

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI

FAKULTA ZDRAVOTNICKÝCH VĚD

Ústav ošetrovatelství

Ing. Olga Pánková

**Využití skiografie a výpočetní tomografie při
diagnostice poranění krční páteře u kraniotraumat**

Diplomová práce

Vedoucí práce: MUDr. Tomáš Rohan

Olomouc 2022

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

Olomouc 5.5.2022

.....

Poděkování

Tímto bych chtěla poděkovat vedoucímu mé diplomové práce MUDr. Tomáši Rohanovi za nekonečnou trpělivost, ochotu, cenné rady a zkušenosti, které mi poskytl při tvorbě této práce.

ANOTACE

Typ závěrečné práce: diplomová práce

Téma práce: Zobrazovací metody krční páteře u kraniotraumat

Název práce: Využití skiografie a výpočetní tomografie při diagnostice poranění krční páteře u kraniotraumat

Název práce v AJ: The Use of Radiography and Computed Tomography in the Diagnosis of Cervical Spine Injuries Associated with Craniotraumas

Datum zadání: 2021-01-27

Datum odevzdání: 2022-05-20

Vysoká škola, fakulta, ústav: Univerzita Palackého v Olomouci
Fakulta zdravotnických studií
Ústav radiologických metod

Autor práce: Ing. Olga Pánková

Vedoucí práce: MUDr. Tomáš Rohan

Oponent práce: Ing. Mariana Kleinová

Abstrakt v ČJ: Tématem této diplomové práce bylo použití skiografie a výpočetní tomografie při diagnostice poranění krční páteře u kraniotraumat. Cílem práce bylo porovnat dva diagnostické postupy CT hlavy a krční páteře a CT hlavy a RTG krční páteře z hlediska procentuální četnosti zachycených fraktur a radiční zátěže. Dále se práce zabývala tím, zda lze z informací na žádankách k CT hlavy a krční páteře vysledovat signifikantní rizikové faktory predikující nálezy fraktury krční páteře. Výzkum proběhl retrospektivní formou s využitím žádanek k vyšetření, obrazové dokumentace a radiologického popisu na vzorku 1508 pacientů, kteří podstoupili ve FN Brno v roce 2019 zobrazovací vyšetření.

Výsledky ukazují, že CT detekovalo fraktury na krční páteři signifikantně častěji než skiografie. Signifikantně vyšší efektivní dávku z vyšetření obdrží pacient při CT hlavy a krční páteře, a to průměrně až o 2 mSv více než u CT hlavy a RTG krční páteře. Ze žádanek a z vyšetření CT hlavy a krční páteře byly vysledovány signifikantní rizikové faktory predikující nálezy fraktury krční páteře, mezi které patří přítomnost krčního límce na CT, bolest v oblasti krční páteře a přítomnost parestezií či plegie.

Abstrakt v AJ: The topic the diploma thesis discusses is the use of the radiography and Computed Tomography in the diagnosis of cervical spine injury associated with cranial trauma. The aim of the work is to compare two diagnostic approaches of a head plus neck CT scan and a head CT scan plus neck radiography considering the percentage of reported fractures and radiation dose. The thesis also examined whether the informatik on CT scan requets can predict the presence of cervical spine fracture. The research was made by a retrospective approach using the regist forms, image documentation and radiology reports of 1508 patients who went through an imaging examination in The University Hospital Brno in 2019.

The results showed that CT was able to identify cervical spine fractures significantly more often than the radiography. Significantly higher effective dose from the examination received patients undergoing the CT scan of head and cervical spine than those undergoing head CT scan and cervical spine radiography with the difference reaching up to 2 mSv. The informatik on regist forms for head and cervical spine CT showed some risk factors predicting fracture of the cervical spine. The risk factors included the presence of a neck collar during the CT, neck pain at the cervical spine area and the presence of paraesthesia or plegia.

Klíčová slova v ČJ: poranění krční páteře, výpočetní tomografie, skiografie, kraniotrauma, ionizující záření

Klíčová slova v AJ: cervical spine injury, computed tomography, radiographs, craniotrauma, ionizing radiation

Rozsah: 74

1	Obsah	
1	Úvod	8
2	Poranění krční páteře u kraniotraumat	9
2.1	Indikace k vyšetření krční páteře	10
2.2	Canadian C-Spine Rule	11
2.3	National Emergency X-Radiography Utilization Study	14
2.4	Indikační kritéria - Věstník MZ ČR	17
2.5	Porovnání CCR a NEXUS	18
3	Zobrazovací metody pro vyšetření kraniocervikální oblasti	20
3.1	Prostá skiografie	20
3.1.1	Rentgenové zobrazovací metody kraniální oblasti	21
3.1.2	Rentgenové zobrazovací metody cervikální páteře	21
3.2	Výpočetní tomografie	24
3.2.1	CT zobrazení kraniální oblasti	24
3.2.2	CT zobrazení cervikální oblasti	25
3.3	Magnetická rezonance	26
3.3.1	MR zobrazení kraniální oblasti	26
3.3.2	MR zobrazení cervikální oblasti	27
3.4	Hodnocení senzitivity zobrazení krční páteře na RTG a CT	28
3.5	CT nebo RTG, která modalita je vhodnou volbou?	31
4	Radiační zátěž z expozice ionizujícím zářením	33
4.1	Biologické účinky záření	33
4.1.1	Deterministické účinky	34
4.1.2	Stochastické účinky	34
4.2	Lékařské ozáření	35
4.3	Radiační ochrana aplikovaná v lékařském ozáření	36
4.4	Druhy zobrazovacích modalit a radiační zátěž pro pacienta	37
5	Praktická část	42
5.1	Cíle práce a hypotézy	42
5.2	Metodologie výzkumu	42
5.3	Sledované znaky u pacientů	43
5.4	Procentuální četnost zachycených fraktur na CT krční páteře a rizikové faktory predikující nález fraktury na CT krční páteře	43
5.5	Riziko vzniku pozdních stochastických účinků	44

5.6 Metodika RTG zobrazení	45
5.6.1 RTG protokoly dle MRS FN Brno.....	46
5.7 Metodika CT vyšetření	49
5.7.1 CT protokoly dle MRS FN Brno.....	49
5.7.2 CT protokol mozek nativ	49
5.7.3 CT protokol krční páteř nativ	50
5.8 Statistické metody.....	51
6 Výsledky výzkumu	52
6.1 Základní charakteristika souboru pacientů.....	52
6.1.1 Skupina CT hlavy a krční páteře	52
6.1.2 Skupina CT hlavy a RTG krční páteře	53
6.2 Přehlednost prosté skiografie.....	54
6.3 Procentuální četnost zachycených fraktur	55
6.3.1 Skupina CT hlavy a krční páteře	55
6.3.2 Skupina CT hlavy a RTG krční páteře	56
6.4 Rizikové faktory predikující nález fraktury krční páteře na CT	58
6.5 Riziko vzniku pozdních stochastických účinků.....	60
7 Diskuze	61
8 Závěr.....	64
9 Referenční seznam.....	65
10 Seznam zkratk	69
11 Seznam značek	71
12 Seznam symbolů	72
13 Seznam tabulek	73
14 Seznam obrázků	74

1 Úvod

Tématem této diplomové práce je využití skiografie (RTG) a výpočetní tomografie (CT) při diagnostice poranění krční páteře u kraniotraumat. RTG i CT patří mezi zobrazovací metody využívající ionizující záření. Každá, byť malá expozice zvyšuje riziko vzniku pozdních stochastických účinků záření, například rozvoj rakoviny. Množství provedených CT scanů každým rokem vzrůstá zhruba o 3-4 % (Frost a Sullivan, 2021). Přitom 1 CT vyšetření krční páteře dokáže přivodit rakovinu 1 ženě z 1054, které toto zobrazovací vyšetření podstoupí ve věku 25 let (American Society of Radiologic Technologists, 2018). Z toho důvodu je nutné indikovat zobrazovací metody cíleně nebo zvážit jinou alternativu bez expozice.

2 Poranění krční páteře u kraniotraumat

Až 10 % úmrtí v celosvětovém měřítku je způsobeno úrazem. U mladých lidí je smrt následkem úrazu dominující příčinou (Hasler et al. 2012). Za úmrtí způsobené úrazem je velmi často zodpovědné poranění kraniocervikální oblasti (Dewan et al. 2019). Poranění kraniocervikální oblasti je velmi závažný stav, který vyžaduje včasnou diagnózu a následnou terapii. V celosvětovém měřítku utrpí ročně poranění mozku následkem úrazu až 69 milionů lidí. Přičemž až 11 % z nich má vážný průběh (Dewan et al., 2019). Celkový výskyt poranění krční páteře tvoří přibližně méně než 4 % všech úrazů, u pacientů při vědomí je incidence úrazů krční páteře asi 2,8 %, u pacientů v bezvědomí asi 7,7 % (Milby et al. 2008; Goergen et al. 2015).

Hlavním cílem prvotní diagnostiky poranění hlavy a krční páteře je rozlišení potenciálně klinicky významných poranění, takových, u kterých bez léčby hrozí zhoršení stavu či trvalé následky. Úraz hlavy může vést k přímému poškození nervové tkáně (difusní axonální poškození, kontuze či lacerace mozkové tkáně), což často vede k poruše autoregulačních schopností mozkových cév v udržování intrakraniálního tlaku. Vlivem toho následuje rozvoj sekundárního poškození (subdurální či epidurální hematoma, mozkový edém či ischemie). (Heegaard a Biros 2007)

Nejzávažnějším stupněm trvalého poškození krční páteře a míchy jsou kvadruplegie či smrt. Primární neurologický deficit se objevuje v počátcích traumatu, sekundární deficit se může rozvíjet s odstupem od prvotního traumatu. Dalším velmi závažným stavem, který může vést k trvalému poškození, je poranění krčních tepen (arteria vertebralis a arteria carotis), kde úrazy skeletu krční páteře jsou nejčastějším rizikovým faktorem. Poranění obratlů a vazů může vést i k porušení stability páteře, která se projevuje ztrátou schopnosti udržet páteřní segmenty v linii. (Goergen et al. 2015)

Každý úraz nutně nevyžaduje speciální léčbu. Zejména zlomeniny spinózních výběžků nebo zlomeniny obratlových těl s minimální kompresí se obejdou i bez invazivních zákroků (Goergen et al. 2015). Míru rizika poranění pro pacienta posuzuje ošetřující lékař, který určí, zda je nutné zobrazovací vyšetření či nikoli. Správně stanovená diagnóza je klíčová pro následnou terapii. Diagnostika se opírá o zobrazovací metody, které dokáží rychle zobrazit požadovanou oblast. Je však

nutné využívat zobrazovací metody v souladu s indikačními pravidly. Akutní zobrazovací metody CT a RTG využívají ionizující záření, které pacienta zatěžuje a zvyšuje výskyt pozdních stochastických účinků.

Nejčastější příčinou úrazu krční páteře jsou dopravní nehody, pády a úrazy při sportu. Rizikovou skupinu tvoří převážně mladí lidé ve věku 15-25 let a lidé starší 65 let (Hasler et al. 2012; Goergen et al. 2015), incidence úrazů je u mužů výrazně vyšší než u žen, a to v poměru 2,7:1 (Goergen et al. 2015).

2.1 Indikace k vyšetření krční páteře

Publikace z Austrálie a Nového Zélandu uvádí četnost poranění oblasti krční páteře u všech pacientů přijatých na oddělení urgentních příjmů, které nedosahuje ani 4 %. Připouští, že může být v některých případech bezpečnější indikovat zobrazovací vyšetření navzdory ceně vyšetření a expozici záření než riskovat závažné následky, které s sebou nediagnostikované trauma krční páteře přináší. Obzvláště u mladších pacientů a žen, které jsou mnohem více citlivé k ozáření, je vhodné, co nejvíce eliminovat rizika z expozice ionizujícího záření. CT vyšetření oproti sérii prostých snímků může zvýšit radiační zátěž až stonásobně (Goergen et al. 2015).

Klinická indikační pravidla (Clinical decision rules, CDRs) byla vytvořena na základě analýzy dat velkého souboru pacientů. Doporučení se týkají indikací k vyšetření krční páteře, CT mozku, zobrazení kotníku, plicní embolie nebo vyšetření dětských pacientů s podezřením na poranění hlavy. Cílem je snížit míru subjektivního přístupu ošetřujících lékařů a zavést do praxe pravidla, na základě kterých bude rozhodnuto o využití zobrazovacích metod, která by měla být indikována cíleně. Spolu s Canadian C-Spine Rule a NEXUS (National Emergency X-Radiography Utilization Study) kritérii by měla CDRs výrazně snížit množství zobrazovacích vyšetření krční páteře. (Goersen 2015)

V češtině existují Indikační kritéria vydaná Ministerstvem zdravotnictví (2003), která hlavní důraz kladou na prosté snímky páteře před CT.

2.2 Canadian C-Spine Rule

Skupina kanadských lékařů ve spolupráci s Medical Research Council of Canada a The Ontario Ministry of Health Emergency Services Committee vydala v roce 2001 studii, která měla za cíl stanovit indikační pravidla pro diagnostiku poranění krční páteře. Canadian C-Spine Rule (CCR) uvádí, že z více než jednoho milionu pacientů, kteří se dostanou na kanadské urgentní příjmy s podezřením na poranění krční páteře, má více než 98 % pacientů negativní nález na RTG. Pouze u 1 % případů se prokáže akutní poranění v oblasti krční páteře. S ohledem na radiační zátěž, kterou nelze přehlížet, klade důraz na oprávněné užívání zobrazovacích metod. (Stiell 2001)

CCR rozlišuje klinicky významné a nevýznamné poranění krční páteře. Za klinicky významné poranění považuje jakoukoli frakturu, dislokaci nebo poranění vazů, které lze prokázat zobrazovacími metodami a zároveň se nejedná o izolovanou frakturu osteofytů, spinózních a příčných výběžků, které nezasahují na kloubní plochy obratlů, a jednoduché kompresivní fraktury obratlových těl, u kterých je snížena výška těla obratle do 25 %. V opačném případě se dle CCR jedná o klinicky nevýznamná poranění, která nevyžadují chirurgickou léčbu. Na této definici klinicky významné či nevýznamné fraktury se dle CCR studie shodlo 129 neurochirurgů, spondylochirurgů a lékařů urgentních příjmů. (Stiell 2001)

CCR je prospektivní, kohortová studie z let 1996-1999, která shromáždila data z 10 kanadských nemocnic. Zaměřila se na soubor dospělých pacientů přijatých na oddělení urgentních příjmů s podezřením na poranění oblasti hlavy a krku. Soubor pacientů byl vybrán s následujícími kritérii: dospělí pacienti (nad 16 let), podezření na akutní tupé poranění krční páteře z důvodu bolesti nebo z důvodu závažného úrazu v oblasti nad klíčními kostmi, bez neurologického deficitu (Glasgow Coma Scale 15), se stabilními vitálními funkcemi (krevní tlak a dechová frekvence). Ze studie byli vyřazeni pacienti s degenerativními onemocněními páteře (ankylozující spondylitida, revmatoidní artritida, spinální stenoza), po chirurgickém výkonu v oblasti páteře a těhotné pacientky. (Stiell 2001)

Vybraní pacienti podstoupili RTG vyšetření krční páteře ve třech projekcích (předozadní (AP), boční a transorální snímek), dle uvážení indikujícího lékaře i funkční snímky (ve flexi a extenzi) nebo CT krční páteře. Do studie bylo vybráno

8773 pacientů, u 151 (1,7 %) z nich byla prokázána klinicky významná fraktura v oblasti krční páteře a u 28 (0,3 %) fraktura klinicky nevýznamná. (Stiell 2001)

Studie poukazuje na nejednotnost a nejasnost pravidel při vyšetřování úrazů krční páteře. Většina pacientů je při vědomí a bez klinicky významných symptomů. Zda je tedy nutné vyšetření využívající ionizující záření, je na uvážení indikujícího lékaře. Většina autorů připouští, že není nutné všechny pacienty posílat na zobrazovací vyšetření, ale jasná doporučení, nebo kritéria výběru těchto pacientů neuvádějí. (Stiell 2001)

Na základě vyhodnocení dat všech pacientů (mechanismu úrazu, věku a okolností úrazu), byla dle CCR stanovena klinická kritéria pro hemodynamicky stabilní pacienty při vědomí, u kterých je vhodné použít zobrazovací metody využívající ionizující záření.

