým aspektem při hodnocení kostního věku je multidisciplinární přístup, který zahrnuje spolupráci mezi radiology, pediatry, endokrinology a dalšími specialisty. Tímto způsobem mohou být získány nejen přesnější informace o kostním věku pacienta, ale také lepší pochopení jeho celkového zdravotního stavu a potřeb.

Vzhledem k omezením současných metod určování kostního věku a rychlému rozvoji nových technologií a výzkumu v této oblasti je nezbytné, aby lékaři a další zdravotničtí pracovníci byli průběžně informováni o nových postupech a pokrocích. To jim umožní poskytovat nejlepší možnou péči svým pacientům a zajistit optimální výsledky léčby a zotavení (Masaříková, 2015; Mughal, Hassan a Ahmed, 1969).

4.3.1 Historie vývoje Greulich-Pylové metody a její význam v růstové diagnostice

Greulich-Pylové atlas, založený na analýze růstových desek v zápěstí a ruce, byl vytvořen jako výsledek rozsáhlého výzkumu zahájeného v roce 1931. Tento výzkum inicioval profesor T. W. Todd, anglický ortodont a významný odborník na oblast růstu kostí. Jeho práce představovala základní kámen pro pozdější vývoj metody hodnocení růstu a věku dětí.

Po smrti profesora Todda, v roce 1938, bylo ve výzkumu pokračováno a byl rozšířen, což nakonec vedlo k vytvoření Greulich-Pylové atlasu. Studie zahrnovala zdravé děti europoidní rasy, kterým byly pravidelně prováděny rentgenové snímky ruky a zápěstí. Snímky byly pořizovány každé tři měsíce do věku jednoho roku, každých šest měsíců do věku pěti let a poté jednou ročně po dosažení věku pěti let.

Greulich-Pylové metoda se postupem času stala jednou z nejpoužívanějších metod pro stanovení kostního věku dětí a dospívajících. Díky její spolehlivosti a jednoduchosti se stala důležitým nástrojem v oblasti pediatrie, ortopedie a dalších lékařských oborů, které se zabývají růstem a vývojem mladých jedinců. Tato metoda umožňuje lékařům identifikovat růstové abnormality, hodnotit účinnost léčby a předpovědět další růst jedince.

Greulich-Pylové metoda je dodnes využívána v praxi, i když byla rozšířena a modifikována v souvislosti s novými poznatky a technologiemi v oboru. Její historie a vývoj ukazují významný přínos vědeckého výzkumu pro zlepšení diagnostiky a léčby růstových poruch u dětí a dospívajících (Predko-Engel, 2013; Greulich a Pylová, 1959).

4.4 Tanner-Whitehousova metoda

Druhá metoda pro určení kostního věku, známá jako Tanner-Whitehousova metoda (dále jen T-W metoda), je založena na komplexním hodnocení tvaru a velikosti osifikovaných jader dvaceti kostí ruky a předloktí, stejně jako jejich vztahu k sousedním kostem, jako jsou distální epifýzy radia a ulny, metakarpy a články prvního, třetího a pátého prstu. Tato metoda byla vyvinuta v roce 1962 týmem vědců Tannerem, Whitehousem a Healyem, kteří pozorovali a analyzovali rentgenové snímky rukou a zápěstí 300 britských dětí každých šest měsíců po dobu 12 let.

V současné době je nejčastěji používanou variantou Tanner-Whitehousova metoda 3 (TW3), kterou představil tým profesora Tannera v roce 2001 jako inovaci předchozí verze TW2. Metoda TW3 je založena na stejném principu skóre kostní zralosti, ale používá nové rovnice pro predikci výšky v dospělosti a odráží sekulární akceleraci kostního růstu u současných dětí.

Původní T-W metoda byla vytvořena v roce 1962 na základě pozorování rentgenových snímků rukou a zápěstí britských dětí a na základě přidělení skóre kostní zralosti jednotlivým fázím osifikace. S postupem času byla metoda vylepšena a upravena, což vedlo k vytvoření nejnovější verze TW3, která je považována za nejspolehlivější z aktuálně dostupných metod pro určování kostního věku. Tato metoda se zaměřuje pouze na skóre kostní zralosti pro RUS (radius, ulna, short bone) a CARP (carpal score), a výsledky jsou následně použity k predikci výšky v dospělosti.

Metoda TW3 využívá matematickou analýzu osifikace kostí ruky a předloktí, což umožňuje přesné určení stádia osifikace kostí a tím pádem i přesnější odhad kostního věku. Díky své přesnosti, spolehlivosti a vysoké korelaci s nejstarší metodou určování kostního věku, kterou je G-P metoda, se Tanner-Whitehousova metoda stala velmi populární v medicíně a pediatrii.

Jedním z důvodů, proč je T-W metoda tak široce používaná, je její schopnost poskytnout přesnější odhady kostního věku než jiné metody. Tato přesnost má důležité uplatnění v různých oblastech pediatrie a ortopedie, jako je diagnostika růstových poruch, hodnocení dopadu léčby na růst a vývoj dětí či identifikace účinků genetických a endokrinních poruch.

T-W metoda je také užitečná pro porovnání kostního věku s chronologickým věkem, což může pomoci lékařům identifikovat přítomnost růstových abnormalit nebo určit vhodnou léčbu pro zlepšení růstu dítěte. Navíc, metoda umožňuje sledovat průběh růstových změn v průběhu času, což může být užitečné pro sledování účinnosti léčby nebo monitorování růstových trendů v populaci.

Kromě toho, T-W metoda má také význam v oblasti forenzní antropologie, kde se používá pro odhad věku neidentifikovaných těl nebo kostry, čímž přispívá k identifikaci a vědeckému zkoumání.

I když Tanner-Whitehousova metoda je považována za jednu z nejspolehlivějších metod pro určování kostního věku, je důležité si uvědomit, že metoda nemusí být stejně přesná pro všechny etnické skupiny, neboť byla vyvinuta a validována na základě rentgenových snímků rukou a zápěstí britských dětí. Výzkumy se však nadále zaměřují na vytvoření modifikací a adaptací metody, které by zohledňovaly různé etnické a geografické populace, aby byla metoda co nejpřesnější a univerzálně použitelná (Krásničanová a Kuchyňková, 2002; Masaříková, 2015; Tanner et al, 1994).

4.4.1 Historie Tanner-Whitehousovy metody

V roce 1962 tři britští vědci, Tanner, Whitehouse a Healy, vyvinuli novou metodu pro odhad stáří skeletu, známou jako TW1. Tato metoda se opírá o matematickou analýzu bodů, které spadají do fází zrání kostí ruky a zápěstí. Její vývoj byl založen na sledování 300 britských dětí, které podstupovaly rentgenové snímky rukou a zápěstí každých šest měsíců po dobu více než 12 let. Jednotlivým stádiím osifikace byly přiřazeny specifické hodnoty. Pro konkrétní kosti, jako jsou radius a zápěstní kosti, kosti prstů, os hamatum a os trapezium, byly určeny hodnoty A až I, což odpovídá devíti fázím. Na druhé straně, loketní kosti a další karpální kosti byly rozděleny do zbývajících osmi fází. V případě, že epifyza konkrétní kosti nebyla na rentgenovém snímku patrná, byla přiřazena hodnota stádia A.

Následně byla vyvinuta novější verze, TW2, která využívá zjednodušené hodnocení osifikace prostřednictvím indexu RUS. Hodnoty jednotlivých stádií osifikace jsou přidělovány v závislosti na pohlaví dítěte. Nejnovější verzí je TW3, která je považována za nejspolehlivější z aktuálně dostupných metod. V této metodě se posuzují pouze RUS a CARP, přičemž celkový index již není používán. Tato metoda vykazuje vysokou korelaci s metodou G-P, což je nejstarší metoda pro určování kostního věku. Předpokládá se, že vysoká korelace je způsobena tím, že metoda G-P byla použita k hodnocení dětí pouze z vyšších sociálních a ekonomických vrstev.

Celkově lze říci, že metody TW1, TW2 a TW3 představují významný krok vpřed v odhadování kostního věku u dětí. Tyto metody jsou založeny na pečlivých pozorováních a analýzách, které poskytují vědecky podložené odhady stáří skeletu (Predko-Engel, 2013).

4.5 Diagnostika růstových poruch

Hodnocení kostního věku má velký význam pro diagnostiku poruch růstu, které lze rozdělit do dvou širokých kategorií s různou etiologií, prognózou a léčbou. Primární růstový deficit je způsoben vnitřním defektem v kosterním systému, jako je kostní dysplazie, vyplývající buď z genetického defektu nebo prenatálního poškození vedoucí ke zkrácení diafýzy bez významného zpoždění zrání epifýzy. U této formy poruchy růstu je tedy narušen potenciální normální růst kostí (a tedy i tělesný růst), zatímco kostní věk není opožděn nebo je opožděn mnohem méně než tělesný růst. Sekundární růstový deficit souvisí s faktory, obecně mimo kosterní systém, které narušují dozrávání epifýz nebo kostí. Tyto faktory mohou být nutriční, metabolické nebo neznámé, jako u syndromu idiopatického (konstitučního) opožděného růstu. U této formy růstové retardace může být věk kostí a výška opožděny téměř stejně, ale díky léčbě existuje potenciál pro dosažení normální výšky v dospělosti. Rozlišení mezi těmito kategoriemi může být obtížné v některých postojích, ve kterých je kostní věk opožděn v menší míře než výška. Obecně však lze diferenciaci mezi primární a sekundární kategorií selhání růstu určit na základě klinických nálezů a věku skeletu (Gilsanz a Ratib, 2005).