Přítomnost vysoce rizikových faktorů:

- věk nad 65 let
- závažný mechanismus úrazu (pád z více než 1 m nebo 5 schodů, rána do temene hlavy, skok do vody, dopravní nehoda při rychlosti nad 100 km/hod, převrácení nebo vystřelení z dopravního prostředku, cyklo/moto nehoda)
- přítomnost parestezií na končetinách

V případě kladné odpovědi na některý ze tří výše zmíněných bodů první části je doporučováno zobrazovací vyšetření. V případě negativních odpovědí na všechny tři položky CCR doporučuje zvážit dalších pět bodů druhé části.

Přítomnost méně rizikových faktorů:

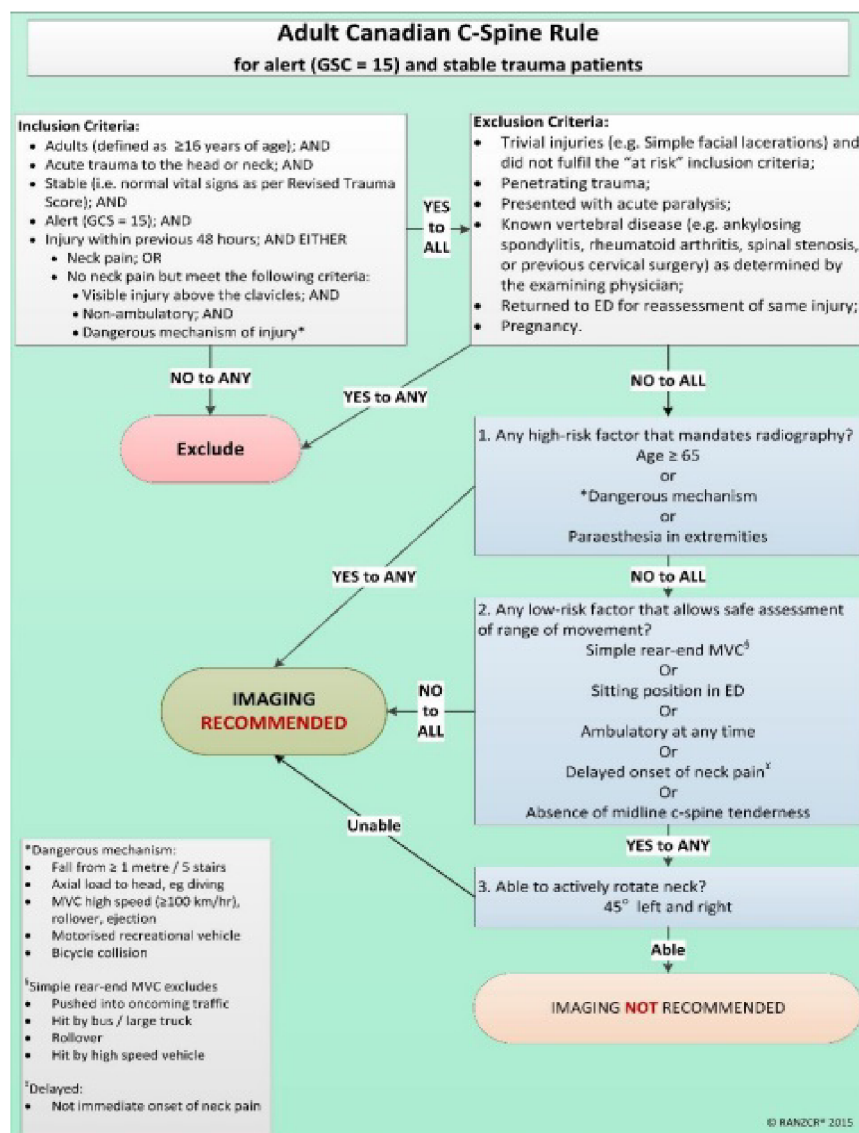
- méně závažná dopravní nehoda (čelní střet, srážka s dopravním prostředkem, převrácení)
- pacient schopen sezení
- soběstačný pacient po celou dobu od úrazu
- výskyt bolesti krční páteře s prodlevou od úrazu
- bez citlivosti ve střední čáře krční páteře

V případě záporné odpovědi na některý z pěti bodů ze druhé části CCR doporučuje zobrazovací vyšetření, v případě pěti kladných odpovědí lze zvážit ještě třetí část.

Schopnost rotace krční páteře:

- volnost rotace do obou stran v úhlu 45° bez bolesti

Pokud projde pacient oběma částmi (na první tři body záporná odpověď, v další část pět kladných odpovědí) a je schopen rotace krku, pak mu podle CCR pravidel s největší pravděpodobností nehrozí klinicky významná fraktura krční páteře. Pokud je na jakýkoliv bod ze všech tří sekcí odpovězeno jinak, pak je doporučeno zobrazovací vyšetření. (Stiell 2001)



Obrázek 1: Algoritmus Canadian c-spine Rule
Zdroj: (Goergen *et al.* 2015)

Na základě tohoto třibodového rozhodovacího systému byli indikováni účastníci studie k zobrazovacímu vyšetření. Skupina těch, pro které vyšetření indikováno nebylo, byla po dalších 14 dní sledována pro případné komplikace. V případě, že se u nich vyskytly obtíže spojené s krční páteří, byli povoláni zpět k vyšetření. Tímto systémem bylo odhaleno 151 klinicky významných a 27 klinicky nevýznamných fraktur. Zachycena nebyla pouze jediná klinicky nevýznamná drobná fraktura osteofytu třetího krčního obratle u 63leté pacientky. Studie dosáhla senzitivity 100 % (95% CI 98 – 100 %) a specifity 42.6 % (95 % CI 40 – 44 %). (Stiell 2001)

2.3 National Emergency X-Radiography Utilization Study (NEXUS)

Jedná se o prospektivní studii z roku 2000 zaměřenou na pacienty urgentních příjmů s tupým poraněním krční páteře, kterým je indikováno zobrazovací vyšetření využívající ionizující záření. Cílem studie bylo stanovit kritéria, která by dokázala vyfiltrovat pacienty s dostatečně nízkým rizikem vážného poranění krční páteře, u kterých není nutné provést zobrazovací vyšetření využívající ionizující záření. Za klinicky nevýznamné fraktury byly považovány zlomeniny spinózních a příčných výběžků, kompresivní fraktura obratlového těla se snížením o méně než 25 %, izolované avulze bez poranění vazů, zlomenina dentu C2 typu I a zlomeniny osteofytů. (Hoffman et al. 1998)

Studie poukazuje na fakt, že každý rok v USA podstoupí RTG krční páteře 800 000 lidí (studie z roku 1998). Z toho pouze 10 000 nálezů potvrzuje poranění krční páteře. Téměř 98 % ze všech vyšetření tak přináší negativní výsledek. (Hoffman et al. 1998)

Na výzkumu se podílelo 21 různých zdravotnických zařízení ve Spojených státech s různými úrovněmi závažností úrazů. Bylo stanoveno 5 klíčových kritérií, která selektují pacienty s velmi nízkým rizikem fraktury či dislokace na krční páteři. V případě splnění všech 5 podmínek může být, dle studie, pacient ušetřen expozice ionizujícím zářením: (Hoffman et al. 2000)

- pacient bez citlivosti či bolestivosti v oblasti krční páteře
- pacient bez neurologických změn, bez fokálního neurologického deficitu
- při plném vědomí

- bez známek intoxikace
- bez jiného výrazně bolestivého zranění, které by mohlo překrýt bolest krční páteře

U každého pacienta zařazeného do výzkumu byla zaznamenána přítomnost či nepřítomnost všech pěti bodů před provedením zobrazení krční páteře. Cílem nebylo ovlivnit diagnostický proces, ale zaznamenat a vyhodnotit symptomy a výsledky pacientů exponovaných ionizujícím zářením. Do studie byl zařazen každý pacient s tupým poraněním krční páteře, kterému bylo indikováno zobrazovací vyšetření krční páteře v podobě prostých skiagramů minimálně ve třech projekcích (AP, boční, transorální). V případě žádosti indikujícího lékaře mohly být doplněny šikmé projekce či projekce ve flexi a extenzi krční páteře. V případě nemožnosti zhotovení prostých snímků bylo provedeno CT nebo MR vyšetření. (Hoffman et al. 2000)

Vyhodnocení senzitivity rozhodovacích kritérií proběhlo na vzorku 34 069 pacientů. Většina pacientů z celkového počtu byla mužského pohlaví (58,7 %). Věkové rozmezí ve skupině bylo od 1 do 101 let, střední hodnota věku 37 let. Z celkového počtu byla u 818 (2,4 %) pacientů popsána na zobrazovacím vyšetření fraktura krční páteře. Podle počtu přítomných podmínek a výskytu fraktur byla hodnocena senzitivita rozhodovacího algoritmu (viz. Tabulka 1). 810 pacientů bylo zařazeno do skupiny jako správně pozitivních, 8 do falešně negativních, přičemž u 2 z 8 falešně negativních byla diagnostikována klinicky významná fraktura. (Hoffman et al. 2000)

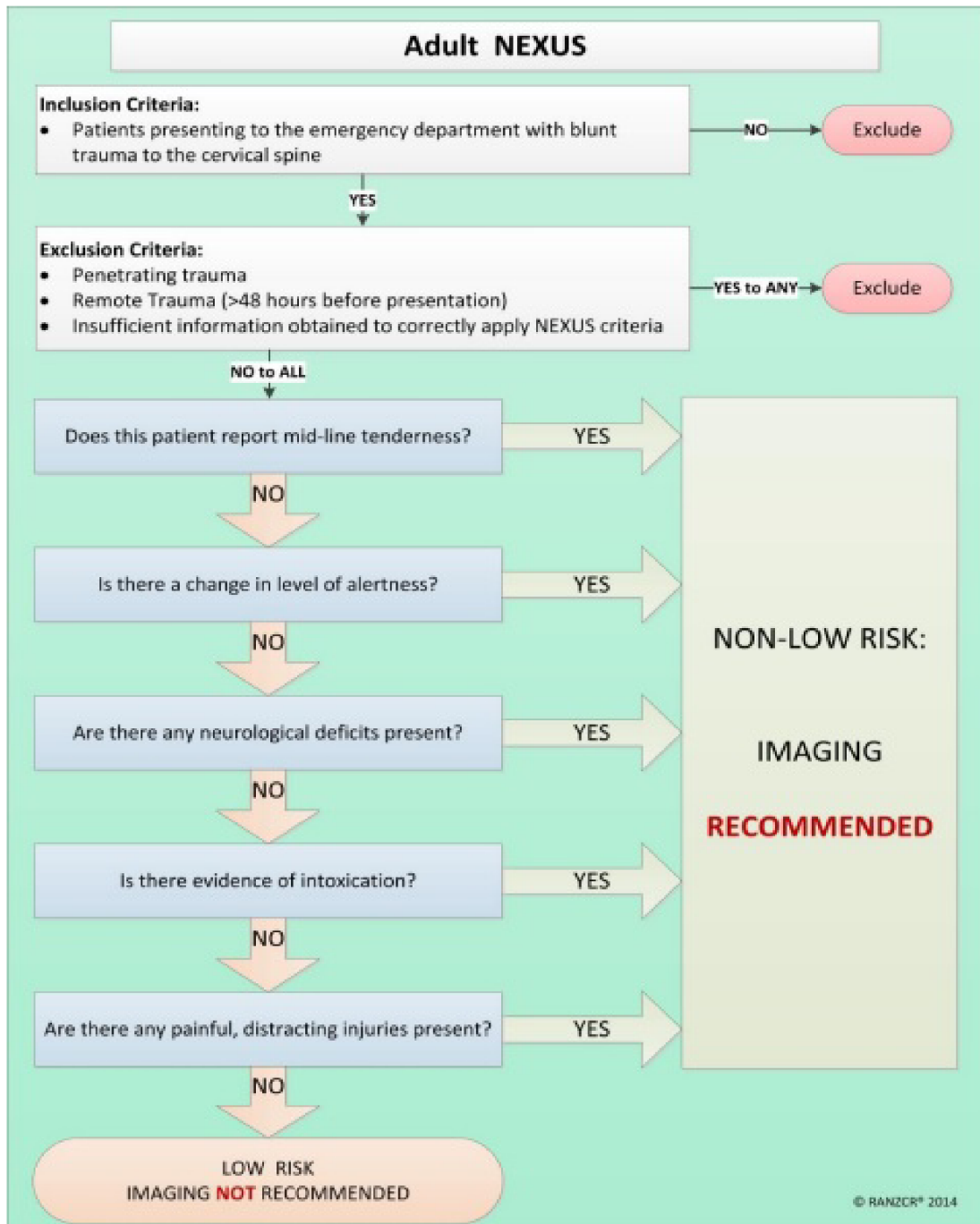
Tabulka 1: Hodnocení senzitivity NEXUS rozhodovacích kritérií

Přítomnost podmínek	Výskyt fraktury	Hodnocení
0 z pěti	fraktura	Správně pozitivní
1 a více z pěti	fraktura	Falešně negativní
5 bodů z pěti	bez fraktury	Správně negativní
4 z pěti a méně	bez fraktury	Falešně negativní

Zdroj: (Hoffman *et al.* 2000)

Jedním ze dvou pacientů s klinicky významnou frakturou byl 54letý muž po vícečetných autonehodách, který klinicky neměl žádné symptomy. Rentgen krční páteře prokázal frakturu druhého krčního obratle. Po 24 hodinách hospitalizace byl

pacient zcela bez symptomů propuštěn bez krčního límce. Druhým pacientem byl 57letý muž po čelní srážce v autě. Udával bolesti ramene, klíční kosti, lopatky a citlivost paraspinálních svalů. Na rentgenu byla popsána fraktura šestého krčního obratle a pravé klíční kosti. Pacient podstoupil laminektomii, po které parestezie odezněla. (Hoffman et al. 2000)



Obrázek 2: Algoritmus NEXUS rozhodovací kritéria
Zdroj: (Goergen *et al.* 2015)

Podle rozhodovacího pětibodového kritéria byla skupina 4309 (12,6 %) pacientů shledána jako potenciálně bez rizika klinicky významné fraktury, a mohla by být ušetřena expozicí záření. Naopak u 29 760 (87,4 %) pacientů bylo zobrazení krční páteře dle kritérií doporučeno. Studie dosáhla senzitivity 99,0 % (CI 95 %, 98,0 – 99,6) pro celý soubor pacientů a 99,6 % (CI 95 %, 98,6 – 100) pro soubor pacientů s potenciálně významnou frakturou. Specifická v obou případech byla 12,9 % (CI 95 %, 12,8-13,0). (Hoffman et al. 2000)