5 Využití umělé inteligence ve zdravotnictví

Umělá inteligence v medicíně se během posledních pěti dekad dramaticky vyvíjela. Od nástupu strojového učení (ML) a hlubokého učení (DL) se rozšířily aplikace umělé inteligence, což otevřelo nové možnosti pro personalizovanou medicínu namísto medicíny založené pouze na algoritmech.

Prediktivní modely lze použít pro diagnostiku nemocí, předpovědi terapeutické odezvy a potenciálně i preventivní medicínu v budoucnosti. Umělá inteligence může zlepšit diagnostickou přesnost, zvýšit efektivitu pracovního postupu poskytovatelů a klinických operací, usnadnit lepší sledování nemocí a terapeutických metod, zlepšit přesnost zákroků a celkové výsledky pacientů (Kaul, Enslin a Gross, 2020).

V medicíně je již nyní využíváno mnoho aplikací umělé inteligence, které zahrnují širokou škálu funkcí a služeb. Mezi tyto aplikace patří například online plánování schůzek, digitální přihlašování do zdravotnických zařízení, digitalizace zdravotnických záznamů, telefonické připomenutí následných schůzek a termínů očkování pro děti a těhotné ženy, algoritmy pro dávkování léků a upozornění na nežádoucí účinky při předepisování kombinací léků.

Při předepisování kombinací více léků se umělá inteligence stává klíčovou součástí procesu, protože dokáže analyzovat možné interakce mezi léky a upozornit lékaře na potenciální nebezpečí nebo kontraindikace. Tímto způsobem může umělá inteligence přispět ke snížení rizika nežádoucích účinků a zlepšení celkové bezpečnosti pacientů.

V oblasti diagnostiky a zobrazovacích technik umělá inteligence umožňuje zlepšení přesnosti a efektivity analýzy obrazových dat, jako jsou rentgenové snímky, magnetická rezonance či počítačová tomografie. Algoritmy ML a DL mohou pomoci lékařům rychleji a přesněji detekovat patologické nálezy, což vede ke zlepšení diagnostiky a léčby pacientů.

Kromě těchto oblastí se umělá inteligence uplatňuje také v oblastech jako personalizovaná medicína, robotika, telemedicína a řízení zdravotnických zařízení (Amisha et al, 2019).

5.1 Historie automatizovaného určování kostního věku

Poptávka po automatizaci určování kostního věku existovala odjakživa. Její historie sahá až do osmdesátých let minulého století, kdy D. J. Michael a A. C. Nelson představili systém HANDX v roce 1989. Jednalo se o první automatizovanou techniku určování, která byla používána k detekci kostních abnormalit u dětí. Systém na bázi PROI (oblast, která zahrnuje falangy a epifýzy) byl následně představen Ewou Pietka a spol. v roce 1991, následoval počítačový skórovací systém stárnutí skeletu (CASAS – Computer-based skeletal aging scoring system) vyvinutý profesorem Tannerem a spol. Systém CASAS dokáže analyzovat třináct kostí zahrnutých v systému TW3-RUS. Každá kost je identifikována ručně a hodnocení stáří provádí počítač, ovšem studie prokázaly, že metoda CASAS je časově náročnější než manuální metoda TW.

Další pokusy o automatizaci se objevily v Koreji, kde první reprezentativní prototyp byl předveden v roce 2009. Program využíval tehniku, která používá normalizovaný tvarový model. V tomto modelu je každý kostní segment prstu levé ruky automaticky zhodnocen za použití skiagrafického snímku. Normalizovaný model je poté derivován ze zhodnoceného snímku a systém odhadne kostní věk pomocí normalizovaného modelu. Průměrná absolutní chyba byla přibližně 0,679 let.

V roce 2008 byla představena aplikace založená na umělé inteligenci s názvem BoneXpert. BoneXpert je systém umělé inteligence, která používá techniky extrakce rysů a vypočítává kostní věk pomocí rentgenového snímku levé ruky na základě třinácti kostí (kost vřetení, loketní a 11 krátkých kostí na prstech 1, 3 a 5). Software BoneXpert AI, který se naučil běžný tvar a distribuci hustoty každé analyzované kosti, aplikuje aktivní model vzhledu k analýze třinácti kostí levé ruky. Nakonec je finální kostní věk určen buď metodou GP nebo TW. Rentgenový snímek levé ruky s určeným kostním věkem se přenesou do archivačního formátu a je odeslán do archivačního a komunikačního systému. BoneXpert je zavedeným systémem hodnocení kostního věku a je široce rozšířen v Evropě a byl porovnán s manuálním sorvnáním kostního věku. Podle Booz a spol. byla přesnost BoneXpert významně vyšší a blíže reálnému staří skeletu, než při použití manuální metody. Navíc BoneXpert vyžadoval mnohem méně času na určení, než-li manuální určení pomocí metody GP. BoneXpert ovšem ukázal horší účinnost, pokud bylo na rentgenovém snímku méně než osm kostí, nebo při špatné kvalitě

snímku či abnormální morfologii kostí (Mansourvar et al, 2013; Lee a Lee, 2021; Booz et al, 2020).

5.2 Klinické využití automatizovaného určování kostního věku

Nyní existují dobré vědecké poznatky, že automatizované hodnocení kostního věku dosáhlo dospělosti. Bylo prokázáno, že automatizované systémy mají větší preciznost a přesnost ve srovnání s určováním radiologů. Integrace do pracovního systému PACS je nezbytná a dalším krokem by bylo vyvinout standardizovaný způsob, jak umožnit přenos dat o kostním věku do jiných nemocničních informačních systémů, např. EPJ, kde jej lze použít pro predikci výšky dospělých. V důsledku toho může automatizované hodnocení kostního věku podpořit a v některých případech nahradit zprávu radiologů. Vzhledem k tomu, že automatizované systémy kostního věku nejsou vyvinuty k detekci abnormalit v anatomii skeletu, bylo by považováno za vhodné radiologické vyšetření alespoň prvního rentgenového snímku každého dítěte. Ve studiích, ve kterých byla provedena chirurgická intervence, jako je epifyziódéza (chirurgická destrukce růstových plotének na koncích kostí), je také doporučeno manuální hodnocení, protože zákrok ovlivňuje samotný proces automatického hodnocení kostního věku.

V multicentrických studiích použití automatizovaných systémů odstraní potřebu nezávislých centrálních čteček. V některých případech však může odesílající lékař požadovat obecnou diagnózu dítěte ze snímku a radiolog pak musí nahlásit rentgenový snímek pro tuto konkrétní žádost. Navíc automatizované systémy nebudou schopny hodnotit všechny rentgenové snímky, ať už kvůli věkovým omezením, anatomickým variacím nebo špatnému umístění, v těchto případech zůstane posouzení kostního věku manuálním úkonem.

Omezení uváděných systémů spočívá v tom, že v některých nejsou zahrnuty karpální kosti a v jiných zase falangy. Další nevýhodou je, že rozmezí kostního věku je omezeno na konkrétní věkové skupiny, kde žádná z publikovaných automatizovaných technik nepokrývá celé věkové rozmezí. Možným cenným rozšířením by bylo diagnostikovat různé stavy z délek kostí a dalších morfologických znaků, ale to je potenciálně mnohem složitější (Rijn a Thodberg, 2013).

6 Aplikace 16bit: Physis s umělou inteligencí

6.1 Aplikace 16bit: Physis

Aplikace 16bit: Physis od společnosti 16 Bit představuje inovativní nástroj využívající umělou inteligenci pro určování kostního věku dětí. Hlavním cílem této aplikace je poskytnout spolehlivé, přesné a efektivní určení stáří dítěte na základě radiografických snímků ruky.

Aplikace 16bit: Physis má za sebou úspěšnou historii hodnocení velkého množství snímků (přes 400 tisíc) a dokázala se prosadit v konkurenci, když získala první místo v prestižní soutěži RSNA AI Challenge v roce 2017. Tato aplikace je široce využívána v mnoha světově uznávaných akademických a komunitních nemocnicích, jakožto i v soukromých klinikách, což svědčí o její kvalitě a důvěryhodnosti.

Aplikace 16bit: Physis je založena na vlastní architektuře neuronových sítí, která je trénována s pomocí nejmodernějšího hardwaru. Tato pokročilá technologie umožňuje aplikaci dosahovat vysoké úrovně přesnosti při určování kostního věku.

Kromě aplikace 16bit: Physis společnost 16 Bit nabízí také aplikaci 16bit: Rho. Tato aplikace je navržena pro detekci potenciální osteoporózy a jejího rizika vzniku prostřednictvím analýzy rutinních snímků. Tímto způsobem může aplikace 16bit: Rho pomoci včas identifikovat a řešit tento závažný zdravotní problém (ANON, 2022).

6.2 Používání aplikace

Aplikace je navržena tak, aby umožňovala snadnou interakci s uživatelem při zpracování radiografických snímků.

Proces začíná nahráním požadovaného snímku do aplikace, kde se následně zadají informace o pacientovi, jako je pohlaví, datum narození, datum provedení vyšetření a indikace. Během několika sekund aplikace pomocí umělé inteligence vyhodnotí předpokládaný kostní věk a zobrazí pacientovu pozici ve vztahu k chronologickému věku a pohlaví.

Aplikace 16bit: Physis také nabízí možnost porovnat nahraný radiografický snímek s nejlepší shodou ze snímků v Greulich-Pylové (G-P) atlasu. Tímto způsobem uživatel může snadno vyhodnotit oba snímky vedle sebe a porovnat výsledky.

Navíc aplikace automaticky generuje přehled s údaji, nálezy a klinickými dojmy, které lze přímo upravovat a přizpůsobit v případě nepřesnosti způsobené umělou inteligencí. Tato funkce umožňuje uživatelům snadno zaznamenávat a dokumentovat zjištěné informace pro další klinické účely (ANON, 2022).

6.3 Zkušenosti s aplikací a její přesnost

Podle studie "Comparison of 'Human' and Artificial Intelligence Hand-and-Wrist Skeletal Age Estimation in an Epiphysiodesis Cohort" byla aplikace 16bit: Physis schopna většinou přesně porovnat nahraný radiogram se snímkem v G-P atlasu. Avšak odhadovaný kostní věk umělou inteligencí byl v některých případech mírně starší než skutečný věk pacienta.

Zajímavým zjištěním studie bylo, že predikce rozdílů v délce dolních končetin byly lepší než odhady lékařů, což ukazuje na potenciální přínos aplikace v této oblasti. Aplikace byla začleněna do běžného provozu nemocnice, kde byla používána společně s ostatními dostupnými metodami hodnocení kostního věku (Kluck et al, 2023).

7 Radiační ochrana

Jako součást výzkumu zdravotního stavu a diagnostiky tělesného růstu, je nutné brát v úvahu nejen přesné a kvalitní provedení diagnostických metod, ale také ochranu pacientů a personálu před škodlivými účinky (IZ). Při vyšetřování pacientů pomocí rentgenových zobrazovacích metod, musí být dodržovány přísné radiologické postupy a standardy pro minimalizaci dávky IZ.

Každé pracoviště, kde se provádí radiologická diagnostika, by mělo mít vypracované protokoly a procedury pro řízení radiologické ochrany, aby se minimalizovalo riziko vystavení IZ a aby byly dodržovány stanovené limity. Důležitými faktory jsou technické parametry vybavení, jako je efektivnost filtrů, celkové výkonové nastavení a použití příslušenství, jako jsou stínící štíty a fixační pomůcky.

Personál, který se podílí na radiologické diagnostice, by měl být kvalifikovaný a řádně vycvičený v oblasti radiologické ochrany. Povinností je použití vhodného ochranného vybavení, jako jsou olověné ochranné vesty, ochranné brýle a rukavice, aby se snížilo riziko expozice IZ. Měření dávky IZ a pravidelné kontroly prostorového dávkového ekvivalentu jsou nezbytné pro stanovení úrovně záření v prostoru a pro ověření správné funkce detektorů.

Důležitým aspektem radiologické ochrany je také vzdělávání pacientů ohledně diagnostických metod a rizik vystavení IZ. Pacienti by měli být informováni o dávkách záření, rizicích a o tom, jak se při vyšetření mohou chránit. Je důležité vysvětlit výhody a nevýhody každé diagnostické metody a zvážit nejvhodnější alternativy s ohledem na potřeby a situaci každého pacienta.

Celkově lze říci, že radiologická ochrana je velmi důležitá pro minimalizaci rizika IZ a pro zachování zdraví a bezpečnosti pacientů i personálu. Proto by měla být na pracovišti zavedena radiační ochrana a musí být dodržovány místní radiologické standardy (MRS) oddělení. Tato opatření pomáhají minimalizovat expozici pacientů a personálu IZ a snižovat rizika spojená s ním (Ministerstvo zdravotnictví České republiky, 2016; Státní úřad pro jadernou bezpečnost, 2021).

7.1 Standardy oddělení

Standardy oddělení, které jsou důležité pro zajištění radiologického vyšetření a správného postupu lékařského ozáření (LO), jsou pečlivě sledovány a upravovány v souladu s národními radiologickými standardy (NRS). Ty jsou v České republice stanoveny Ministerstvem zdravotnictví a mají za cíl stanovit minimální požadavky na kvalitu a bezpečnost LO.

Standardy oddělení zahrnují širokou škálu aspektů, od technických a provozních postupů až po personální a materiální zabezpečení. Mezi ně patří například vzdálenost pacienta od zdroje záření, dávky záření pro jednotlivé vyšetření a další.

V souvislosti se skiagrafičnými vyšetřeními jsou standardy oddělení významné především z hlediska dávek IZ které mohou být nebezpečné pro pacienta i personál, pokud jsou použity v nevhodné velikosti. Proto je důležité při zhotovování standardů oddělení sledovat přísné požadavky na kvalitu a bezpečnost vyšetření.

Vytváření MRS je součástí standardů oddělení a zahrnuje NRS a další faktory, které jsou specifické pro dané pracoviště. Mezi ně patří například typ zařízení, způsob provozu, personál a další. Tyto standardy jsou nezbytné pro zajištění kvalitního a bezpečného LO, které chrání zdraví pacientů a personálu.

Celkově lze říci, že standardy oddělení jsou klíčovými nástroji pro správné a bezpečné provádění skiagrafičných vyšetření. Jejich dodržování zajišťuje nejen kvalitu výsledků, ale také ochranu zdraví pacientů a personálu. Standardy oddělení jsou proto neustále sledovány a upravovány s ohledem na nejnovější poznatky a technologie v oblasti LO (Ministerstvo zdravotnictví České republiky, 2016; Súkupová, 2018).

7.2 Klinická odpovědnost

Klinická odpovědnost zahrnuje posudek a důvod LO, které provedl indikující lékař. Dále také zahrnuje cíle LO a souhlas s ním nebo jeho zamítnutí, popřípadě zajišťování informovanosti o nebezpečí IZ osobám, které ozařování podstoupí. Držitelem klinické odpovědnosti, to znamená aplikujícím odborníkem, je u provedení výkonu s indikací posuzovanou radiologickým asistentem radiologický asistent. V dalších případech je jejich držitelem lékař se specializací na daný obor – radiolog. Lékař s klinickou

odpovědností zodpovídá za získávání informací o pacientových předešlých vyšetřeních a také o dalším poskytování zdravotnických služeb, které by mohly zahrnovat LO. Aplikující lékař také zodpovídá za vhodné zvolení rentgenového přístroje a určuje odborníka za praktickou část LO (Ministerstvo zdravotnictví České republiky, 2016).

7.3 Klinická odpovědnost za praktickou část

Tato část obsahuje zejména správné nastavení projekcí a parametrů expozice, správné technické provedení LO, popřípadě součinnost s dalšími zdravotnickými pracovníky, zajištění informací o rizicích ionizujícího záření pacientům, zpracování celkového záznamu o ozařování a správné nakládání se záznamy diagnostických zobrazování (radiogramem) (Ministerstvo zdravotnictví České republiky, 2016).

7.4 Postup při lékařském ozáření

7.4.1 Odůvodnění a vystavení žádanky

Indikující lékař, dle klinického vyšetření, doporučí LO. Při tom vždy zvažuje účinky, přínosy i rizika metod, které dosahují stejného cíle, ale nezahrnují expozici IZ nebo vedou k menší expozici IZ. Pro indikaci používá indikující lékař indikační kritéria. Indikující lékař vyhledá informace o předešlých významných diagnostických a terapeutických ozářeních, aby vyloučil zbytečnou expozici pacienta IZ. Kromě toho je pacient vždy dotazován na předchozí aplikaci radionuklidů a IZ, které mohou souviset s vyšetřením nebo zvažovanou léčbou. Při rentgenovém vyšetření anatomické oblasti mezi bránicí a stydkými kostmi je také žena v reprodukčním věku dotázána na možné těhotenství.

Ošetřující lékař zhotoví a podepisuje žádanku k vyšetření (dále jen „žádanka“). Všechny zjištěné informace je přidáno do žádanky nebo zdravotnické dokumentace pacienta. Indikující lékař dále poučí pacienta o daném vyšetření a o rizicích s ním spojeným a také o nutné přípravě, které uvedené vyšetření vyžaduje (Ministerstvo zdravotnictví České republiky, 2016).

7.4.2 V případě výkonů s indikací posuzovanou radiologickým asistentem

Aplikujícím odborníkem s klinickou odpovědností za zdůvodnění ozáření je radiologický asistent určený MRS, který hodnotí indikace uvedené v žádance.

Pokud radiologický asistent shválí indikaci, určí pracoviště a zdroj IZ a datum a čas LO. Praktickou část LO provede žádající specialista, který má klinickou odpovědnost za praktickou část LO. Dále aplikující odborník zhodnotí kvalitu LO, posoudí technickou kvalitu zobrazení a diagnostický přínos popřípadě zhodnotí zda je potřeba vyšetření doplnit, opakovat nebo ukončit. Aplikující odborník následně provede záznam o ozáření a svým podpisem potvrzuje realizaci praktické části LO. Specializovaný lékař jako aplikující odborník zhodnotí diagnostický výkon, jeho výpovědní hodnotu, případné opakování nebo doplnění vyšetření. Při dostatečné výtěžnosti provádí lékař diagnostický popis RTG snímku a zaznamená jej.