2.4 Indikační kritéria – Věstník MZ ČR

Indikační kritéria vydaná v roce 2003 doporučují typ zobrazovací modality, který lze využít pro diagnostikování konkrétního stavu pacienta. Zaobírají se indikacemi ke všem běžně používaným zobrazovacím modalitám a zobrazením celého těla. Kladou důraz na oprávněnost vyšetřování především u metod využívající ionizující záření z důvodu radiační ochrany. Užitečnost vyšetření je posuzována z několika hledisek. Pokud pozitivní nález z vyšetření neznamena ovlivnění léčebného postupu pacienta, vyšetření je považováno za zbytečné. Pokud již bylo vyšetření provedeno v jiném zařízení, měl by personál vyvinout úsilí k získání obrazové dokumentace a vyšetření neopakovat. Indikační kritéria dále kladou důraz na volbu vyšetřovací metody. Doporučují konzultovat daný problém s radiology pro volbu nejvhodnějšího vyšetření i modifikace vyšetřovacího protokolu. Kromě radiační zátěže je vhodné zvážit i cenu vyšetření. CT vyšetření je poměrně nákladné a radiační zátěž pro pacienta vysoká, proto je vhodné volit alternativní metody s nižší radiační zátěží nebo zcela bez expozice ionizujícím záření (RTG nebo MR). (Ministerstvo zdravotnictví ČR 2003)

Pro zobrazení mozku z akutní indikace je dle indikačních kritérií vhodnou vyšetřovací metodou CT. CT mozku je indikováno v případě podezření na cévní mozkovou příhodu (mrtvice) nebo akutně vzniklou bolest hlavy k průkazu nitrolebního krvácení. V případě úrazu indikační kritéria rozlišují nízké, střední, vysoké a velmi vysoké riziko výskytu nitrolební léze. CT mozku je rutinně indikováno v případě středního až velmi vysokého rizika. (Ministerstvo zdravotnictví ČR 2003)

Indikace k zobrazení krční páteře při traumatu zohledňuje klinický stav pacienta. Pacienty rozlišuje například průkaz bezvědomí, bolesti krční páteře nebo neurologická symptomatologie. V případech poranění hlavy se pro zobrazení krční

páteře indikuje prostý snímek. Ani ten však není indikován rutinně všem. Pacienti s průkazem bezvědomí, u kterých je stanoveno minimálně střední riziko nitrolební léze, jsou indikováni k RTG snímku krční páteře. Pacienti, kteří jsou při vědomí, po úrazu hlavy nebo obličeje, a kteří dále splňují podmínky bez neurologického deficitu a bolesti krční páteře ani na pohmat, nespĺňují dle indikačních kritérií indikace pro rutinní zobrazení. (Ministerstvo zdravotnictví ČR 2003)

Bolest krční páteře po úrazu je dle indikačních kritérií indikací k prostému snímku. Zhotovit snímky v celém rozsahu a kvalitě bývá v některých případech obtížné (nespolupráce pacienta obzvláště při zobrazení kaudální části krční páteře nebo speciálních projekcí transorální či přechodu krční a hrudní páteře). Jsou-li snímky nejednoznačné, pak lze využít CT. I v případě poranění krku s neurologickým deficitem je dle těchto indikačních kritérií v první řadě indikován prostý snímek. K zobrazení míchy a vazů je indikováno MR. (Ministerstvo zdravotnictví ČR 2003)

2.5 Porovnání CCR a NEXUS

Canadian C-Spine Rule dosáhla vyšší senzitivity i specifity než NEXUS kritéria. Doporučení CDRs zní: díky vyšší specifitě i senzitivě by měla být upřednostňována kritéria CCR. Pokud je pacient vyloučen z CCR (těhotenství, degenerativní onemocnění páteře nebo prodělaná operace krční páteře), měl by být posouzen NEXUS kritérii, která lze aplikovat na širší soubor pacientů. Díky zohlednění CCR by mělo být provedeno méně zbytečných zobrazovacích vyšetření. (Goergen et al. 2015)

Tabulka 2: Srovnání senzitivity a specifity CCR a NEXUS

	Canadian C-spine Rule	NEXUS
Senzitivita	100 %	99 %
Specifita	42,5 %	12,9 %

Zdroj: (Hoffman *et al.* 1998; Stiell 2001)

European Journal of Emergency Medicine vydal článek, ve kterém upozorňuje na kazuistiky tří pacientů, kteří by byli při použití NEXUS kritérií pro zobrazovací metody vyloučeni. Ve všech třech případech se jednalo pacientky vyššího věku (84, 87 a 76 let) se zlomeninou dens axis. Při hodnocení NEXUS kritérii nespádala ani jedna z pacientek do kategorie s potenciální frakturou. Všechny byly při plném

vědomí bez neurologického deficitu. CCR by u všech tří pacientek zobrazovací vyšetření doporučilo na základě věku a také z důvodu omezeného rotačního pohybu páteře, který byl zaznamenán u dvou ze tří těchto žen. V článku dále uvádějí, že NEXUS kritéria jsou v praxi rutinně používána, zatímco CCR jsou považována za složitá a v praxi hůře aplikovatelná. (Collins a McKenzie 2013)

3 Zobrazovací metody pro vyšetření kraniocervikální oblasti

Pro účely zobrazení mozku a lebečních kostí se nejvíce uplatňují metody výpočetní tomografie (CT) a magnetické rezonance (MR). U novorozenců lze využít i ultrazvuk (UZ) díky nesrostlé lebce, která jinak zamezuje šíření ultrazvukových vln. (Heřman 2014, str. 178)

Zobrazovací metody mají v diagnostice poranění krční páteře a míchy nezastupitelnou roli. Při podezření na trauma páteře je nutné rozlišit, zda se jedná o stabilní či nestabilní poranění. Stabilní zlomeniny nevyžadují chirurgickou léčbu, zatímco u nestabilních fraktur hrozí posun obratlů, komprese míchy nebo míšních kořenů (Seidl 2012, str. 315). K zobrazení páteře se v akutní diagnostice uplatňují nejvíce RTG a CT. Prosté snímky páteře jsou nejčastěji indikovány při akutních a chronických bolestech, úrazech, degenerativních změnách skeletu či funkčních poruchách (Heřman 2014, str. 201). Ze snímků je možné hodnotit osu páteře, tvar a strukturu obratlů, výšku obratlových těl a meziobratlových prostor a šířku páteřního kanálu (Heřman 2014, str. 205). Mezi hlavní indikace k CT krční páteře patří úrazy. Indikace k MR krční páteře se částečně překrývají s indikacemi k CT. MR poskytuje přesnější zobrazení degenerativních, nádorových a zánětlivých změn skeletu a úrazových změn měkkých tkání (Heřman 2014, str. 202). Z CT a MR obrazu lze dobře hodnotit osu páteře, denzitu (na CT) či intenzitu signálu (na MR) v jednotlivých částech páteře, tvar a výšku obratlů, výšku plotének, na MR i jejich výhřezy, šířku a zasahování okolních struktur do páteřního kanálu (na CT především těch kostěných, na MR zejména diskoligamentózních). Omezené hodnocení páteřního kanálu poskytuje i CT, na kterém lze spolehlivě hodnotit pozici kostěných struktur, který kanál vymezují. Obsah kanálu a stav míchy je možné detailně zobrazit pouze na MR vyšetření. Fyziologicky má mícha na MR homogenní intenzitu signálu, přičemž případné změny signálu se nejdříve projeví na STIR a T2-vážených sekvencích (Heřman 2014, str. 205).

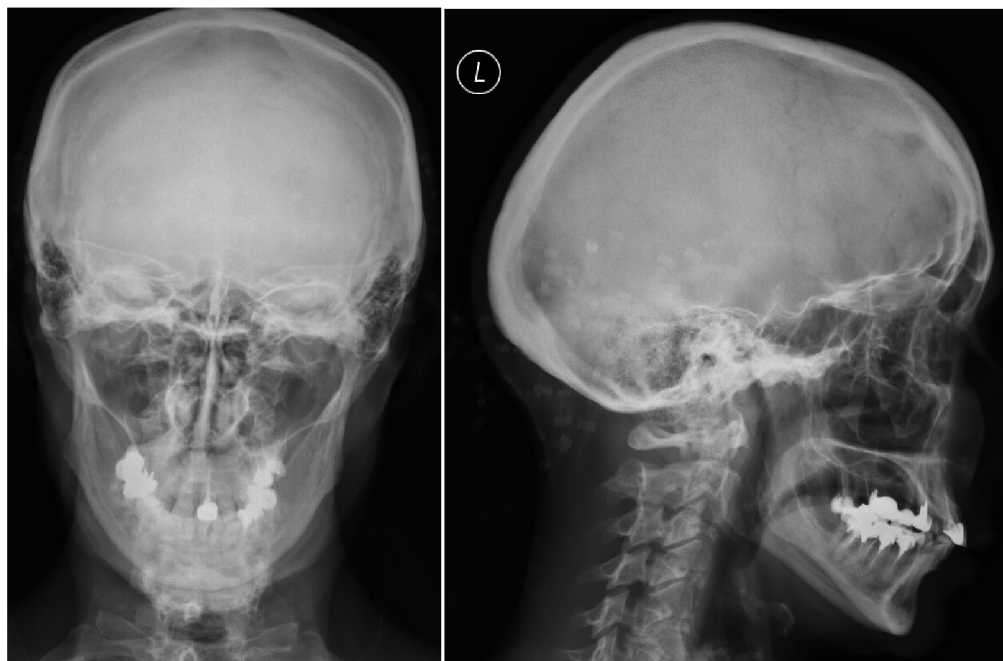
3.1 Prostá skiografie

Základem zobrazovacích metod jsou prosté rentgenové snímky (skiagramy). Provádějí se ve standardizovaných projekcích dle místních radiologických standardů

(MRS). MRS jsou vytvořeny pro každé pracoviště s ohledem na vybavení a možnosti konkrétního zdravotnického zařízení. Standardizované projekce se dělí na základní a speciální. Základní snímky bývají většinou dvě na sebe kolmé projekce z důvodu potlačení nevýhody prostého skiagramu – vlivu sumace. Speciální projekce doplňují ty základní. (Seidl 2012, str. 233)

3.1.1 Rentgenové zobrazovací metody kraniální oblasti

Prostý RTG snímek hlavy je při současných možnostech zobrazovacích metod využíván stále méně. Plně ho nahrazují metody CT, které umožňují kromě detailního zobrazení skeletu také zobrazení intrakraniálních struktur a jejich patologických procesů. Mnohé speciální projekce na oblast lebky (Stenversova projekce, Schillerova projekce, projekce na turecké sedlo či optický kanál) se dnes již prakticky nepoužívají (Seidl 2012, str. 233). Při podezření na trauma bez průkazu poškození nitrolebních struktur se prováděl skiagram lebky v základních projekcích (zadopřední (PA), boční). K zobrazení transparence paranazálních dutin se i dnes provádí poloaxiální projekce dle Waterse (Heřman 2014, str. 181).



Obrázek 3: Skiagram lebky v zadopřední (PA) projekci (vlevo), boční (vpravo).
Zdroj: PACS FN Brno

3.1.2 Rentgenové zobrazovací metody cervikální páteře

Diagnostický proces zobrazení krční páteře lze začít prostými RTG snímky v předozadní a boční projekci převážně vstoje. Pokud není pacient schopen stát

nebo existuje podezření na poranění páteře lze vyšetření provést vleže. Základní snímky lze doplnit speciálními projekcemi na kraniocervikální přechod (transorální projekce dle Sandberga), šikmými snímky pro zobrazení intervertebrálních foramin nebo funkčními snímky ve flexi a extenzi v boční projekci pro zobrazení pohyblivosti páteřních segmentů. (Nekula et al. 2005, str. 136; Seidl 2012, str. 233; Heřman 2014, st. 201)



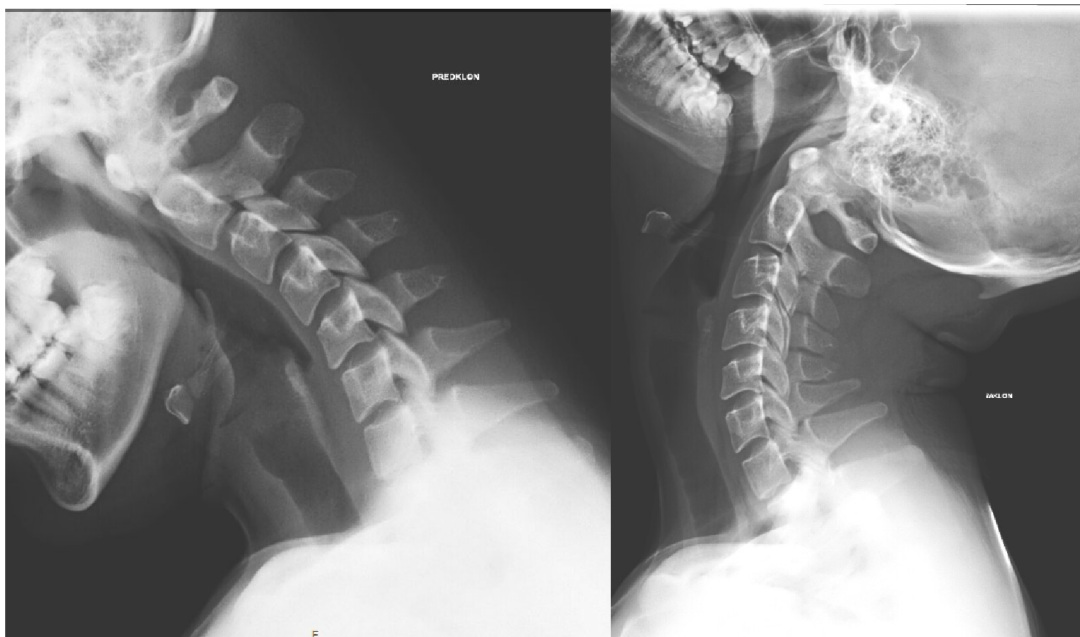
Obrázek 4: RTG snímky krční páteře v předozadní (vlevo) a boční projekci (vpravo).