Pokud radiologický asistent indikaci neschválí, zašle žádanku lékaři s vyjádřením, které obsahuje všechny informace a důvody, proč se rozhodl indikaci neakceptovat. Tímto se lékař stává klinicky odpovědným odborníkem s klinickou odpovědností za odůvodnění a posoudí indikace a veškeré informace od radiologického asistenta. Postupuje se jako u případů, které nejsou výkony s indikací hodnocenou radiologickým asistentem.

V případě nejasností ohledně indikace (např. pokud se LO v krátké době opakuje) nebo v případě nejasností (např. nejasné nebo neúplné údaje na žádance) radiologický asistent vždy předá žádanku lékaři, který se tak stává aplikujícím odborníkem, který má za daný případ klinickou odpovědnost. V tomto případě se pokračuje jako v případech, které nejsou indikovanými výkony hodnocenými radiologickým asistentem (Ministerstvo zdravotnictví České republiky, 2016).

7.4.3 LO dětského pacienta

Pro dětské pacienty je zajištěna větší pozornost vůči radiační ochraně než u dospělých pacientů. To zahrnuje informování rodičů nebo zákonných zástupců o prováděném zákroku a poskytování adekvátních informací o radiačním riziku. Pokud je přítomna osoba, která se dobrovolně účastní LO jako doprovod pacienta, je také důležité ji řádně informovat o radiačním riziku.

Aplikující odborník s klinickou odpovědností za zdůvodnění výkonu zváží potřebu získat potřebné informace pomocí IZ a vybere pouze takovou techniku, která poskytuje maximální ochranu vůči IZ. Při zvolení expozičních parametrů se aplikující specialista

s klinickou praxí zaměřuje na praktickou část LO v závislosti na tělesnou stavbu daného pacienta.

Na většině pracovišť, která se nespécializují na dětské pacienty, se jedná o atypický výkon LO. To znamená, že by měla být zajištěna větší pozornost k výběru techniky a expozičních parametrů, aby bylo minimalizováno radiační riziko pro dětské pacienty.

V obecnosti platí, že u dětských pacientů je nutné používat radiační dávky co nejnižší, které jsou dostatečné pro dosažení diagnostického nebo terapeutického cíle. Je tedy nutné zohlednit individuální potřeby a vlastnosti každého dětského pacienta. Proto je důležité mít k dispozici dostatečné množství informací o pacientovi, aby bylo možné provést výběr optimálního způsobu vyšetření s co nejnižší radiační zátěží (Ministerstvo zdravotnictví České republiky, 2016; SÚJB, 2021).

8 Praktická část

8.1 Cíle a výzkumné předpoklady

Cílem této bakalářské práce je analyzovat možnosti a omezení stávajících metod umělé inteligence v oblasti určování kostního věku a porovnat jejich výkonnost s lidskými hodnotiteli. Práce se zaměřuje na zkoumání rozdílů mezi umělou inteligencí a lidským hodnotitelem v oblasti přesnosti a spolehlivosti při určování kostního věku.

Výzkumné otázky, které budou zkoumány v rámci této práce, zahrnují:

1. Jaká je míra shody mezi umělou inteligencí a lidským hodnotitelem při určování kostního věku na základě radiografických snímků?
2. Jaká je přesnost a spolehlivost umělé inteligence ve srovnání s lidským hodnotitelem při určování kostního věku?
3. Jaké jsou hlavní limity a výzvy současných metod umělé inteligence v oblasti určování kostního věku?
4. Jaký je potenciál budoucího využití umělé inteligence v radiodiagnostice a jak by mohl být tento potenciál využit pro zlepšení diagnostických procesů?

Na základě výsledků analýzy a zodpovězení výzkumných otázek bude zpracován statistický přehled, který poskytne ucelený obraz o výkonnosti a možnostech umělé inteligence v oblasti určování kostního věku. Tato práce tak přispěje k lepšímu porozumění potenciálu umělé inteligence v radiodiagnostice a možným směrům dalšího vývoje a výzkumu v této oblasti.

8.2 Metody

Pro zkoumání limitů a schopností umělé inteligence a jejich porovnání s lidskými hodnotiteli byly použity následující metody:

1. Výběr dat: Byla vybrána reprezentativní sada radiografických snímků ruky a zápěstí, které byly provedeny u dospívajících jedinců s indikací podezření na trauma. Snímky s patrným traumatem nebo u pacientů s historií vyšetření pro endokrinní či metabolické poruchy byly vyloučeny, aby byla zajištěna co největší validita výsledků.

2. Zpracování dat: V prvním kroku zpracování dat bylo nutné provést konverzi skiagrafičických snímků z formátu s příponou .dcm, který je běžně používán pro uložení digitálních radiologických snímků, na formát s příponou .png, který je kompatibilní s nástroji umělé inteligence použitými v této práci. Pro tento účel byl použit online freeware nástroj Vertopal, který navíc disponuje jednoduchým editorem pro horizontální překlopení snímků. Důvodem pro překlopení je, že umělá inteligence je schopna přesně zpracovávat pouze skiagrafičické snímky s palcem umístěným z pohledu radiologa vpravo, nikoli vlevo, jako tomu bylo na originálních snímcích. Tento požadavek na úpravu snímků souvisí s potřebou zajistit konzistentní uspořádání dat pro účely analýzy a výpočtu.
3. Zpracování dat umělou inteligencí: Vybrané snímky byly nahrány do aplikace 16bit: Physis, která je vybavena umělou inteligencí pro určení kostního věku. Aplikace vyhodnotila snímky a poskytla výsledky s předpokládaným kostním věkem.
4. Hodnocení lidskými hodnotiteli: Výsledky získané umělou inteligencí byly anonymizovány a předány dvěma lidským hodnotitelům – jednomu s osmiletou praxí v oboru a druhému, začátečníkovi. Hodnotitelé byli požádáni o odhad kostního věku na základě předložených snímků.
5. Srovnání výsledků: Výsledky získané umělou inteligencí byly porovnány s odhady lidských hodnotitelů. Byla provedena statistická analýza, která zahrnovala korelaci mezi výsledky.
6. Interpretace výsledků: Na základě výsledků analýzy byly identifikovány klíčové rozdíly mezi umělou inteligencí a lidskými hodnotiteli při určování kostního věku. Byly rovněž zjištěny oblasti, kde umělá inteligence excelovala, a oblasti, kde naopak zaostávala za lidskými hodnotiteli.

V rámci těchto metod byl kladen důraz na spravedlivé a objektivní srovnání mezi umělou inteligencí a lidskými hodnotiteli. Výsledky této studie poskytují důležité informace o přesnosti, spolehlivosti a potenciálním budoucím využití umělé inteligence v radiodiagnostice, zejména při určování kostního věku.

9 Hodnocení skiagrafických snímků

V této části práce budou popsány vybrané snímky a hodnocení kostního věku získané z aplikace umělé inteligence, lékařem s osmiletou praxí a začátečníkem v oboru, studentem. Pacientům byla přidělena anonymní identifikační čísla, aby byla zajištěna ochrana osobních údajů a důvěrnost výsledků.

9.1 Příprava a zpracování snímků

Nejprve byly pacientům přiděleny identifikační čísla a jejich skiagrafické snímky byly vloženy do aplikace pro analýzu kostního věku. Snímky byly předem pečlivě vybrány, aby splňovaly kritéria pro hodnocení, což zahrnovalo absence patrného traumatu a endokrinních či metabolických poruch.

9.2 Hodnocení kostního věku

Pro každý snímek byl určen kostní věk nejprve pomocí umělé inteligence, následně lékařem s osmiletou praxí a poté začátečníkem v oboru, studentem. Výsledky byly zaznamenány a porovnány mezi jednotlivými hodnotiteli, aby bylo možné zjistit rozdíly a přesnost v hodnocení.

9.3 Analýza a srovnání výsledků

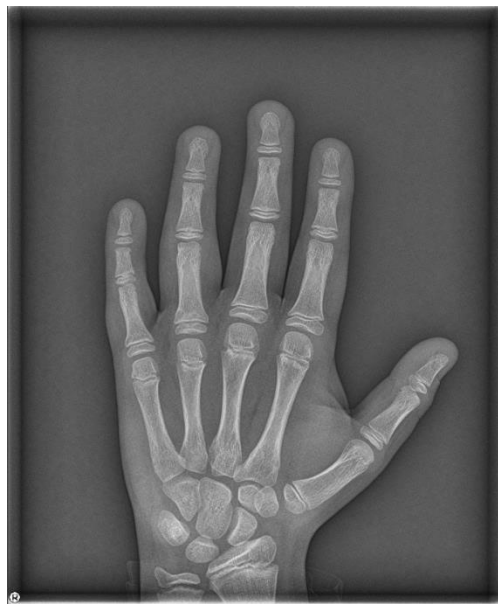
Po získání hodnocení kostního věku od všech tří hodnotitelů byly výsledky analyzovány a porovnány. Cílem bylo identifikovat rozdíly mezi hodnocením umělé inteligence a lidskými hodnotiteli, zjistit přesnost a spolehlivost umělé inteligence ve srovnání s osvědčenými metodami a posoudit potenciál umělé inteligence v radiodiagnostice.

V následujících podkapitolách budou podrobně popsány výsledky hodnocení kostního věku pro jednotlivé snímky a jejich srovnání mezi umělou inteligencí, lékařem s osmiletou praxí a začátečníkem v oboru.

9.4 Hodnocení snímku u pacienta 891

9.4.1 Studie kostního věku – umělá inteligence

Umělá inteligence se stává stále výkonnějším nástrojem v oblasti medicíny a diagnostiky. Jedním z jejích přínosů je i schopnost generovat strukturovanou zprávu s výsledky vyšetření, která je užitečná pro další diagnostiku a léčbu pacientů. Zpráva obsahuje mnoho informací, včetně pohlaví pacienta, jeho chronologického věku a odhadu jeho kostního věku.



Obrázek 1- snímek 891 (zdroj: autor)

V konkrétním případě byla generována strukturovaná zpráva pro desetiletého chlapce bez zdravotních problémů. Zpráva neobsahovala žádné nálezy, indikace ani srovnání s předchozími vyšetřeními. Podle metody Greulich a Pylové byl odhadnut jeho kostní věk na 10 let a 6 měsíců, což spadá do normálního rozmezí pro jeho chronologický věk. Standardní odchylka v jeho věkové skupině je 10,09 měsíce, což dává normální rozmezí 9 let a 3 měsíce až 12 let a 7 měsíců (+/- 2 standardní odchylky). Vzhledem k tomu, že odhadnutý kostní věk se nacházel v normálním rozmezí, lze výsledný kostní věk považovat za přiměřený.

Tento příklad ukazuje, jak umělá inteligence může být užitečná při diagnostice a léčbě pacientů. Generování strukturovaných zpráv s výsledky vyšetření usnadňuje lékařům práci a zlepšuje komunikaci mezi nimi a dalšími zdravotnickými pracovníky. Kromě toho

mohou být zprávy využity i pro výzkum a analýzu dat, což může vést k objevům a inovacím v oblasti medicíny.

9.4.2 Studie kostního věku – lékař

V případě zmíněného pacienta mužského pohlaví byl lékařem pomocí rentgenového snímku ruky a zápěstí stanoven kostní věk na 11 let a 9 měsíců. Tento výsledek odpovídá průměrnému věku, ve kterém dochází k osifikaci metakarpálních kostí u mužských jedinců. Při srovnání s jeho skutečným věkem byl pacient zařazen do skupiny s adekvátním vývojem skeletu.

9.4.3 Studie kostního věku – postup začátečníka v oboru

Ve studii kostního věku provedené začátečníkem v oboru byl kostní věk určen podle atlasu na 10 let a 6 měsíců. Začátečník v oboru pozoroval a hodnotil následující klíčové faktory při analýze radiografických snímků:

1. Viditelné růstové štěrbiny u kosti loketní (ulna) a vřetenní (radius), což jsou ukazatelé pro určení kostního věku v souladu s G-P atlasem.
2. Pozorování distálních konců metakarpálních kostí, které také prokázaly viditelné růstové štěrbiny. Tyto růstové štěrbiny se postupně uzavírají s přibývajícím věkem a jsou důležitým indikátorem pro stanovení kostního věku dítěte.
3. Nejasná viditelnost kosti hráškové (os pisiforme), což může naznačovat, že tato kost ještě neprošla úplným procesem osifikace a může být považována za další faktor při určování kostního věku.
4. Růstové štěrbiny na kosti poloměsíčitě (os lunatum) a prolínání a tvar kosti mnohohranné menší (os trapezium) a větší (os trapezoideum) byly také zohledněny při hodnocení kostního věku.

Všechny tyto faktory byly vzaty v úvahu při stanovení kostního věku na 10 let a 6 měsíců. Je důležité zdůraznit, že ačkoli začátečník v oboru může mít omezenou zkušenost s určováním kostního věku, je důležité, aby se pečlivě seznámil s metodologií a postupy

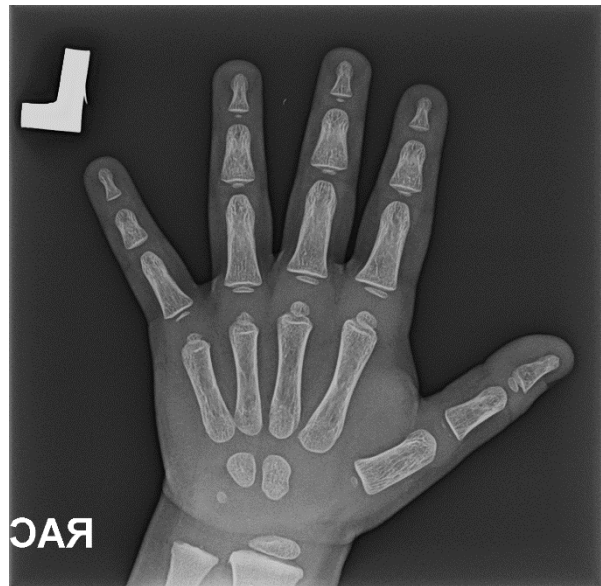
používanými v G-P atlasu a dalších dostupných metodách určování kostního věku. To zahrnuje pravidelnou konzultaci s odborníky v oboru, studium odborné literatury a účast na školeních a workshopech, které jsou zaměřeny na zdokonalení dovedností a znalostí v oblasti hodnocení kostního věku (Nitz a Thiemann, 1986).

9.5 Hodnocení snímku u pacienta 96513

Pacient 96513 představuje zajímavý případ, který byl zařazen do hodnocení kostního věku ve dvou různých situacích. Tento pacient byl nejprve zařazen pod identifikačním



Obrázek 2 - snímek 86070 (zdroj: autor)



Obrázek 3 - snímek 96513 (zdroj: autor)

číslem 86070, kde byl zhotoven první skiagrafický snímek. Následně byl pro pacienta zhotoven nový skiagrafický snímek, tentokrát s identifikačním číslem 96513. Časový rozptyl mezi prvním a druhým snímkem byl 11 dní. Hlavním účelem tohoto opakovaného zahrnutí bylo otestovat schopnosti umělé inteligence při hodnocení kostního věku na různých snímcích stejného pacienta a kostního věku.

9.5.1 Studie kostního věku – umělá inteligence

V této studii byla provedena analýza kostního věku pomocí umělé inteligence. Indikace pro vyšetření nebyly stanoveny a pro srovnání nebyla k dispozici žádná předchozí data. Ve věku 2 let a 5 měsíců je standardní odchylka 4,52 měsíce, což znamená, že normální rozsah kostního věku se pohybuje mezi 1 rokem 8 měsíci a 3 lety 2 měsíci (+/- 2 standardní odchylky). Umělá inteligence odhadla kostní věk dle metody Greulich a Pylové na 3 roky a 9 měsíců, což spadá do normálního rozsahu

pro daný chronologický věk. Závěr studie tedy ukázal, že umělá inteligence poskytla vhodný odhad kostního věku.

U snímku číslo 86070, který se týká studie kostního věku, nebyly uvedeny žádné indikace ani srovnání. Snímek zobrazuje stejného mužského pacienta, jehož chronologický věk je 2 roky a 5 měsíců. Ve věku pacienta je standardní odchylka 4,52 měsíce, což dává normální rozmezí od 1 roku 8 měsíců do 3 let 2 měsíců (rozmezí +/- 2 standardních odchylek). Podle metody Greulich a Pylové je odhadnutý kostní věk 2 roky a 7 měsíců, což spadá do normálního rozmezí. Z tohoto vyšetření vyplývá, že pacient má přiměřený kostní věk.

9.5.2 Studie kostního věku – Lékař

V rámci této studie byly použity dva skiagrafické snímky, na kterých lékař určil kostní věk. První snímek vykazoval vysokou kvalitu a byl proveden správně, což umožnilo lékařovi i začátečníkovi určit kostní věk na 2 roky a 6 měsíců. Tento výsledek velmi dobře koreluje s grafem umělé inteligence, což naznačuje, že umělá inteligence dosáhla téměř perfektního výsledku při určování kostního věku v tomto případě.

Druhý snímek však měl několik problémů, které mohly ovlivnit přesnost určení kostního věku. Na snímku bylo zřetelné překrytí epifýzy radia s radiální kostí, což může komplikovat správné hodnocení kostního věku. Navíc byl snímek pořízen přes rukáv oblečení, což není ideální pro hodnocení kostního věku. Tyto faktory mohly způsobit, že lékař určil kostní věk druhého snímku na 3 roky, což se může lišit od skutečného kostního věku.

Výsledky této studie poukazují na důležitost kvality skiagrafických snímků pro přesné určení kostního věku, a to jak pro lékaře, tak pro umělou inteligenci. Když jsou snímky provedeny správně a bez zásadních vad, jak je tomu u prvního snímku, mohou být výsledky umělé inteligence velmi přesné a korelovat s lékařským hodnocením.

Tato studie také ukazuje, že při použití neoptimálních snímků, jako je druhý snímek, může být určení kostního věku jak manuálně, tak pomocí umělé inteligence náchylné k chybám. V takových případech je důležité pečlivě zvážit omezení spojená s kvalitou snímku a případně provést další snímání, pokud je to možné, aby bylo dosaženo přesnějšího určení kostního věku.

9.5.3 Studie kostního věku – začátečník

Při studii kostního věku začátečníkem byly zohledněny obdobné faktory jako u lékařského hodnocení, což se projevuje shodnou korelací odhadu mezi lékařem a začátečníkem v obou případech. Tento výsledek naznačuje, že začátečník byl schopen pozorovat a vyhodnotit klíčové aspekty skiagrafičických snímků a přijít k podobným závěrům jako zkušený lékař.