Zdroj: PACS FN Brno

Limity RTG zobrazení krční páteře představuje spolupráce a habitus pacienta. Omezeně přehledná je zejména oblast cervikothorakální páteře při boční akvizici. Aby byla zachycena celá krční páteř v rozsahu od okcipitální kosti po první hrudní obratel, je nutná kaudální trakce horních končetin, pacient musí být při vědomí a musí být schopen spolupráce. V opačném případě může být dolní část krční páteře prakticky nehodnotitelná. Cíleně se provádí tzv. plavecká projekce pro zobrazení cervikothorakální oblasti, kdy se hlavice pažních kostí polohují mimo páteř. I k tomu je však nutná spolupráce a výsledek závisí na fyzických možnostech pacienta. (Tehranzadeh a Palmer 1996)



Obrázek 5: RTG snímek krční páteře v transorální projekci dle Sandberga (vlevo), boční projekce přechod krční a hrudní páteře (vpravo).
Zdroj: PACS FN Brno



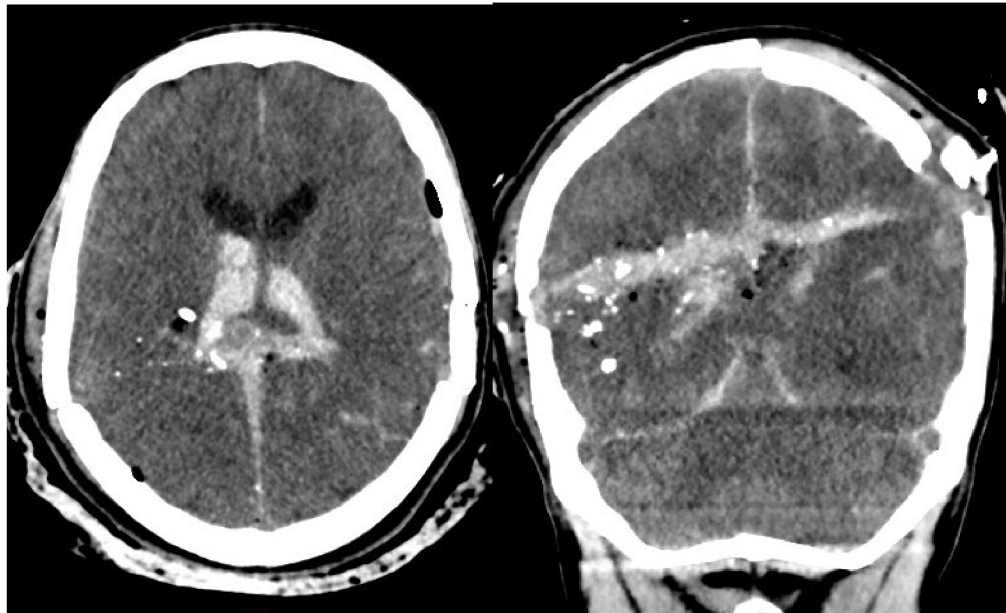
Obrázek 6: RTG snímky krční páteře v boční projekci ve flexi (předklon; vlevo) a extenzi (záklon; vpravo).
Zdroj: PACS FN Brno

3.2 Výpočetní tomografie

První zobrazovací modalitou, která v klinické praxi dokázala zobrazit mozkovou tkáň je výpočetní tomografie. CT odliší šedou a bílou hmotu mozku, zobrazí změny skeletu a odhalí i čerstvé nitrolební krvácení. Oproti MR představuje pro pacienta značnou radiční zátěž, výhodou je však jeho rychlost a dostupnost. MR má ale vzhledem k délce vyšetření a řadě kontraindikací v akutní diagnostice omezený význam. (Nekula et al. 2005, str. 125; Seidl 2012, str. 237)

3.2.1 CT zobrazení kraniální oblasti

Nativní CT mozku poskytuje informace o stavu mozkové tkáně, šíři komorového systému i o krvácení. Z CT obrazu lze vyčíst změny denzity tkání. Jako hyperdenzní se zobrazuje zejména čerstvé krvácení (subarachnoidální, epidurální, subdurální, intracerebrální), arteriovenózní malformace, aneurysmata a meningeomy. Výrazně hyperdenzní jsou kalcifikace. Hypodenzní oblasti jsou obvykle známkou nekrózy, kontuze nebo mozkového edému (Nekula et al. 2005, str. 126).



Obrázek 7: CT mozku v axiálním řezu v mozkovém okně (vlevo), koronární řez v mozkovém okně (vpravo). Zobrazeno střelné poranění hlavy, tříštivá fraktura lebky bilaterálně, subarachnoidální krvácení, epidurální hematoma, pneumocefalus, mozkový edém.

Zdroj: PACS FN Brno

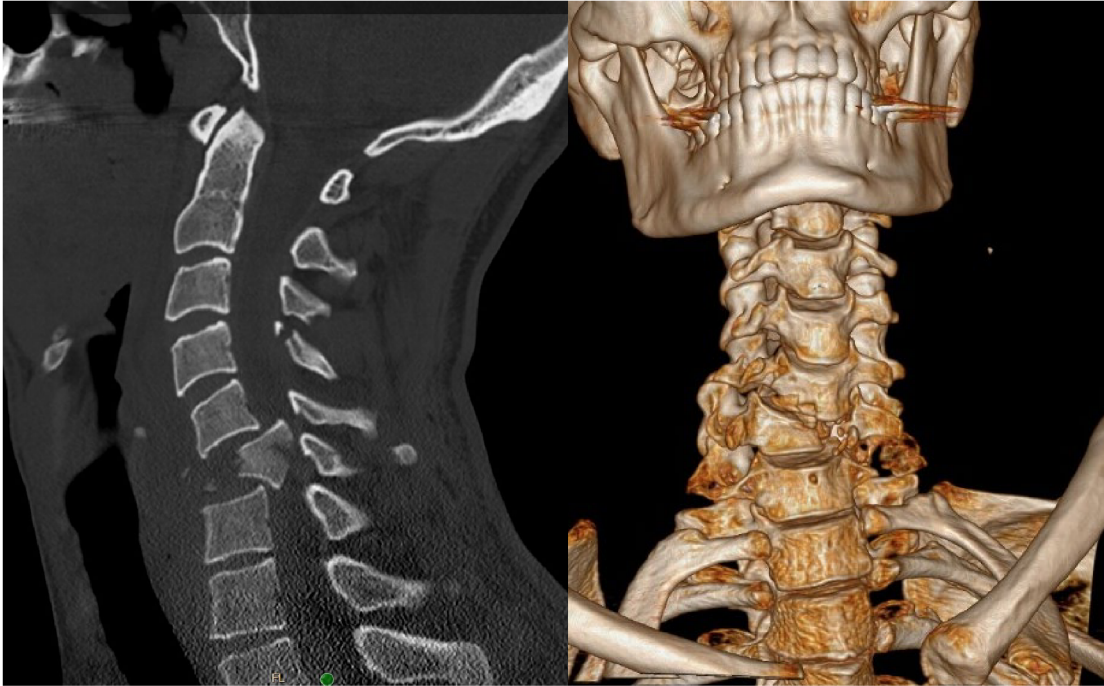
K zobrazení mozkových tepen lze využít i CT angiografii (CTA) s intravenózní aplikací kontrastní látky (KL). CTA se od klasické digitální subtrakční angiografie

(DSA) liší technikou vyšetření, indikacemi i radiální zátěží. CTA slouží pouze k diagnostice, zatímco DSA slouží také k získávání obrazové dokumentace v průběhu endovaskulárního intervenčního výkonu. CTA obvykle představuje výrazně nižší radiální zátěž pro pacienta než DSA a rozdíl je i v lepší dostupnosti. (Ferda et al. 2009, str. 209; Heřman 2014, str. 179; Ferda et al. 2015, str. 96)

3.2.2 CT zobrazení cervikální oblasti

V diagnostice poranění skeletu páteře a epidurálního prostoru má CT významnou roli. CT dokáže během několika sekund zobrazit celý úsek krční páteře včetně cervikothorakálního přechodu. Kvalita zobrazení není tolik závislá na spolupráci pacienta jako u prostých snímků a vyšetření lze tedy provést i u pacientů v bezvědomí. Díky vysoké denzitě kostěných struktur je skelet na CT dobře hodnotitelný bez intravenózní aplikace kontrastní látky. Hodnocení měkkých tkání a páteřního kanálu je na CT omezené (Ferda et al., 2015, str. 112). Výhodou CT oproti RTG je zobrazení oblasti okcipitálního kondylu, lépe přehledná je i oblast předního a zadního oblouku C1. K hodnocení typu fraktury dentu C2 je nejvhodnější sagitální multiplanární rekonstrukce (MPR)(Ferda et al. 2002, str. 605). Dnešní CT systémy umožňují 3D rekonstrukci pomocí tzv. "volume rendering" techniky (VRT). U VRT je vybranému intervalu denzit (např. kosti, cévy) přiřazen určitý barevný odstín a je tak umožněno prostorové znázornění (Ferda et al. 2009, str. 64). VRT je využívána zejména k zobrazení komplikovaných zlomenin a 3D rekonstrukci cév v rámci plánování terapeutického postupu.

Základní CT rovinou je axiální (transverzální) řez. Zobrazení v jiné rovině (sagitální, koronární) je záležitostí softwarového zpracování získaných dat a matematické rekonstrukce. Pro hodnocení fraktur obratlových těl je využívána zejména sagitální rovina (Nekula et al. 2005, str. 136; Ferda et al. 2015, str. 112). Kvalita výsledného zobrazení závisí na množství získaných dat, čím podrobnější zobrazení je pořízeno, tím kvalitnější a přesnější může být rekonstruovaná rovina (Seidl, 2012 str. 240). Současné CT přístroje umožňují při zhotovení submilimetrových řezů vytvoření multiplanární rekonstrukce v libovolné rovině bez ztráty kvality zobrazení, podmínkou je izotropie voxelu (prostorový element zobrazení), kterou lze ovlivnit zvoleným inkrementem.



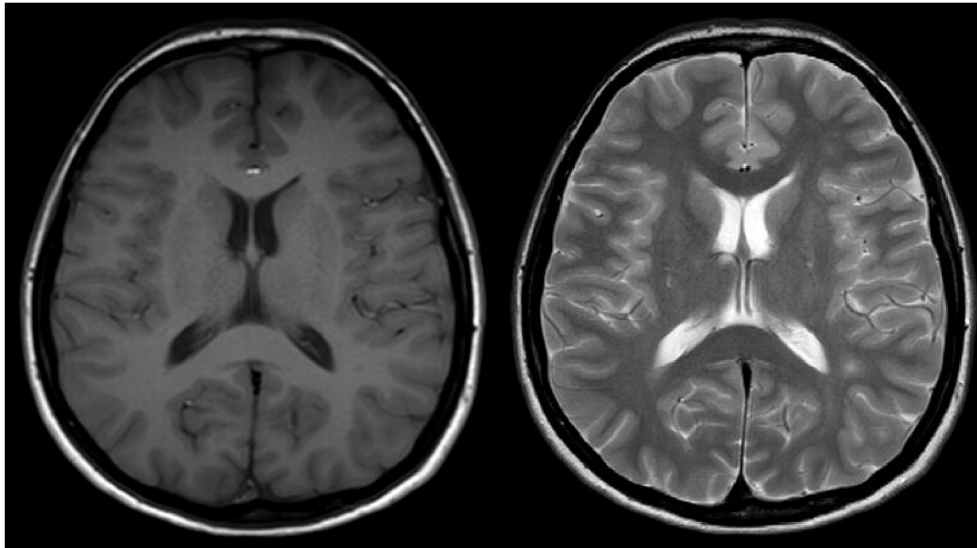
Obrázek 8: CT krční páteře v sagitální rovině, nativně, kostní okno (vlevo), 3D rekonstrukce VRT (vpravo). Zobrazena fraktura C6 s posunem obratlového těla do páteřního kanálu, okrajově zachycena i fraktura kraniální části artikulačního výběžku C4.
Zdroj: PACS FN Brno

3.3 Magnetická rezonance

Zobrazení pomocí magnetické rezonance se indikuje hlavně u neakutních stavů díky časové náročnosti vyšetření (desítky minut) a nižší dostupnosti oproti CT.

3.3.1 MR zobrazení kraniální oblasti

Zobrazení mozku pomocí MR je v akutních případech indikováno až druhořadě po CT. Nevýhodou je doba vyšetření trvající řádově minuty a horší detekce traumat skeletu lebky (Nekula et al. 2005, str. 126). MR dokáže s vysokou senzitivitou a specificitou zobrazit difuzní axonální poranění, u kterého může být nález na CT zcela negativní, lépe dokáže zobrazit i poranění oblasti mozkového kmene a šedé hmoty mozku (Provenzale 2007).



Obrázek 9: MR mozku transverzální rovina, T1 SE sekvence (vlevo), T2 TSE sekvence (vpravo).

Zdroj: PACS FN Brno

3.3.2 MR zobrazení cervikální oblasti

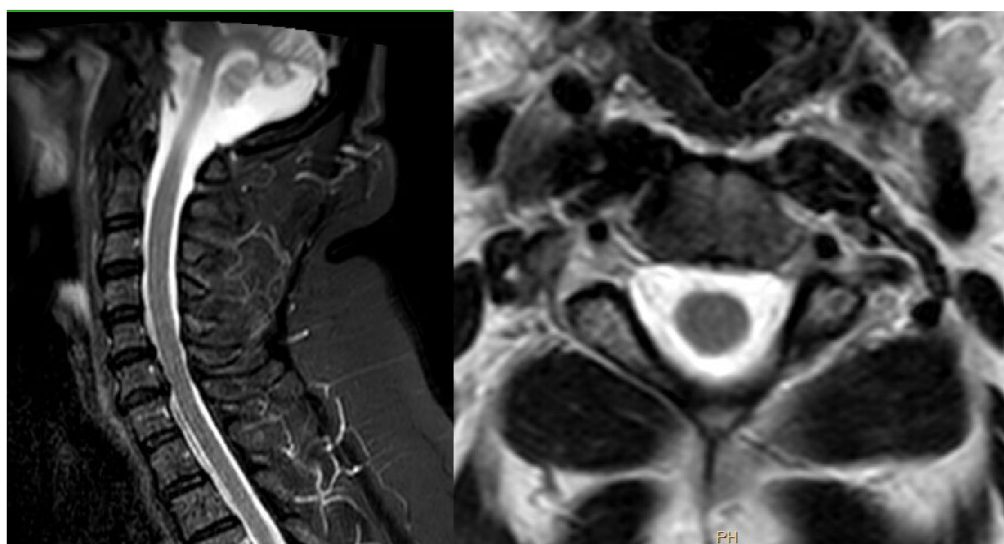
MR je metoda volby pro neinvazivní zobrazení míchy a struktur v páteřním kanálu. Výrazná skolioza páteře může limitovat optimální zobrazení. Výhody MR zobrazení spočívají ve vyšší senzitivitě a specifitě pro detekci diskoligamentózních poranění než u CT, možností volby libovolné roviny řezu a absenci ionizujícího záření. Nevýhodou je doba vyšetření, kontraindikace k vyšetření v magnetickém poli, dostupnost i vysoká cena vyšetření. (Nekula et al. 2005, str. 136; Heřman 2014, str. 204)

Pomocí MR zobrazujeme krční páteř v T1 a v T2 váženém obraze především v sagitální rovině. Na našem pracovišti při MR krční páteře rutinně provádíme sekvence T1 TSE (turbo spin echo), T2 TSE a STIR (short tau inversion recovery) v sagitální rovině a T2 TSE v transverzální rovině. U podezření na traumatické změny provádíme dále STIR v koronární rovině. MR dokáže na rozdíl od CT zobrazit kontuzi a laceraci míchy. MR metody se hodí převážně k hodnocení měkkých tkání (ruptury ligament a hematomy v páteřním kanálu). Podobně jako na CT, i na MR lze prokázat fraktury obratlových těl. V T2 váženém obraze lze rozeznat výrazné hypersignální oblasti způsobené edémem kostní dřeně, který doprovází trauma obratlů (Seidl 2012, str. 315; Ferda et al. 2015, str. 114). Indikací k MR je podezření na traumatické poranění míchy, vazů, traumatické výhřezy disků, či epidurální krvácení (Nekula a Chmelová 2007, str. 126; Ferda et al. 2015, str. 206).



Obrázek 10: MR krční páteře, sagitální rovina, T1 TSE sekvence (vlevo), T2 TSE sekvence (vpravo).

Zdroj: PACS FN Brno



Obrázek 11: MR krční páteře, STIR TSE sekvence v sagitální rovině (vlevo), T2 TSE sekvence v transverzální rovině (vpravo).

Zdroj: PACS FN Brno

3.4 Hodnocení senzitivity zobrazení krční páteře na RTG a CT

Senzitivita prostých snímků krční páteře k detekci fraktur či jiného poranění se pohybuje kolem 40 – 70 % (44 % pro pět projekcí (Diaz et al. 2003), 45 % pro tři projekce (Mathen et al. 2007), 53 % pouze pro boční projekci (Brohi et al. 2005), 67 % pro funkční zobrazení (Brown et al. 2005)). Šikmé snímky nezvyšují senzitivitu RTG pro detekci poranění v oblasti krční páteře při porovnání záchytu patologií ve třech a pěti projekcích (Freemyer et al. 1989).