Je důležité poznamenat, že i když korelace mezi lékařem a začátečníkem byla stejná, mohou být výsledky začátečníka celkově méně přesné než u lékaře, protože začátečník nemá stejnou hloubku znalostí a zkušeností jako lékař.

Tato studie také zdůrazňuje význam vzdělávání a tréninku pro začátečníky v oblasti určování kostního věku. Pokud začátečníci získají dostatečnou zkušenost a správné vedení, mohou se stát stejně schopnými jako zkušení lékaři v oblasti určování kostního věku. Výsledky této studie naznačují, že i začátečníci mohou dosáhnout dobrých výsledků při určování kostního věku, pokud se zaměří na správné faktory a postupy hodnocení skiagrafičických snímků.

V neposlední řadě je třeba zdůraznit, že jak začátečníci, tak lékaři mohou mít při určování kostního věku obtíže s neoptimálními snímky. V těchto případech je důležité, aby obě skupiny měly k dispozici zdroje, které jim umožní správně identifikovat a řešit problémy spojené s kvalitou snímků, aby dosáhly co nejpřesnějšího určení kostního věku.

9.6 Pacient 28969

Pacient 28969 byl zvolen pro analýzu v rámci této bakalářské práce z důvodu otestování schopnosti umělé inteligence zvládnout zhodnotit přexponované snímky. Přexponované snímky jsou běžným problémem v praxi, proto je důležité zjistit, jak dobře umělá inteligence dokáže pracovat s takovými snímky. V této kapitole se podrobněji zaměříme na analýzu výsledků hodnocení kostního věku pacienta 28969 jak pomocí tradičních metod, tak s využitím umělé inteligence.



Obrázek 4 - snímek 28969 (zdroj: autor)

9.6.1 Studie kostního věku – umělá inteligence

V této kapitole je prezentována studie kostního věku, která byla provedena s využitím umělé inteligence.

Studie kostního věku byla provedena bez konkrétního důvodu a bez srovnání s předchozími snímky pacienta. Zjištěné výsledky ukazují, že se jedná o ženu ve věku 18 let a 0 měsíců. Ve věku 18. let činí standardní odchylka 7,31 měsíce, což znamená, že normální rozmezí kostního věku je od 16 let 9 měsíců do 19 let 3 měsíců (s tolerancí +/- 2 standardních odchylek).

Podle metody Greulich a Pylové byl kostní věk odhadnut na 5 let 10 měsíců, což nespadá do normálního rozmezí pro daný chronologický věk. Na základě těchto výsledků lze konstatovat, že kostní věk je zpožděný v porovnání s chronologickým věkem pacientky.

9.6.2 Studie kostního věku – lékař

Lékař vyhodnotil kostní věk pacientky 28969 na 17 let a 0 měsíců. Tento výsledek je akceptovatelný, jelikož lékař má zkušenosti a praxi v odhadování kostního věku. Ve srovnání s odhadem umělé inteligence, která určila kostní věk na 5 let a 10 měsíců, je zde patrné selhání umělé inteligence určit kostní věk u nekvalitního a přexponovaného snímku. Tento případ ukazuje, že i přes pokročilé schopnosti umělé inteligence, v některých situacích, zejména u neoptimálních snímků, může být její úsudek méně přesný než úsudek zkušeného lékaře.

9.6.3 Studie kostního věku – začátečník

Začátečník v oboru určil kostní věk pacientky 28969 na 18 let, což se dostatečně blíží reálnému kostnímu věku, jak byl určen zkušeným lékařem. Tento výsledek ukazuje, že i s omezenou zkušeností a odbornými znalostmi je možné dosáhnout poměrně přesných odhadů kostního věku. U začátečníků je kvalita snímku ještě důležitější, protože nemají dostatek praxe v identifikaci anatomických struktur a určování kostního věku z nejasných nebo nekvalitních snímků.

Je důležité, aby začátečníci v oboru měli možnost pracovat s kvalitními snímky a získávali zkušenosti a zpětnou vazbu od zkušenějších kolegů. Pravidelná konzultace nebo spolupráce s odborníky mohou pomoci začátečníkům rychle zlepšit své dovednosti a zvýšit úroveň jejich diagnostických schopností. To může vést k přesnějším a spolehlivějším výsledkům při určování kostního věku a dalších diagnostických parametrů v budoucí praxi.

10 Analýza výzkumných dat a vyhodnocení cílů

V rámci této bakalářské práce byla analyzována excelová tabulka o kostním věku jedinců, která obsahuje informace o pohlaví, evidenčním čísle, kostním věku určeným lékařem, začátečníkem, umělou inteligencí a skutečným kalendářním věku jedinců.

Tabulka zahrnuje data o 32 jedincích různého pohlaví a věku (zeleně jsou vyznačeni ve dvojici pacienti, kteří jsou zahrnuti ve zkoumaném vzorku dvakrát). Kostní věk určený lékařem, začátečníkem a umělou inteligencí se v některých případech lišil od skutečného kalendářního věku jedinců. Například u jedince s evidenčním číslem 62503 byl kostní věk určený lékařem, začátečníkem a umělou inteligencí shodně 1,75 let, zatímco skutečný kalendářní věk byl 1 rok a 6 měsíců.

Tabulka 1 - Údaje o pacientech (zdroj: autor)

Pohlaví	Evidenční číslo	Lékař	Začátečník	AI	Kalendářní věk	
M	62503	1,5	1,75	1,75	1,5	1+6
F	21690	1,5	2,5	1,6667	1,5833	1+7
F	83622	2	2	2,4167	2,0833	2+1
F	76289	3,5	4	5,5	2,3333	2+4
M	96513	3	3	3,75	2,4167	2+5
M	86070	2,5	2,5	2,5833	2,4167	2+5
F	56694	1,75	1,5	3,1667	2,6667	2+8
M	49423	2,8333	2	3,5	2,8333	2+10
F	15640	4,1667	4	5,6667	3	3+0
M	15160	4,25	4,5	1,6667	4,3333	4+4
F	38445	4,1667	4	5,25	4,4167	4+5
F	57345	5,75	4,5	6,0833	4,4167	4+5
M	90151	4,5	5,5	6,75	6,4167	6+5
M	26236	9	8	9	7,75	7+9
M	81824	8	8	7,8333	7,8333	7+10
M	89883	5,5	7	7	8,75	8+9
M	86538	11	11	11,1667	9,75	9+9
M	891	11,75	10,5	12,3333	10,9167	10+11
M	90829	11	11,5	12	11,3333	11+4
F	35444	13	12,5	12,5833	11,9167	11+11
F	48102	11,5	12	12,25	12,25	12+3
F	97252	12	12	12,3333	12,25	12+3
M	75135	11,25	12,5	12,4167	12,6667	12+8
M	62910	14,5	13,5	14	13,3333	13+4
F	16772	14,5	15	14,9167	13,4167	13+5
M	93179	14	14	14,0833	14	14+0
M	96062	15,5	15,5	15,6667	15,6667	15+8
M	40117	15	16	14,75	15,75	15+9
F	48818	18	16	15,4167	15,75	15+9
M	18404	17	17	16,8333	15,8333	15+10
M	76565	15,5	16	15,75	16,3333	16+4
M	61200	17,5	17	17,0833	16,4167	16+5
F	28969	17	18	5,8333	18	18+0
F	2823	17,5	17	15,5833	18,1667	18+2
F	85754	18	17	15,0833	18,25	18+3

U jiných jedinců byl kostní věk určený různými metodami rozdílný. Například u jedince s evidenčním číslem 76289 byl kostní věk určený lékařem 3,5 let, začátečníkem 4 roky a umělou inteligencí 5,5 roku, zatímco skutečný kalendářní věk byl 2 roky a 4 měsíce.

Tabulka také ukazuje, že v některých případech byl kostní věk určený umělou inteligencí blíže skutečnému kalendářnímu věku než u lékařů či začátečníků. Například u jedince s evidenčním číslem 49423 byl kostní věk určený lékařem 2,8333 roku, začátečníkem 2 roky a umělou inteligencí 3,5 roku, zatímco skutečný kalendářní věk byl 2 roky a 10 měsíců.

Výsledky těchto analýz naznačují, že určování kostního věku pomocí umělé inteligence může přinést přesnější odhady ve srovnání s tradičními metodami, jako je hodnocení lékařem nebo začátečníkem. Tato zjištění by mohla mít důležité důsledky pro diagnostiku a léčbu onemocnění souvisejících s kostním věkem, jako jsou růstové poruchy, endokrinní poruchy a genetické syndromy. Přesnější určení kostního věku může vést k lepšímu pochopení vývoje jedince a případných odchylek od normy.

Včasná diagnostika a léčba těchto onemocnění mohou zlepšit kvalitu života pacientů, minimalizovat komplikace a v některých případech i zabránit trvalým následkům. Přesnější a spolehlivější metody určování kostního věku mohou také pomoci při plánování a sledování účinnosti terapeutických zásahů, jako jsou hormonální terapie nebo chirurgické zákroky.

Použití umělé inteligence při určování kostního věku může navíc přispět ke snížení subjektivity a zvýšení konzistence výsledků mezi různými lékaři a začátečníky. Tímto způsobem by se mohla zlepšit kvalita diagnostiky a zvýšit spokojenost pacientů.

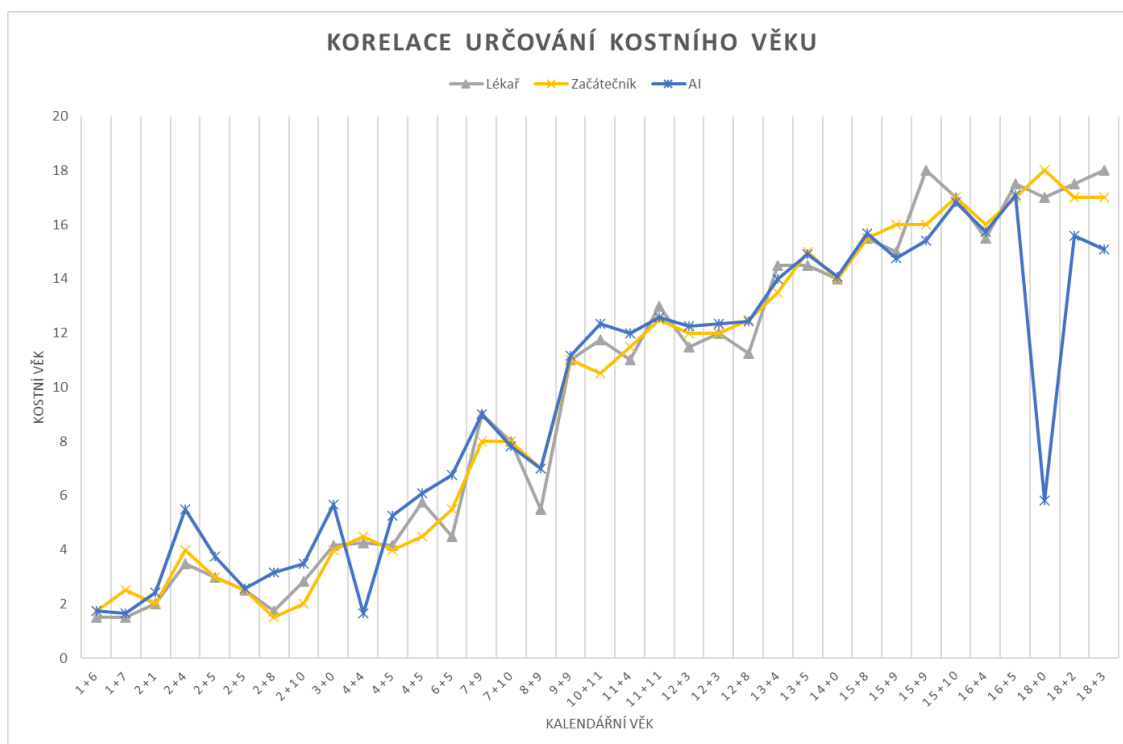
Je však důležité zdůraznit, že umělá inteligence by neměla plně nahradit lidské odborníky, ale spíše sloužit jako doplněk k jejich hodnocení. Lékaři a začátečníci by měli být nadále zapojeni do procesu určování kostního věku, aby bylo možné zohlednit kontext a individuální charakteristiky pacienta, které umělá inteligence nemusí plně zohlednit.

V budoucnu by bylo užitečné provést další studie, které by se zaměřily na optimalizaci algoritmů umělé inteligence pro určování kostního věku a zkoumaly jejich účinnost ve srovnání s tradičními metodami v širší populaci pacientů.

10.1 Vyhodnocení cílů, výzkumných otázek a předpokladů

V následující části bakalářské práce se zaměříme na korelaci mezi určováním kostního věku a chronologickým věkem pacientů. V tabulce níže jsou znázorněny výsledky analýzy kostního věku pomocí umělé inteligence. Na ose X je zobrazen chronologický věk pacientů vzestupně, zatímco na ose Y jsou zobrazeny odhady kostního věku.

Tabulka 2 - Korelace určování kostního věku (zdroj: autor)



Z grafu lze vyčíst, že umělá inteligence je schopna s poměrně vysokou spolehlivostí určovat kostní věk pacientů. Nicméně byly zaznamenány i některé zajímavé výjimky. Například, u pacientů s dominantní levou rukou bylo zjištěno, že umělá inteligence určovala kostní věk s mírně nižší přesností.

Dále bylo zjištěno, že umělá inteligence měla problémy při analýze snímků s nižší kvalitou. V těchto případech nebyla schopna přesně odhadnout kostní věk pacienta. To poukazuje na potřebu optimalizace algoritmů umělé inteligence pro zpracování snímků různých kvalit, aby bylo možné dosáhnout co nejvyšší přesnosti při určování kostního věku.

Bylo rovněž zjištěno, že umělá inteligence vykazovala menší odchylku při určování kostního věku stejného pacienta se dvěma různými snímky ruky. Tato odchylka, ačkoliv nepředstavovala závažný nebo zavádějící rozdíl, poukazuje na mírnou variabilitu v odhadech umělé inteligence v závislosti na snímku.

Tato zjištění naznačují, že i když je umělá inteligence schopna poskytovat přesné a spolehlivé odhady kostního věku, stále existuje určitá míra variability v závislosti na konkrétním snímku nebo individuálních anatomických rozdílech.

11 Diskuze

Tato bakalářská práce se zaměřila na analýzu a hodnocení kostního věku u pacientů pomocí umělé inteligence, lékařů a začátečníků. Studie ukázala, že umělá inteligence může poskytnout přesné a spolehlivé odhady kostního věku, které v některých případech překonávají tradiční metody hodnocení. Důležitost kvality skiagrafických snímků byla zdůrazněna jako klíčový faktor ovlivňující přesnost určení kostního věku, a to jak pro lékaře, tak pro umělou inteligenci.

Výsledky této práce také poukazují na potenciál umělé inteligence jako nástroje pro zlepšení diagnostiky a léčby onemocnění souvisejících s kostním věkem. Přesnější určení kostního věku může přispět k lepšímu pochopení vývoje jedince a případných odchylek od normy, což může vést k včasné diagnostice a účinnější léčbě.

Kromě toho tato studie zdůrazňuje význam vzdělávání a tréninku pro začátečníky v oblasti určování kostního věku. S dostatečnou zkušeností a správným vedením mohou začátečníci dosáhnout podobných výsledků jako zkušení lékaři, což naznačuje, že významná část zodpovědnosti za zlepšení přesnosti určení kostního věku spočívá ve vzdělávání a tréninku budoucích odborníků.

V neposlední řadě by měly být do budoucího výzkumu zahrnuty další studie s větším počtem pacientů a různými metodami umělé inteligence, aby bylo možné lépe posoudit přesnost, spolehlivost a potenciální výhody těchto metod ve srovnání s tradičními hodnoceními lékařů a začátečníků. Rozšíření výzkumu v této oblasti by mohlo vést k dalšímu zlepšení diagnostiky a léčby onemocnění souvisejících s kostním věkem a přispět ke zvýšení kvality života pacientů.

12 Návrh doporučení pro praxi

Na základě výsledků této bakalářské práce doporučujeme následující opatření pro praxi:

- **Integrace umělé inteligence do procesu hodnocení kostního věku:** Vzhledem k výsledkům studie by měla být umělá inteligence zvážena jako důležitý nástroj pro zlepšení přesnosti určování kostního věku. Tímto způsobem mohou lékaři získat přesnější údaje, což jim umožní lépe diagnostikovat a léčit příslušné onemocnění.
- **Vzdělávání a školení odborníků:** Je důležité neustále zlepšovat vzdělávání a školení lékařů, radiologů a dalších zdravotnických pracovníků v oblasti hodnocení kostního věku. Zlepšení jejich dovedností při interpretaci skiagrafických snímků může vést k lepšímu stanovení kostního věku a následně k lepší péči o pacienty.
- **Zajištění kvality skiagrafických snímků:** Výsledky studie zdůrazňují význam kvality snímků při určování kostního věku. Je třeba zajistit, aby byly použity nejlepší dostupné technologie a postupy při získávání skiagrafických snímků, aby byly co nejpřesnější a snadno interpretovatelné.
- **Spolupráce mezi odborníky a vývojáři umělé inteligence:** Pro další výzkum a vývoj v oblasti určování kostního věku je klíčová spolupráce mezi lékaři a odborníky na umělou inteligenci. Tímto způsobem může být výzkum zaměřen na nejaktuálnější potřeby a problémy v praxi a umělá inteligence může být dále vylepšována.
- **Pravidelné sledování vývoje a inovací:** V oblasti umělé inteligence dochází k rychlému vývoji a inovacím. Je důležité sledovat tyto nové metody a postupy a průběžně hodnotit jejich výkonnost a přesnost ve srovnání s tradičními metodami určování kostního věku. To umožní včasnou implementaci úspěšných inovací do praxe.

13 Závěr

V rámci této bakalářské práce jsme se zabývali hodnocením kostního věku. Byly srovnávány výsledky umělé inteligence s výsledky zkušeného hodnotitele a začátečníka v oboru. Výsledky naznačují, že určování kostního věku s využitím umělé inteligence může být přesnější než tradiční metody. Byla zdůrazněna důležitost kvality skiagrafických snímků, jelikož ovlivňuje přesnost určení kostního věku.

Přesnější určení kostního věku má potenciál zlepšit diagnostiku a léčbu onemocnění souvisejících s kostním věkem, což může vést k lepšímu pochopení vývoje jedince a případných odchylek od normy. Tato práce tak představuje významný krok k lepšímu využití umělé inteligence v oblasti určování kostního věku a nabízí možnosti pro další výzkum a vývoj v této oblasti.