V období před rozvojem CT do klinické praxe byla udávána senzitivita prostých snímků krční páteře v rozmezí 92 – 100 %, protože v podstatě neexistoval jiný způsob zobrazení, který by dokázal zobrazit drobnější poranění (Diaz et al. 2003). S rozvojem CT diagnostiky a technických možností CT přístroje, především využití sagitální MPR, se senzitivita skiagrafických snímků výrazně snížila zhruba na polovinu oproti původní hodnotě. Díky MPR poskytuje CT mnohem podrobnější zobrazení než pouze z axiální roviny řezu, v sagitální rovině lze lépe hodnotit jednotlivé linie páteře i výšku obratlových těl (Mathen et al. 2007). Senzitivita CT v diagnostice poranění krční páteře se uvádí v rozmezí 97 až 100 %. Studie, které porovnávají senzitivitu RTG pouze vůči CT, uvádějí většinou senzitivitu až 100 % (Mathen et al. 2007). Ve studiích, kde je zahrnuta i magnetická rezonance, se senzitivita CT pohybuje většinou těsně pod 100 % (97 % (Diaz et al. 2003), 98 % (Brohi et al. 2005), 99 % (Brown et al. 2005)).

Studie z roku 2005 porovnává senzitivitu boční RTG projekce krční páteře s CT vyšetřením. Srovnání obou modalit proběhlo na skupině pacientů s akutním tupým poraněním krční páteře, všichni pacienti byli v bezvědomí a zaintubováni. U 421 pacientů byla provedena boční projekce krční páteře s maximální kaudální trakcí horních končetin a CT vyšetření v rozsahu krční páteře. U 106 pacientů nebyl na RTG snímku zachycen první hrudní obratel (TH1) a u 36 ani poslední krční obratel (C7). RTG snímek odhalil 24 z 59 (39,3 %) poranění krční páteře (fraktura či subluxace) a 15 z 29 (51,7 %) nestabilních fraktur. Při porovnání s CT dosáhla boční RTG projekce pro detekci traumatu senzitivity 53 % a pro nestabilní fraktury 75 %. (Brohi et al. 2005)

Studie z roku 2003 porovnávala senzitivitu prostých snímků krční páteře v 5 projekcích (předozaďní, boční, transorální, snímek ve flexi a extenzi) s výpočetní tomografií. Cílem studie bylo stanovit senzitivitu 5 projekcí v diagnostice poranění krční páteře. Všem pacientům, kteří byli zahrnuti do studie (n=1006), byla provedena vyšetření oběma modalitami. Kohortu tvořili dospělí pacienti s tupým poraněním krční páteře. Nález na krční páteři (fraktura či subluxace) byl rozdělen podle segmentu do tří kategorií: okcipitální kondyly, první až třetí krční obratel (C1 – C3) a čtvrtý krční až první hrudní obratel (C4 – TH1). Výsledkem studie bylo stanovení senzitivity RTG snímků (5 projekcí) pro každou část krční páteře. Z celkového počtu 172 fraktur jich pomocí RTG nebylo detekováno 90 (52,3 %), na CT unikly 3 (1,7 %) fraktury.

V oblasti okcipitálních kondylů nebylo na RTG rozpoznáno 14 z 15 (93,3 %) fraktur, na CT 0 z 15 (0 %) fraktur. V oblasti C1-C3 bylo nalezeno 36 fraktur, z toho na RTG uniklo diagnostice 17 (47,2 %), na CT 0 (0 %). V oblasti C4 – TH1 bylo detekováno 121 fraktur, z toho na RTG uniklo 59 (48,8 %), na CT 3 (1,7 %). Fraktury, které nebyly rozeznány na CT, byly diagnostikovány pomocí MR, jednalo se o fraktury spinózních výběžků. Ve výsledku nebylo na RTG rozeznáno 17,2 % nestabilních fraktur, které vyžadovaly terapii halo fixací či chirurgickou stabilizací. Senzitivita RTG byla stanovena na 44 %, CT na 97,4 %. (Diaz et al. 2003)

Retrospektivní studie z roku 2005 se zaměřovala na význam CT zobrazení v diagnostice poranění celé páteře, kde je za primární zobrazovací modalitu považováno právě CT. Na vzorku 3537 pacientů s tupým poraněním páteře zkoumala senzitivitu CT zobrazení pro různé úseky páteře, krční, hrudní a bederní. Prosté funkční RTG snímky byly indikovány až po CT v případě podezření na ligamentózní poranění. V případě negativního nálezu na CT s přetrvávajícími problémy bylo indikováno MR. Studie uvádí senzitivitu CT pro diagnostiku oblasti krční páteře na 99 %. Jedna fraktura v této oblasti nebyla na CT zachycena, šlo o kompresivní frakturu krčního obratle, která nevyžadovala chirurgický zákrok, ani nebyla doprovázena neurologickými symptomy, a byla identifikována pomocí MR. Senzitivita prostých snímků ve dvou funkčních projekcích byla vyhodnocena na 67 %. (Brown et al. 2005)

Porovnáním diagnostického přínosu prostých snímků vůči CT krční páteře u tupého poranění se zabývala i prospektivní studie z roku 2007. 667 pacientů podstoupilo RTG krční páteře ve třech projekcích a CT v rozsahu od okcipitální kosti po první hrudní obratel. Do studie byli zahrnuti pacienti s podezřením na poranění, kteří splnili NEXUS kritéria pro zobrazovací vyšetření. CT odhalilo v 60 (9 %) případech poranění krční páteře (fraktura či subluxace), pouze 27 z nich bylo zároveň odhaleno i na RTG snímcích. 33 (55 %) případů poranění krční páteře z 60 vyšlo na RTG jako negativní. Přitom 15 z nich bylo diagnostikováno jako klinicky významný nález (který autoři studie definovali tak, že vyžaduje chirurgickou stabilizaci či dlouhodobou fixaci pomocí rigidního límce nebo halo). Skiografie dosáhla senzitivity 45 %, naproti tomu CT dosáhlo senzitivity 100 %. (Mathen et al. 2007)

3.5 CT nebo RTG, která modalita je vhodnou volbou?

V roce 2009 vydal Practice Management Guidelines Committee soubor doporučení pro diagnostiku poranění krční páteře. Publikace vychází z předchozích článků The Eastern Association for the Surgery of Trauma (EAST) a dalších 52 odborných článků (z let 1998 – 2007), které se věnují zobrazovacím metodám a diagnostice úrazů krční páteře. Na základě informací z předchozích studií byla stanovena doporučení dle EAST ohledně použití RTG a CT, případně zda je vůbec nutné použití zobrazovací modalita:

- Zobrazení krční páteře není nutné pro pacienty při vědomí, bez neurologického deficitu, bez jiného závažného poranění, bez bolesti nebo citlivosti krční páteře a bez omezení pohybu krční páteře.
- Pro všechny ostatní pacienty s bolestí nebo citlivostí krční páteře, s neurologickým deficitem, s poruchami vědomí nebo s jiným závažným poraněním, u kterých je možné předpokládat poranění krční páteře, je nutné zobrazovací vyšetření pomocí CT od okcipitální kosti po první hrudní obratel (TH1) s MPR ve třech rovinách. Prosté snímky krční páteře nepřispívají žádnou informací navíc, proto je zbytečné je provádět.
- U pacientů s neurologickým deficitem, který je přičítán úrazu na krční páteři, je vhodné doplnit MR.
- Pro pacienty bez neurologického deficitu při plném vědomí, bez nálezu na CT, kteří si stěžují na bolest krční páteře, je vhodné doplnit MR nebo funkční snímky krční páteře (flexi a extenzi).

Porovnání výsledků klinických studií, které srovnávaly záchyt poranění krční páteře na RTG a CT, vedlo k závěru, že senzitivita prostých snímků je příliš nízká, a CT se stalo primární volbou pro vyloučení tupého poranění krční páteře. Výhodou je i relativně nízká cena ve vztahu k výtěžnosti a krátký čas nutný k vyšetření. (Como et al. 2009)

Diagnostika poranění krční páteře u pacientů s kraniotraumatem mimo zobrazení páteře často zahrnuje i CT mozku. Pokud už pacient leží na CT vyšetřovací stole, je otázkou pouze pár minut navíc provést vyšetření i v rozsahu krční páteře. Samotné CT vyšetření kraniální oblasti trvá v průměru 11 min (5 –

30 min). Zobrazení krční páteře spolu s kraniální oblastí při jednom CT vyšetření trvá v průměru 12 min (3 – 35 min)(Daffner 2001). Dle této studie se jednalo o čas od zahájení CT vyšetření po zobrazení výsledku na monitoru a pokynu k ukončení vyšetření. Celkový čas, který pacient stráví na CT vyšetřovně, se odvíjí i od toho, jak snadno s ním lze manipulovat (z hlediska spolupráce pacienta, jeho zdravotního stavu, a množství zařízení k podpoře vitálních funkcí, které se přemísťují spolu s pacientem do gantry přístroje). Tyto faktory se ovšem promítají i do času stráveného na oddělení skiografie při pořizování RTG snímků.

American Roentgen Ray Society publikovala studii, která mapovala délku skiografických vyšetření při podezření na úraz krční páteře a množství opakovaných expozic při jejich pořízení. Soubor tvořil 100 pacientů, u kterých bylo provedeno 6 projekcí (anteroposteriorní, laterální, transorální, plavecká a obě šikmé). Vyšetření trvala od 5 do 46 min, v průměru 22 min. Pouze u 21 (21 %) pacientů nebylo nutné žádný snímek opakovat, ve většině případů (79 %) se opakovala minimálně jedna projekce. Nejčastěji opakovaným snímkem byla transorální atlantoaxiální projekce, která byla nejméně jednou opakována u 77 (77 %) pacientů. Plavecká projekce byla opakována minimálně jednou ve 41 (41 %) případech. (Daffner 2000) Ve studii nebyla hodnocena senzitivita RTG vyšetření, uvedeno bylo pouze to, že jedna fraktura těla pátého krčního obratle nebyla zřejmá ani z jedné projekce. Oblast cervikothorakálního přechodu páteře na RTG zobrazení bývá obtížně hodnotitelná i u spolupracujících pacientů. Přehlednost projekce především závisí na konstituci pacienta – množství svalové a tukové tkáně se výrazně podílí na degradaci kvality obrazu. Je tedy otázkou, zda je pro pacienta s podezřením na poranění krční páteře lepší volbou manipulace při pořizování rentgenových snímků, které mají nízkou senzitivitu i za optimálního provedení, nebo indikovat CT zobrazení s vyšší senzitivitou ale vyšší radiční zátěží.

4 Radiační zátěž z expozice ionizujícím zářením

Zobrazovací metody využívající ionizující záření zvyšují riziko výskytu pozdních stochastických účinků. Zejména u pacientů s vícečetným poraněním, kteří podstupují mnoho diagnostických i kontrolních vyšetření během léčby. Při překročení efektivní dávky 100 mSv způsobí lékařské ozáření vznik solidního tumoru nebo leukémie u 1 pacienta ze sta (Hui et al. 2009). Studie z pensylvánské univerzity uvádí, že během pobytu kriticky zraněného pacienta na jednotce intenzivní péče delšího než 30 dní, pacient podstoupí v průměru více než 70 rentgenových snímků, 7,8 CT scanů a 2,5 skiaskopických vyšetření s celkovou průměrnou efektivní dávkou 106 mSv na pacienta (Kim et al. 2004). Radiologické studie na jednu stranu umožňují odhalit život ohrožující stav pacienta, na druhou stranu však zvyšují výskyt stochastických účinků. Diagnostický přínos zobrazovacích metod i přesto však převyšuje rizika spojená s expozicí.

Ionizující záření při průchodu prostředím ztrácí energii, která se v něm absorbuje. Pokud záření po cestě interaguje se živou hmotou, mluvíme o biologických účincích, které se odehrávají dvěma mechanismy, přímo a nepřímo. Přímý mechanismus poškození živé hmoty probíhá samotnou reakcí záření s biologicky významnými makromolekulami, zejména s DNA (deoxyribonukleová kyselina). Pokud je energie ze záření předána jiným molekulám, nejčastěji molekulám vody, která tvoří značný podíl celkové živé hmoty i buněk, mluvíme o nepřímém mechanismu poškození. Dochází k radiolýze vody za vzniku radikálů, které dokáží vyvolat reakce i s jinak netečnými molekulami např. s DNA. Přímý mechanismus poškození je charakteristický pro záření s vysokým LET (linear energy transfer), nepřímý mechanismus je hlavní interakce pro záření s nízkým LET. Veličina LET popisuje ztrátu energie letící částice prostředím a předání této energie částicím daného prostředí na určité dráze letu. Fotony a nenabitě lehké částice vykazují nízké hodnoty LET, naopak těžké nabitě částice disponují vysokými hodnotami LET. (Súkupová 2018; Ulmann 2022)

4.1 Biologické účinky záření

Biologické projevy poškození buněk zářením se mohou objevit ihned v řádu hodin až dní, jde-li o časně účinky záření, nebo se projeví s dlouhou latencí, která může trvat i desítky let, pak jde o pozdní účinky ozáření. Poškození pohlavních

buněk mutacemi se nemusí projevit vůbec (Súkupová 2018). Biologické účinky lze dělit i z hlediska charakteristiky poškození, na projevy prahové či bezprahové, tedy deterministické či stochastické.

4.1.1 Deterministické účinky

Deterministické účinky nebo také tkáňové reakce nastávají při překročení prahové hodnoty dávky pro konkrétní tkáň. Každá expozice představuje poškození či smrt části buněčné populace ve tkáních. Každá tkáň má určitou prahovou hodnotu množství záření, které je schopna čelit bez vnějších projevů. Při dávce menší než prahová hodnota je část buněk sice usmrcena, ale zbytek tkáně je schopen kompenzovat funkce usmrcených buněk. Překročením prahové hodnoty nastává smrt buněk v takové míře, že okolní tkáň již kompenzace není schopna a poškození se projeví navenek. Další zvyšování míry expozice vede k většímu poškození až do té míry, kdy jsou usmrceny veškeré buňky ve tkáni. Deterministickým účinkům záření lze předcházet dodržováním limitů, a tak zabránit jejich vzniku. Následky lékařského ozáření v podobě deterministických účinků se v diagnostice prakticky neobjevují, mohou nastat pouze po komplikovaných intervenčních výkonech nebo jako následek radioterapie u onkologických pacientů. Také u intervenčních lékařů, kteří jsou dlouhodobě vystaveni záření, byl popsán výskyt deterministických účinků záření. (Súkupová 2018; SÚRO 2022)

Mezi deterministické projevy poškození zářením patří poškození kůže, katarakta, neplodnost, akutní syndrom z ozáření a poškození plodu u těhotných žen. Prahové dávky pro jednotlivé orgány či tkáně se velmi liší, řádově jde o desetiny až jednotky Gy, (kůže 2 Gy, katarakta od 0,5 až 2 Gy, akutní nemoc z ozáření 1 Gy) (Súkupová 2018; SÚJB 2022)

4.1.2 Stochastické účinky

Bezprahové účinky poškození zářením se označují jako stochastické. Vyskytují se s určitou pravděpodobností a nelze tedy říci, u koho se objeví, ale pouze s jakou pravděpodobností k nim může dojít. Se zvyšujícím se množstvím záření lineárně vzrůstá i pravděpodobnost jejich výskytu. Na závažnost projevů nemá míra expozice žádný vliv. Průchod záření buňkou a deoxyribonukleovou kyselinou (DNA) může vyvolat zlomy na vláknech DNA, jednovláknové (SSB) či dvouvláknové zlomy (DSB), poškození bází a další. (SÚRO 2022)

Absorbovaná dávka kolem 1 – 2 Gy vyvolá přibližně 1000 SSB a 40 DSB, přičemž více než 99,9 % je opraveno reparačními mechanismy buněk. Na nich se podílejí bílkoviny, protoonkogeny nebo tumor-supresorové geny (Súkupová, 2018). Proces reparace jednovláknových zlomů pobíhá syntézou druhého vlákna, u vícevláknového zlomu je oprava složitější (Ulmann 2022). Neopravené zlomy mohou vést k malignitám, ale také se nemusejí projevit vůbec. Záleží i na místě, ve kterém je DNA poškozeno.