Seznam použité literatury

AMISHA, F. Et al. 2019. Overview of artificial intelligence in medicine. *Journal of Family Medicine and Primary Care*. **8**(7). ISSN 2249-4863. DOI 10.4103/jfmpe.jfmpe_440_19

ANON. 2022. 16 BIT: 16bit: Physis. 16 BIT [online]. Toronto: 16 BIT, 2022, 2022 [cit. 2023-03-13]. Dostupné z: <https://www.16bit.ai/physis>

BOOZ, Christian et al. 2020. Artificial intelligence in bone age assessment: accuracy and efficiency of a novel fully automated algorithm compared to the Greulich-Pyle method. *European Radiology Experimental*. ISSN 2509-9280. Dostupné také z: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6987270/pdf/41747_2019_Article_139.pdf

ČESKO. MINISTERSTVO ZDRAVOTNICTVÍ. 2019. Národní radiologické standardy – skiografie, dospělí. Soubor doporučení a návod pro tvorbu místních radiologických standardů pro dospělé pacienty na skiografických pracovištích v České republice. In: *Věstník MZČR*. Částka 3, s. 1-95. ISSN 1211-0868. Dostupné také z: <https://www.mzcr.cz/skiografie-dospeli/>

ČIHÁK, Radomír. 2016. *Anatomie I: Třetí, upravené a doplněné vydání..* Praha: Grada. ISBN 978-80-247-3817-8.

DYLEVSKÝ, Ivan. 2007. *Obecná kineziologie*. Praha: Grada. ISBN 978-80-247-1649-7.

GILSANZ, Vicente a Osman RATIB. 2005. *Hand Bone Age: A Digital Atlas of Skeletal Maturity*. Německo: Springer-Verlag Berlin Heidelberg. ISBN 978-3-642-23762-1.

GREULICH, William Walter a Sarah Idell PYLE. 1971. *Radiographic atlas of skeletal development of the hand and wrist*. 2nd ed. Stanford: Calif: Stanford University Press.

KAUL, V., S. ENSLIN a S. A. GROSS. 2020. History of artificial intelligence in medicine. *Gastrointestinal Endoscopy*. **92**(4), 807-812. ISSN 00165107. Dostupné také z: [https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0016-5107\(20\)34466-7](https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0016-5107(20)34466-7)

KLUCK, Dylan G. et al. 2023. Comparison of “Human” and Artificial Intelligence Hand-and-Wrist Skeletal Age Estimation in an Epiphysiodesis Cohort. *The Journal of Bone and Joint Surgery*. **105**(3), 202-206. DOI 10.2106/JBJS.22.00833.

KRÁSNIČANOVÁ, H. a I. KUCHYŇKOVÁ. 2002. Nová metoda hodnocení kostního věku TW3 a první výsledky jejího využití u nás. *Československá pediatrie*. **57**(2), 62-66.

LEE Byoung-Dai a Mu Sook LEE. 2021. Automated Bone Age Assessment Using Artificial Intelligence: The Future of Bone Age Assessment. *Korean Journal of Radiology*. **22**(5), 792-800. DOI 10.3348/kjr.2020.0941.

MANSOURVAR, Marjan et al. 2013. Automated bone age assessment: motivation, taxonomies, and challenges. *Computational and Mathematical Methods in Medicine*. DOI: 10.1155/2013/391626. Dostupné také z: <https://www.hindawi.com/journals/cmmm/2013/391626/>

MASAŘÍKOVÁ, Helena. 2015. *Hodnocení kostního věku [přednáška]*. Brno: Fakultní nemocnice Brno.

MUGHAL, A. M., N. HASSAN a A. AHMED. 1969. Bone Age Assessment Methods: A Critical Review. *Pakistan Journal of Medical Sciences*. **30**(1). ISSN 1681-715X.

NITZ, Inna a Hans Heinrich THIEMANN. 1986. *Röntgenatlas der normalen Hand im Kindesalter*. Leipzig: Thieme.

RIJN, R. R. van a H. H. THODBERG. 2013. Bone age assessment: automated techniques coming of age?. *Acta Radiologica*. **54**(9), 1024-1029. ISSN 0284-1851.

ŘEZNÍČKOVÁ, Daniela. 2003. *Lidské tělo: poznáváme lidský organismus a jeho činnost*. Praha: Fortuna Print. ISBN 80-7321-080-0.

SEIDL, Zdeněk. 2012. *Radiologie pro studium i praxi*. Praha: Grada. ISBN 978-80-247-4108-6.

SATOH, Mari. 2015. Bone age: assessment methods and clinical applications. *Clin Pediatr Endocrinol*. **24**(4), 143-152. DOI 10.1297/cpe.24.143.

SPADONI, Gian Luigi a Stefano CIANFARANI. 2010. Bone Age Assessment in the Workup of Children with Endocrine Disorders. *Hormone Research*

in Paediatrics.**73**(1), 2-5. ISSN 1663-2818. Dostupné také z:
<https://core.ac.uk/download/pdf/53828796.pdf>

STÁTNÍ ÚŘAD PRO JADERNOU BEZPEČNOST. 2021. *Hodnocení lékařského ozáření*. Praha. Dostupné také z:
https://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/radiacni-ochrana/lekarske_ozareni/Bulletinlo2021.pdf

SÚKUPOVÁ, Lucie. 2018. *Radiační ochrana při rentgenových výkonech - to nejdůležitější pro praxi*. Praha: Grada Publishing. ISBN 978-80-271-0709-4.

SVOBODA, Milan. 1976. *Základy techniky vyšetřování rentgenem: učební text pro stř. zdravot. školy obor radiologických laborantů*. 2., dopl. vyd. Praha: Avicenum.

TANNER, James Mourilyan et al. 1994. Reliability and Validity of Computer-Assisted Estimates of Tanner-Whitehouse Skeletal Maturity (CASAS): Comparison with the Manual Method. *Hormone Research*. **42**(6), 288-294. ISSN 1423-0046.

TERADA, Y. et al. 2013. Skeletal age assessment in children using an open compact MRI system. *Magn Reson Med*.**69**(6), 1697-702. DOI: 10.1002/mrm.24439.

ZUNA, Ivan a Lubomír POUŠEK. 2007. *Úvod do zobrazovacích metod v lékařské diagnostice I*. 2. vyd. Praha: Nakladatelství ČVUT. ISBN 978-80-01-03779-9.

Seznam obrázků

Obrázek 1 - snímek 891 (zdroj: autor)	40
Obrázek 2 - snímek 86070 (zdroj: autor)	42
Obrázek 3 - snímek 96513 (zdroj: autor)	42
Obrázek 4 - snímek 28969 (zdroj: autor)	45

Seznam tabulek

Tabulka 1 - Údaje o pacientech (zdroj: autor).....	47
Tabulka 2 - Korelace určování kostního věku (zdroj: autor)	49

Seznam příloh

Příloha A - údaje o pacientech (zdroj: autor)	60
Příloha B - korelace kostního věku (zdroj: autor)	61

Příloha A

Příloha A - údaje o pacientech (zdroj: autor)

Pohlaví	Evidenční číslo	Lékař	Začátečník	AI	Kalendářní věk	
M	62503	1,5	1,75	1,75	1,5	1+6
F	21690	1,5	2,5	1,6667	1,5833	1+7
F	83622	2	2	2,4167	2,0833	2+1
F	76289	3,5	4	5,5	2,3333	2+4
M	96513	3	3	3,75	2,4167	2+5
M	86070	2,5	2,5	2,5833	2,4167	2+5
F	56694	1,75	1,5	3,1667	2,6667	2+8
M	49423	2,8333	2	3,5	2,8333	2+10
F	15640	4,1667	4	5,6667	3	3+0
M	15160	4,25	4,5	1,6667	4,3333	4+4
F	38445	4,1667	4	5,25	4,4167	4+5
F	57345	5,75	4,5	6,0833	4,4167	4+5
M	90151	4,5	5,5	6,75	6,4167	6+5
M	26236	9	8	9	7,75	7+9
M	81824	8	8	7,8333	7,8333	7+10
M	89883	5,5	7	7	8,75	8+9
M	86538	11	11	11,1667	9,75	9+9
M	891	11,75	10,5	12,3333	10,9167	10+11
M	90829	11	11,5	12	11,3333	11+4
F	35444	13	12,5	12,5833	11,9167	11+11
F	48102	11,5	12	12,25	12,25	12+3
F	97252	12	12	12,3333	12,25	12+3
M	75135	11,25	12,5	12,4167	12,6667	12+8
M	62910	14,5	13,5	14	13,3333	13+4
F	16772	14,5	15	14,9167	13,4167	13+5
M	93179	14	14	14,0833	14	14+0
M	96062	15,5	15,5	15,6667	15,6667	15+8
M	40117	15	16	14,75	15,75	15+9
F	48818	18	16	15,4167	15,75	15+9
M	18404	17	17	16,8333	15,8333	15+10
M	76565	15,5	16	15,75	16,3333	16+4
M	61200	17,5	17	17,0833	16,4167	16+5
F	28969	17	18	5,8333	18	18+0
F	2823	17,5	17	15,5833	18,1667	18+2
F	85754	18	17	15,0833	18,25	18+3

Příloha B

Příloha B - korelace kostního věku (zdroj: autor)