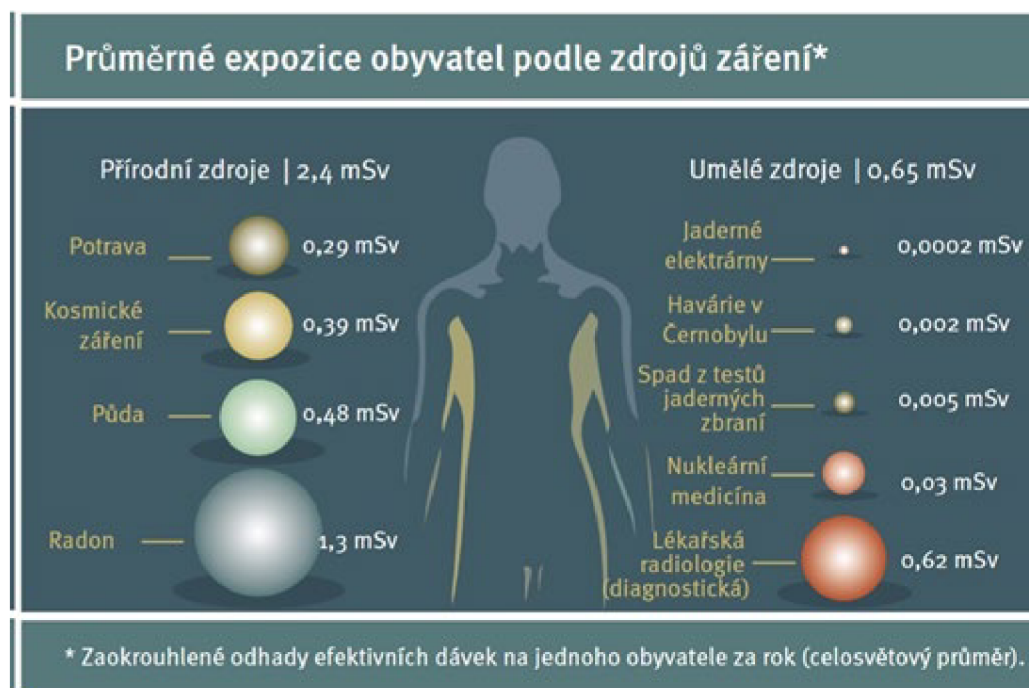
Pravděpodobnost výskytu stochastických účinků se znázorňuje pomocí lineárního bezprahového modelu. Díky tomu, že nemají stochastické účinky práh, nelze stanovit bezpečnostní limity, které by jim zamezily, lze ale minimalizovat riziko vzniku při dodržování bezpečnostních zásad a principu ALARA (As Low As Reasonably Achievable).

Mezi stochastické účinky patří rozvoj leukémie (s latencí 5 – 10 let), vznik solidních tumorů (latence 15 – 45 let) a genetické změny (Súkupová 2018). Radiosenzitivita tkání závisí na míře jejich proliferace, čím více se tkáně obnovují a dělí, tím jsou náchylnější k poškození. Koeficient vzniku fatální rakoviny závisí i na věku a pohlaví jedince. Pro mladší jedince je koeficient výrazně vyšší, zároveň je vyšší pro ženy než pro muže. Rozdíl mezi pohlavím je způsoben podstatně vyšší radiosenzitivitou prsní tkáně u žen. U dětí se uvádí, že jsou 3 až 4krát citlivější k účinkům záření než dospělí jedinci z důvodu růstu organismu, při kterém se buňky hojně dělí, a také mají větší pravděpodobnost, že se výskytu stochastických účinků v průběhu života dožijí. Průměrný koeficient rizika fatální rakoviny je dle ICRP (International Commission on Radiological Protection) stanoven na 5 % na 1 Sv. To znamená, že v populaci 100 lidí ozářené 1 Sv dojde k 5 úmrtím jako následek ozáření. (Valentin a International Commission on Radiological Protection 2007)

4.2 Lékařské ozáření

Lékařské ozáření tvoří podstatnou složku celkové expozice z umělých zdrojů. I přesto však ozáření z přírodních zdrojů zdaleka přesahuje zdroje umělé. Odhad celosvětového průměru efektivní dávky za jeden rok je stanoven zhruba na 3 mSv. Přírodní zdroje ionizujícího záření, kosmické záření a přírodní radionuklidy (především radon) se podílejí na většině z této hodnoty, odhadem až 2,4 mSv. Pro přírodní zdroje neexistují žádné limity vzhledem k tomu, že je nelze příliš ovlivnit.

Umělé zdroje se podílejí na celkové expozici v podstatně menším množství, odhadem asi 0,65 mSv. Pro umělé zdroje existují limity, které se snaží zamezit vzniku deterministických účinků a co nejvíce minimalizovat riziko vzniku stochastických účinků. Lékařské ozáření má dominantní postavení mezi zdroji umělého ozáření, podle SÚJB (Státní úřad pro jadernou bezpečnost) 0,62 z 0,65 mSv. Tato hodnota je však stanoveným průměrem a má omezenou výpovědní hodnotu. Lékařské ozáření není aplikováno na všechny pacienty rovnoměrně ale cíleně na ty, u kterých převyšuje diagnostický či terapeutický efekt záření možná rizika.



Obrázek 12: Celková expozice, odhad efektivní dávky
Zdroj: (SÚJB 2022)

Podle FBMI ČVUT (Fakulta biomedicínského inženýrství Českého vysokého učení technického) je největším zdrojem lékařského ozáření především radiodiagnostika, která tvoří až 70 % z celkového lékařského ozáření, ve 20 % se podílí na celkové efektivní dávce z lékařského ozáření radioterapie a 10 % připadá na nukleární medicínu (Freitinger Skalická et al. 2022).

4.3 Radiační ochrana aplikovaná v lékařském ozáření

S rozvojem moderních zobrazovacích metod stále stoupá množství provedených zobrazovacích vyšetření. Trendem moderních přístrojů je snižování

radiační zátěže pro pacienta, navzdory tomu celková efektivní dávka pro pacienty stále roste.

Principy radiální ochrany v lékařství: (Súkupová 2018)

- **Princip zdůvodnění:** expozice ionizujícím zářením přináší jistou újmu pro pacienta, která by měla být dostatečně vyvážena diagnostickým či terapeutickým benefitem plynoucím z vyšetření. Pokud lze diagnostické výtěžnosti z vyšetření dosáhnout i jinak bez použití zdroje ionizujícího záření, mělo by být přednostně použito vyšetření bez zdroje záření.
- **Princip optimalizace:** snaha o to, aby byl pacient ozářen co nejméně, ale zároveň tak, aby byl splněn účel ozáření. Neexponovat pacienta zářením ani více, ani méně než je nutné pro daný typ vyšetření či terapie, nižší expozice by vedla ke ztrátě kvality a informace z vyšetření a vyšší by nevedla ke zvýšení kvality a diagnostického přínosu, tzv. princip ALARA.
- **Princip limitování dávek:** lékařské ozáření nepodléhá limitům vůči pacientovi. Pokud je dodržen první princip zdůvodnění expozice ionizujícím zářením, pak je expozice aplikována v zájmu pacienta a stanovovat limity by bylo kontraproduktivní. Limity jsou ovšem stanoveny pro personál, který je záření vystaven, je vybaven dozimetry a podstupuje pravidelné lékařské prohlídky. V zájmu bezpečnosti pacienta a zajištění kvality vyšetření se stanovují diagnostické referenční úrovně, které odrážejí běžné pracovní postupy při aplikaci dávky záření či aktivity.
- **Princip bezpečnosti zdrojů:** všechny zdroje ionizujícího záření podléhají pravidelným kontrolám, aby se zajistila bezpečnost a kvalita zobrazení. Pravidelně se provádějí zkoušky dlouhodobé stability a zkoušky provozní stálosti dle nařízení SÚJB.

4.4 Druhy zobrazovacích modalit a radiální zátěž pro pacienta

Lékařské ozáření v diagnostice generuje různě vysoké dávky záření pro pacienta, které se odvíjejí od druhu použité zobrazovací modalit i na typu samotného vyšetření. Pro porovnání radiální zátěže z různých vyšetření a z různých modalit slouží veličina *Efektivní dávka E*. *Efektivní dávka E* je odvozená veličina z *Ekvivalentní dávky H_T*. *Efektivní i Ekvivalentní dávka* mají jednotku Sievert (Sv)

a jsou primárně odvozené z *Absorbované dávky* D s jednotkou Gray (Gy). Obě odvozené veličiny zohledňují druh záření, zatímco *Absorbovaná dávka* vyjadřuje pouze velikost energie, která je předána tělesu ze záření, ale nezohledňuje jeho druh ani působení na živou hmotu. (Súkupová 2018)

Ekvivalentní dávka je dána vztahem:

$$H_T = w_Q * D,$$

kde w_Q je *radiační váhový faktor*, který vyjadřuje radiobiologickou účinnost daného druhu záření. Rozdíl *radiačního váhového faktoru* pro různé částice je značný, například korpuskulární částice dosahují hodnoty pro protony 5 a neutrony až 20. *Radiační váhový faktor* pro fotonové záření je roven 1. (Súkupová 2018) Pro rentgenové i gama záření je tak hodnota *Absorbované dávky* rovna hodnotě *Ekvivalentní dávky*, rozdíl je ale v jednotce.

Ekvivalentní dávka vyjadřuje míru projevu deterministických účinků. Pro stanovení rizika vzniku stochastických účinků se zavedla veličina *Efektivní dávka* E . *Efektivní dávka* zohledňuje druh záření i druh ozářené tkáně a je definována jako suma jednotlivých *Ekvivalentních dávek* vážených *tkáňovým váhovým faktorem* w_T .

$$E = \sum_T w_T * H_T$$

Tkáňový váhový faktor vyjadřuje radiosenzitivitu konkrétní tkáně či orgánu. Je to bezrozměrné číslo, suma jednotlivých *tkáňových váhových faktorů* pro tkáně a orgány celého těla je rovna 1. (Súkupová 2018) Veličina *Efektivní dávka* umožňuje porovnávat riziko vzniku stochastických účinků způsobené různými druhy modalit, jak z RTG a CT vyšetření, tak i z aplikace radiofarmak v nukleární medicíně. Stejně tak umožňuje převody dávek ozáření části těla na celotělové.

Jak již bylo uvedeno výše, podíl na lékařském ozáření tvoří nejvíce radiodiagnostika. Skiagrafické výkony se podílejí malými dávkami ve srovnání s jinými modalitami, ale četností vyšetření jiné modalit výrazně převyšují. Kumulativní dávka ze skiografie tak tvoří největší podíl lékařského ozáření. *Efektivní dávka* z jednotlivých skiagramů se pohybuje v řádu desetin až setin mSv. Ročně se v ČR provede až 16 milionů RTG výkonů (údaj z roku 2013)(Súkupová 2018).

Do skiografie patří i dentální zobrazení, která patří mezi vyšetření s nejnižší dávkou. Skiaskopické výkony fungují na podobném principu jako statická skiografie, rozdílem je však dynamika zobrazení. Z tohoto důvodu je stanovení přesné hodnoty *Efektivní dávky* pro skiaskopické výkony vzhledem k povaze výkonů obtížné. Výpočetní tomografie patří mezi vysokodávkové zobrazovací modalitty. *Efektivní dávka* z jednotlivých vyšetření se pohybuje v řádu jednotek až desítek mSv. *Efektivní dávka* CT je ve srovnání se skiagrafií 50 – 1000krát vyšší. Například dávka z CT vyšetření hrudníku je téměř 200krát vyšší než ze skiagramu hrudníku. Dávka z CT krční páteře je zhruba 165x vyšší než z RTG krční páteře (Súkupová 2018). Nejvyšších *Efektivních dávek* dosahují intervenční výkony. Radiační zátěž z intervenčních výkonů je závislá na délce zákroku. Hodnoty dávek jednotlivých zákroků se pohybují mezi jednotkami až několika desítkami mSv. Běžně udávané hodnoty radiální zátěže z vyšetření na různých modalitách jsou shrnuty v následující tabulce:

Tabulka 3: Typické hodnoty Efektivních dávek pro různá vyšetření

Typ vyšetření	Typická Efektivní dávka [mSv]	Rozmezí udávané různými zdroji [mSv]
Skiografie zdroj: (Mettler <i>et al.</i> 2008)		
zadopřední projekce plic a srdce	0,02	0,007-0,050
lebka	0,1	0,03-0,22
krční páteř	0,2	0,07-0,3
hrudní páteř	1,0	0,6-1,4
bederní páteř	1,5	0,5-1,8
páneve	0,6	0,2-1,2
končetiny	0,001	0,0002-0,1
Dentální zobrazení zdroj: (Súkupová 2018)		
intraorální vyšetření	0,005	0,0002-0,010
panoramatické zobrazení	0,01	0,007-0,090
Mamografie zdroj: (Mettler <i>et al.</i> 2008)		
mamografický screening	0,4	0,10-0,60
Skiaskopie zdroj: (Súkupová 2018; Bushberg 2012)		
pasáž gastrointestinálním traktem	2,3	-

vylučovací uretrografie	1,6	0,7-3,7
endoskopická retrográdní cholangiopankreatikografie	4	2-8
Výpočetní tomografie zdroj: (Mettler et al. 2008)		
mozek	2	0,9-4
páteř	6	1,5-10
hrudník	7	4,0-18,0
pánev	6	3,3-10
virtuální kolonoskopie	10	4,0-13,2
Angiografie: zdroj: (Súkupová 2018)		
koronarografie	8,2	2-15,8
embolizace v břišní dutině	20-60	44-78
transjugulární portosystémový shunt	40-70	20-180

Významem rizika vzniku pozdních stochastických účinků se zabývala American Society of Radiologic Technologists (ASRT), která vytvořila koncept pravděpodobnosti výskytu rakoviny způsobené jednotlivými zobrazovacími modalitami u pacientů různého věku a pohlaví. V následující tabulce je uvedena pravděpodobnost výskytu rakoviny způsobené jedním vyšetřením RTG (efektivní dávka 0,2 mSv) a CT krční páteře (efektivní dávka 6 mSv) pro různé věkové skupiny a pohlaví. Pravděpodobnost je vyjádřena v procentních bodech a v počtu výskytů mezi jednotlivci:

Tabulka 4: Pravděpodobnost výskytu rakoviny způsobené zobrazovacím vyšetřením pro muže a ženy různých věkových skupin

RTG krční páteře (0,2 mSv)								
Věk	25	35	45	55	65	75	85	95
Pravděpodobnost pro muže (%)	0,002011	0,001528	0,001160	0,000881	0,000670	0,000509	0,000386	0,000293
1 muž z	49727	65445	86207	113507	149254	196464	259067	341297
Pravděpodobnost pro ženy (%)	0,003163	0,002251	0,001602	0,001141	0,000812	0,000578	0,000411	0,000293
1 žena z	31616	44425	62422	87642	123153	173010	243309	341297
CT krční páteře (6 mSv)								
Věk	25	35	45	55	65	75	85	95
Pravděpodobnost pro muže (%)	0,060340	0,045832	0,034813	0,026443	0,020085	0,015256	0,011588	0,008802
1 muž z	1657	2182	2872	3782	4979	6555	8630	11361
Pravděpodobnost pro ženy (%)	0,094886	0,067537	0,048071	0,034215	0,024354	0,017334	0,012338	0,008782
1 žena z	1054	1481	2080	2923	4106	5769	8105	11387

Zdroj: *American Society of Radiologic Technologists: X-Ray Risk* [online]. USA, 2018 [cit. 2022-04-05]. Dostupné z: xrayrisk.com/calculator

5 Praktická část

5.1 Cíle práce a hypotézy

Cílem této práce bylo zjistit, zda byl přítomen rozdíl v procentuální četnosti zachycených fraktur krční páteře u pacientů podstupujících CT hlavy a krční páteře ve srovnání s pacienty podstupujícími CT hlavy a RTG krční páteře. Další cílem byla identifikace rizikových faktorů spojených s frakturou krční páteře a posouzení míry radiační zátěže z vyšetření.

Byly stanoveny následující nulové a alternativní hypotézy:

H₀ č. 1: Procentuální četnost zachycených fraktur není signifikantně rozdílná mezi pacienty, kteří v roce 2019 podstoupili ve FN Brno CT hlavy a krční páteře a CT hlavy a RTG krční páteře.

H_a č. 1: Procentuální četnost zachycených fraktur je signifikantně rozdílná mezi pacienty, kteří v roce 2019 podstoupili ve FN Brno CT hlavy a krční páteře a CT hlavy a RTG krční páteře.

H₀ č. 2 : Z informací na žádance na CT hlavy a krční páteře a na základě nálezů na CT hlavy nelze vysledovat signifikantní rizikové faktory predikující nález fraktury na CT krční páteře.

H_a č. 2 : Z informací na žádance na CT hlavy a krční páteře a na základě nálezů na CT hlavy lze vysledovat signifikantní rizikové faktory predikující nález fraktury na CT krční páteře.

H₀ č. 3: Pacienti FN Brno v roce 2019, kteří podstoupili CT hlavy a krční páteře z důvodu akutního poranění neobdrželi signifikantně vyšší efektivní dávku než pacienti, kteří podstoupili CT hlavy a RTG krční páteře.

H_a č. 3: Pacienti FN Brno v roce 2019, kteří podstoupili CT hlavy a krční páteře z důvodu akutního poranění obdrželi signifikantně vyšší efektivní dávku než pacienti, kteří podstoupili CT hlavy a RTG krční páteře.

5.2 Metodologie výzkumu

Zvolený metodologický rámec práce je kvantitativní deskriptivní studie. Do výzkumu byli zařazeni všichni pacienti starší 18 let, kteří podstoupili zobrazovací

vyšetření (CT hlavy a krční páteře nebo CT hlavy a RTG krční páteře) ve Fakultní nemocnici Brno (FN Brno) na klinice Radiologie a Nukleární medicíny (KRNM) v kalendářním roce 2019 za účelem vyloučení čerstvého traumatu oblasti hlavy a krční páteře. Ze souboru byli vyřazeni pacienti podstupující speciální vyšetřovací protokol u diagnózy polytrauma, dále pacienti, u kterých bylo RTG či CT krční páteře provedeno z neakutní či kontrolní indikace, nebo z jiné indikace než k vyloučení čerstvého traumatu.

5.3 Sledované znaky u pacientů

Data pacientů byla po schválení FN Brno získána z radiologického informačního systému (eMED) a PACS (Picture Archiving and Communication System) FN Brno. U každého pacienta, který splnil kritéria stanovená pro výzkum práce, byl zaznamenán věk, pohlaví, indikace k vyšetření (mechanismus úrazu, neurologický deficit, informace o bezvědomí), nálezy vyšetření (nitrolební krvácení, fraktura kalvy či krční páteře), přítomnost či nepřítomnost krčního límce při vyšetření a informace o radiační zátěži z vyšetření.

5.4 Procentuální četnost zachycených fraktur na CT krční páteře a rizikové faktory predikující nálezy fraktury na CT krční páteře

Byla porovnána absolutní a relativní četnost fraktur krční a horní hrudní páteře ve skupině pacientů podstupující CT hlavy a krční páteře a CT hlavy a RTG krční páteře. Ve skupině s CT hlavy a krční páteře byly jednotlivé fraktury rozděleny dle etáží a dle typu. Dále byly fraktury rozděleny dle klinického významu. Za klinicky nevýznamné fraktury byly považovány zlomeniny spinózních a příčných výběžků, kompresivní frakturu obratlového těla se snížením o méně než 25 %, izolované avulze bez poranění vazů, zlomeninu dentu C2 typu I a zlomeniny osteofytů (Hoffman et al. 1998, 2000).

Ve skupině s CT hlavy a RTG krční páteře byla vypočítána pozitivní prediktivní hodnota RTG krční páteře k zachytu fraktury. Část pacientů (25 jedinců) podstoupilo RTG a poté i CT krční páteře. U těchto 25 pacientů bylo zjištěno z obrazové dokumentace, v kolika případech byl na bočné projekci zachycen celý rozsah krční páteře včetně prvního hrudního obratle.

U skupiny pacientů podstupující CT hlavy a krční páteře byly analyzovány následující rizikové faktory: pohlaví, věk nad 65 let, bezvědomí či porucha vědomí, mechanismus úrazu (autonehoda a skok do vody vs jiný mechanismus úrazu), parestezie či plegie podezřelá na asociaci s traumatem krční páteře, bolesti krční páteře, jiná neurologická symptomatologie (vertigo, bolesti hlavy, porucha vizu), přítomnost krčního límce, přítomnost nitrolebního krvácení na CT hlavy, přítomnost fraktury lebky na CT hlavy.

Data pacientů byla získána prostřednictvím informací uvedených na žádankách pro dané vyšetření. eMED neposkytuje úplná data pacientů, pouze informace uvedené na žádance.

Analýza měla za cíl odhalit přítomnost jednotlivých rizikových faktorů u pacientů s frakturou či bez. Přítomnost či nepřítomnost daného faktoru byla hodnocena na základě informací uvedených v žádance k vyšetření. Pokud informace o daném rizikovém faktoru chyběla, bylo předpokládáno, že faktor přítomen nebyl. Na základě výskytu jednotlivých faktorů byla stanovena jeho významnost. Na základě přítomnosti či nepřítomnosti rizikového faktoru u pacientů s frakturou či bez, byl stanoven poměr šancí (odds ratio) nálezu fraktury na CT. Dále byla vypočítána senzitivita, specifická, pozitivní a negativní prediktivní hodnota daného rizikového faktoru.

5.5 Riziko vzniku pozdních stochastických účinků

Riziko vzniku pozdních stochastických účinků vlivem expozice ionizujícího záření je vyjádřena pomocí veličiny efektivní dávka. Je to empirická veličina a stanovení její hodnoty je záležitostí "kvalifikovaného odhadu" s řadou nepřesností. (Ullman 2022) Informace o velikosti dávky záření z vyšetření je zaznamenávána a uvedena v protokolu o ozáření jako součást obrazové dokumentace. V případě RTG přístrojů bývá nejčastěji vyjádřena pomocí DAP (dose area product), což je dávkové množství, absorbovaná dávka násobená ozářenou plochou. Jednotka DAP je Gy*cm² nebo její násobky. Obdobou DAP u CT přístrojů je DLP (dose length product), absorbovaná dávka násobena délkou ozářené oblasti. Její jednotkou je mGy*cm.

Přepočet radiační zátěže z DAP či DLP na Efektivní dávku se provádí vynásobením hodnoty DAP či DLP koeficientem E_{DAP} či E_{DLP} pro příslušnou oblast,

kteřá byla ozářena. Koeficienty E_{DAP} a E_{DLP} jsou převodní koeficienty regionálně normalizované efektivní dávky odvozené z tkáňového váhového faktoru pro daný typ tkáně či orgánu s ohledem na hmotnost ozářeného objemu. Při výpočtu lze použít koeficient, který zohledňuje skutečnou hmotnost a výšku pacienta, nebo vycházejí z hodnot pro antropomorfní fantom. V této práci byl použit přepoččet pomocí koeficientů, které vycházejí z antropomorfního fantomu. Informace o hmotnosti a výšce pacienta nejsou součástí elektronické žádanky na našem pracovišti.

Přepoččet radiční zátěže z vyšetření na efektivní dávku byl realizován dle následujících dvou vztahů, přepoččet z CT vyšetření:

$$E[mSv] = DLP[mGy * cm] * E_{DLP}\left[\frac{mSv}{mGy * cm}\right]$$

Přepoččet z RTG vyšetření:

$$E[mSv] = DAP[mGy * cm^2] * E_{DAP}\left[\frac{mSv}{Gy * cm^2}\right]$$

Informace o dávce záření z CT vyšetření hlavy a krční páteře je uvedena v souhrnném protokolu o ozáření, výstupem je tedy jedna cifra s informací o ozáření celé oblasti hlavy a krku. K převodu na efektivní dávku bylo nutné použít převodní koeficient pro celou oblast hlavy a krku, byl použit online kalkulátor dostupný na webu (How Radiology works, 2022), který uvádí převodní koeficient pro oblast hlavy a krku jako $k = 0,0031 \text{ mSv/mGy*cm}$.

Informace o dávce záření byla zaznamenána zvláště pro CT vyšetření hlavy, kde byl stanoven obdobný postup jako v případě první skupiny, převodní koeficient byl použit ze stejného zdroje pro oblast hlavy $k = 0,0021 \text{ mSv/mGy*cm}$. Pro převod DAP pro krční páteř byly použity převodní koeficienty ze zdroje (DOSEWIZARD, 2019), který uvádí pro AP projekci $k = 0,19 \text{ mSv/Gy*cm}^2$, a pro boční $k = 0,12 \text{ mSv/Gy*cm}^2$.

5.6 Metodika RTG zobrazení

RTG krční páteře z akutní indikace vyloučení traumatu se na klinice KRNM FN Brno provádí standardně ve dvou projekcích (předozadní AP, a boční). Transorální či jiné projekce byly provedeny pouze v případě žádosti indikujícího lékaře. Pokud toho byl pacient schopen, bylo vyšetření provedeno vstoje, pokud to zdravotní stav

pacienta nedovoloval, vyšetření bylo provedeno vleže. Před vyšetřením nebyla nutná žádná speciální příprava pacienta. Nutné bylo odstranění kovových či jiných vysoce denzních předmětů ze zobrazované oblasti.

Relativní kontraindikací k vyšetření může být těhotenství. V takovém případě záleželo na uvážení indikujícího lékaře a pacientky, která v tomto případě musela s vyšetřením písemně souhlasit.

Vyšetření standardně prováděl radiologický asistent dle stanovených protokolů. Nastavení expozičních parametrů bylo součástí protokolů Místních radiologických standardů. Úprava expozičních parametrů byla možná, pokud to vyžadoval habitus pacienta či nestandardně provedené vyšetření.

Vyšetření bylo provedeno na dvou RTG přístrojích od firmy GE typu Definium 8000 a Discovery XR656 dle následujících protokolů:

5.6.1 RTG protokoly dle MRS FN Brno

Protokol obsahuje popis vyšetření včetně jeho rozsahu, polohy pacienta během vyšetření, centrace primárního svazku záření, velikost ozařovaného pole (field of view FOV), vzdálenost mezi zdrojem záření a detektorem (OF), použití protirozptylové mřížky, nastavení expozičních parametrů (napětí a elektrické množství) a použití expoziční automatiky AEC.

Předozadní projekce (anteroposteriorní AP)

FOV	OF	mřížka	ohnisko	kV	mAs	AEC
24x30	100	A	V	75	-	A
Zobrazení:	skelet a klouby krční páteře, C ₁ - C ₇					
Poloha pacienta:	<ul style="list-style-type: none"> - pacient leží, sedí či stojí zády k úložné desce - mediální rovina je kolmá na zobrazovací systém - hlava je v mírném záklonu, brada je zvednuta a mírně vytažena nahoru 					
Centrace:	Centrální paprsek kolmý na zobrazovací systém, míří na štítnou chrupavku. Cloníme přesně na oblast zájmu.					
Povel:	Nehýbat! Nedýchat! Nepolykat!					
Kritéria zobrazení:	<ul style="list-style-type: none"> - krční obratle jsou prokresleny v dlouhé ose zobrazení - musí být zachyceno všech sedm krčních obratlů včetně atlantookcipitálního skloubení a Th₁ obratle - meziobratlové prostory jsou zřetelně prokresleny, trnové výběžky se nachází ve střední rovině - denzita zobrazení je optimální 					

Poznámka:	Pro zobrazení horních krčních obratlů skloníme centrální paprsek 10° kraniálně, tím dojde k odprojikování dolní čelisti. Na žádost indikujícího lékaře lze provádět funkční snímky. Při kterých pacient provádí lateroflexi C páteře doleva a doprava.
------------------	---

Zdroj: MRS FN Brno

Boční laterolaterální projekce

FOV	OF	mřížka	ohnisko	kV	mAs	AEC
24x30	100	A	V	75	-	A
Zobrazení:	skelet a klouby krční páteře, C1 - C7					
Poloha pacienta:	<ul style="list-style-type: none"> - pacient sedí či stojí bokem k úložné desce - mediánní rovina je rovnoběžná se zobrazovacím systémem - hlava je mírně zakloněna, brada zvednuta a lehce vytažena, ramena tlačena co nejvíce dolů - pacientovi do rukou vkládáme závaží, které stáhne ramena a sníží tím jejich sumaci s páteří 					
Centrace:	Centrální paprsek kolmý na zobrazovací systém, míří na střed krku v oblasti štítné chrupavky. Cloníme přesně na oblast zájmu.					
Povel:	Nehýbat! Nedýchat! Nepolykat!					
Kritéria zobrazení:	<ul style="list-style-type: none"> - krční obratle jsou prokresleny v dlouhé ose zobrazení - musí být zachyceno všech sedm krčních obratlů včetně atlantookcipitálního skloubení a poloviny Th1 obratle - jednotlivé obratle prokresleny, meziobratlové prostory jsou rozprojikovány - denzita zobrazení je optimální 					
Poznámka:	Při nedostatečném zobrazení dolních obratlů dosnímkujeme C-Th přechod. Pokud zdravotní stav pacienta nedovoluje polohu vsedě či vestoje, provedeme boční projekci vleže na zádech horizontálním paprskem u vertigrafu. Hlava a ramena jsou podloženy.					

Zdroj: MRS FN Brno

Předozadní projekce, transorální, dle Sanberga, AO projekce, CC projekce

FOV	OF	mřížka	ohnisko	kV	mAs	AEC
13x18	100	A	V	75	-	A
Zobrazení:	C1 a C2, skelet a klouby krční páteře					
Poloha pacienta:	<ul style="list-style-type: none"> - pacient leží, sedí či stojí zády k úložné desce - krční páteř je v přesné AP projekci - ústa jsou maximálně otevřená, brada lehce přitažena k tělu - atlantookcipitální přechod musí být v superpozici s otevřenými ústy - spojnice horního řezáku a processus mastoideus je kolmá na zobrazovací systém 					
Centrace:	Centrální paprsek kolmý na zobrazovací systém, míří do středu otevřených úst. Cloníme přesně na oblast zájmu.					
Povel:	Nehýbat! Nedýchat! Nepolykat!					
Kritéria	- C1 a C2 obratle jsou prokresleny symetricky v dlouhé ose zobrazení					

zobrazení:	<ul style="list-style-type: none"> - musí být zobrazeny včetně atlantookcipitálního skloubení a C3 - C1 a C2 se projikují do otevřených úst - dens axis je zobrazen v celém rozsahu a nesmí být sumován se zuby - atlantookcipitální skloubení prokresleno - denzita zobrazení je optimální
-------------------	--

Zdroj: MRS FN Brno

Funkční zobrazení, laterolaterální - flexe, extenze

FOV	OF	mřížka	ohnisko	kV	mAs	AEC
24x30	100	A	V	75	-	A
Zobrazení:	funkční zobrazení C1 - C7					
Poloha pacienta:	<ul style="list-style-type: none"> - pacient stojí či sedí bokem k úložné desce - krční páteř je v přesné bočné projekci - hlava je maximálně předkloněna a poté maximálně zakloněna 					
Centrace:	Centrální paprsek kolmý a zobrazovací systém, míří na střed krku v oblasti štítné chrupavky. Cloníme přesně na oblast zájmu.					
Povel:	Nehýbat! Nedýchat! Nepolykat!					
Kritéria zobrazení:	<ul style="list-style-type: none"> - krční obratle jsou prokresleny v dlouhé ose zobrazení - musí být zachyceno všech sedm krčních obratlů včetně atlantookcipitálního skloubení a poloviny Th1 obratle - jednotlivé obratle prokresleny, meziobratlové prostory jsou rozprojikovány - denzita zobrazení je optimální 					
Poznámka:	Provádíme vždy funkční snímek jak v maximálním předklonu, tak v maximálním záklonu.					

Zdroj: MRS FN Brno

C/TH přechod - šikmá, laterolaterální, plavecká projekce

FOV	OF	mřížka	ohnisko	kV	mAs	AEC
24x30	100	A	V	80	-	A
Zobrazení:	C-Th přechod					
Poloha pacienta:	<ul style="list-style-type: none"> - pacient leží, sedí či stojí čelem k úložné desce - jedna horní končetina je vzpažena, druhá připažena (jako by plaval kraula) - z této polohy je vytočen tak, aby mediální rovina svírala se zobrazovacím systémem úhel 45° - hlava a trup jsou vytočeny totožně 					
Centrace:	Centrální paprsek kolmý na zobrazovací systém míří na střed spojnice horního okraje sternu a C7. Cloníme přesně na oblast zájmu.					
Povel:	Nehýbat! Nedýchat! Nepolykat!					
Kritéria zobrazení:	<ul style="list-style-type: none"> - C-Th přechod je prokreslen v dlouhé ose zobrazení - musí být zobrazen celý včetně C6 a Th3 - přechod nesmí být v superpozici s ramenním pletencem - denzita zobrazení je optimální 					

Zdroj: MRS FN Brno

5.7 Metodika CT vyšetření

CT vyšetření byla realizována podle Místních radiologických standardů. Každé vyšetření bylo provedeno dle stanoveného protokolu. Radiologický asistent poučil pacienta o průběhu vyšetření a uložil ho na vyšetřovací stůl do polohy dané protokolem. K CT vyšetření mozku a krční páteře nebyla nutná žádná speciální příprava, obě vyšetření se prováděla nativně bez aplikace kontrastní látky. Nejprve se pořizoval topogram, určil se rozsah vyšetření, směr skenování, typ náběru dat, tloušťka rekonstruované vrstvy, nastavily se parametry expozice a poté se realizovalo samotné vyšetření, po vyšetření se provedl postprocessing získaných dat s použitím daného algoritmu.

CT vyšetření bylo provedeno ve FN Brno na třech přístrojích dvou typů značky Philips. Jedním z nich je CT Brilliance 64 a druhým je IQon Spectral CT. Zde jsou uvedeny příklady protokolů:

5.7.1 CT protokoly dle MRS FN Brno

Protokol obsahuje popis vyšetření včetně jeho rozsahu, uložení pacienta, přípravy pacienta k vyšetření, směru skenování, centrace, tloušťky vrstvy, pitch faktoru (údaj pro helikální skenování, je to poměr posunu stolu na jednu rotaci rentgenky k celkové kolimaci), velikosti inkrementu (udává velikost posunu stolu mezi jednotlivými vrstvami), údaje o expozičních parametrech (napětí a elektrické množství), použitý rekonstrukční kernel (filtrace hrubých dat), použití iterativních rekonstrukcí.

5.7.2 CT protokol mozek nativ

helikálně	
základní strategie	nativ
příprava nemocného	nativ bez přípravy
uložení	vleže na zádech, hlava přichycena v držáku, brada přitažena
instrukce nemocnému	nehýbat se
směr skenování	kaudokraniální
centrace	na zevní zvukovody
rozsah vyšetření	baze lební – vrchol kalvy

tloušťka vrstvy	0,8 mm
inkrement	0,4
pitch faktor	0,452
kV	120
mAs	230
Filtr	UB standard
iDose	4
rekonstrukční algoritmus	AX, COR, KOST

Zdroj: MRS FN Brno

5.7.3 CT protokol krční páteř nativ

helikálně	
základní strategie	nativ
příprava nemocného	nativ bez přípravy
uložení	vleže na zádech
instrukce nemocnému	nehýbat se a nepolykat
směr skenování	kraniokaudální
centrace	jugulum
rozsah vyšetření	vždy meziobratlový prostor nad a pod požadovanou oblast se zobrazením neuro- foramina
tloušťka vrstvy	1,4 mm
inkrement	0,7
kolimace	64x0,625
pitch faktor	0,423 (pac. nad 90kg – 0,391)
kV	120 (pac. nad 90kg – 140)
mAs	150 (pac. nad 90kg – 225)
Filtr +adaptivní filtr	B
Dose Right	Z-DOM
iDose	5
rekonstrukční algoritmus	AX, COR, SAG, KOST, SOFT
dokumentace – šíře/střed okna	360/60 1800/600

Zdroj: MRS FN Brno

5.8 Statistické metody

Sumarizace kategoriálních proměnných byla provedena pomocí absolutních a relativních četností. Význam jednotlivých rizikových faktorů byl testován pomocí Coxova regresního modelu a u každého z rizikových faktorů bylo vypočítáno odds ratio (OR, poměr šancí) včetně jeho 95 % konfidenčního intervalu. Hladina významnosti byla testována pomocí Chí kvadrát testu či t-testu. U jednotlivých potenciálních rizikových faktorů fraktury na CT krční páteře byla dále stanovena senzitivita, specificita, pozitivní a negativní prediktivní hodnota. U RTG krční páteře byla stanovena pozitivní prediktivní hodnota. Jako hranice statistické významnosti byla určena hodnota $p = 0,05$.

6 Výsledky výzkumu

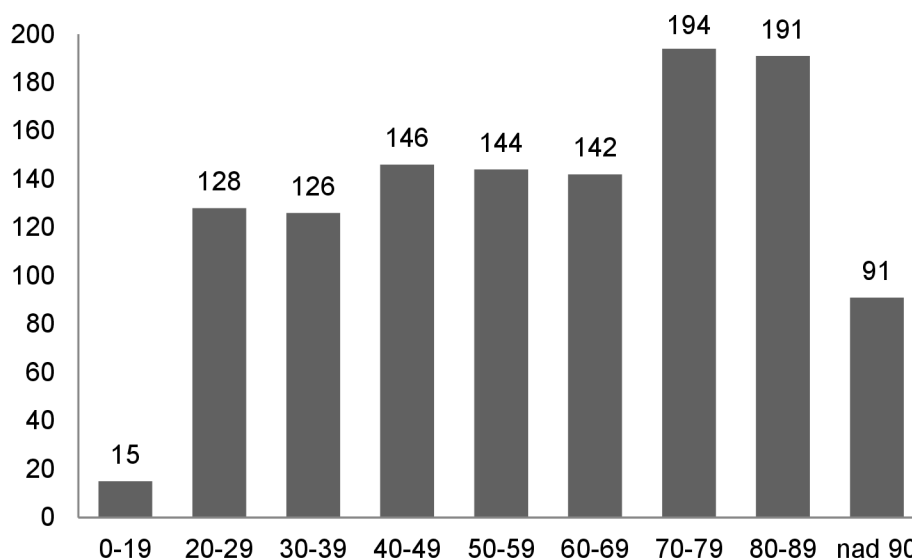
6.1 Základní charakteristika souboru pacientů

Do této retrospektivní studie bylo vybráno 1892 dospělých pacientů, kteří podstoupili zobrazovací vyšetření na klinice KRNM FN Brno z důvodu vyloučení čerstvého traumatu v oblasti hlavy a krční páteře v roce 2019. Vyřazení byli pacienti postupující CT v rámci polytrauma protokolu (n=384). Celkem bylo do studie zařazeno 1508 pacientů, kteří byli dle zvolené modality zobrazovacího vyšetření rozděleni na 2 skupiny. Jedna skupina absolvovala CT hlavy a krční páteře (n=1177; 42,5 % žen), druhá skupina CT hlavy a RTG krční páteře (n=331; 49,8 % žen), $p=0,016$. V případě podezřelého nebo nejasného nálezu na RTG krční páteře bylo u pacientů druhé skupiny doplněno CT krční páteře, na kterém byla fraktura potvrzena či vyloučena. Většina pacientů byla odeslána k vyšetření z ambulance traumatologie, urgentního příjmu či nízkoprahového urgentního příjmu.

6.1.1 Skupina CT hlavy a krční páteře

Do první skupiny pacientů, kterým bylo provedeno CT vyšetření mozku a krční páteře, patří 1177 pacientů. Tito pacienti splnili kritérium pro zařazení do výzkumu a podstoupili akutní CT mozku a CT krční páteře během jednoho vyšetření nebo jako dvě samostatná vyšetření během 24 hodin za účelem vyloučení čerstvého traumatu. Skupinu tvořilo 677 (57,5 %) mužů a 500 (42,5 %) žen.

Věkové rozmezí pacientů bylo mezi 18 až 101 lety s průměrnou hodnotou věku 59,7 let. Nejpočetnější věkovou kategorií tvořili pacienti v rozmezí 70 – 79 let v počtu 194 (16,4 %) jedinců viz následující graf:



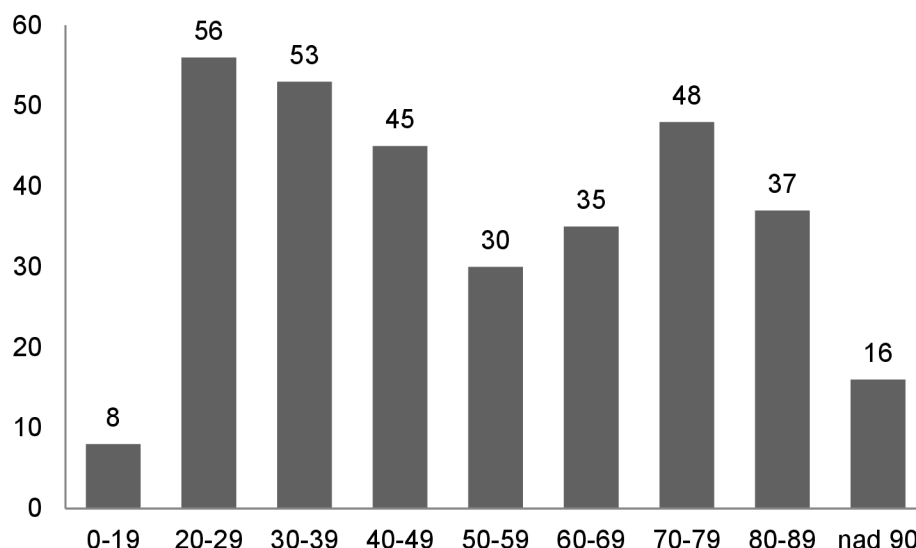
Obrázek 13: Zastoupení věkových kategorií pacientů Skupiny CT hlavy + krční páteř

Všem pacientům bylo indikováno nativní CT mozku v rozsahu od neurokrania po vertex. CT krční páteře bylo provedeno buď standardně v rozsahu krční páteře u 947 pacientů (80,5 %), nebo dle individuálního požadavku na cervikothorakální přechod páteře u 226 (19,5 %) pacientů, u 16 pacientů bylo součástí CT vyšetření zobrazení i jiné části těla (hrudník, bederní páteř).

6.1.2 Skupina CT hlavy a RTG krční páteře

Druhá skupina pacientů byla tvořena 331 jedinci, všem bylo provedeno akutní CT mozku a RTG krční páteře z důvodu vyloučení čerstvého traumatu. Mezi nimi bylo 166 (50,2 %) mužů a 165 (49,8 %) žen ve věku od 18 do 98 let s průměrnou hodnotou věku 52,5 let.

Nejvíce pacientů v počtu 56 (16,9 %) bylo ve věku 20 – 29 let, viz následující graf. Všem pacientům bylo provedeno nativní CT vyšetření mozku ve standardním rozsahu od neurokrania po vertex, s MPR, v mozkovém a kostním okně. Skiagrafické RTG vyšetření krční páteře bylo provedeno minimálně ve dvou standardních projekcích AP a boční nebo v kombinaci s dalšími projekcemi (transorální, cervikothorakální přechod nebo snímky dalších částí těla).



Obrázek 14: Zastoupení věkových kategorií pacientů Skupiny CT hlavy + RTG krční páteř

6.2 Přehlednost prosté skiografie

U 25 pacientů z 331 následovalo po RTG krční páteře i CT vyšetření krční páteře v návaznosti na akutní trauma. V některých případech šlo o potvrzení nálezu na skiagrafu, v některých případech z toho důvodu, že nebyla oblast krční páteře na bočním snímku přehledná. V následující tabulce je shrnuto, po který obratel včetně byly snímky přehledné.

Tabulka 5: Rozsah zobrazeného úseku krční páteře na boční projekci

Zobrazeno včetně	Počet pacientů
c3	1
c4	2
c5	5
c6	2
c7	11
th1	4

Z 25 RTG vyšetření, po kterých následovalo CT zobrazení krční páteře, byla krční páteř pouze ve 4 případech (16 %) zobrazena celá včetně prvního hrudního obratle. V jednom případě byla páteř přehledná pouze do třetího krčního obratle.

6.3 Procentuální četnost zachycených fraktur

6.3.1 Skupina CT hlavy a krční páteře

V případě skupiny CT hlavy + krční páteř byl popsán u 51 pacientů z 1177 (4,3 %) záchyt čerstvé fraktury v oblasti krční či horní hrudní páteře. Ve 40 případech (3,4 %) byla popsána fraktura v oblasti krční páteře po první hrudní obratel, v 10 případech (0,9 %) šlo pouze o hrudní oblast (od TH2 po TH5) a u jednoho pacienta (0,09 %) byly popsány fraktury v oblasti krční i hrudní páteře (C5-C6 a TH3-TH4).

Tabulka 6: Výčet fraktur ve skupině CT hlava a krční páteř

Oblast fraktury	počet jedinců	obratel	počet jedinců
C1-C3	13	C1	2
		C2	6
		C3	2
		C1 a C2	3
C4-TH1	25	C4	4
		C5	5
		C6	3
		C7	2
		C5 a C6	2
		C6 a C7	4
		C7 a TH1	4
kombinace	3	C1, C4 a C7	1
		C2 a C7	1
		C5, C6, TH3 a TH4	1
od TH2	10	TH2 - TH5	10

Celkem bylo popsáno u 51 pacientů 78 fraktur, corpus vertebrae (21), dens axis (9), arcus atlantis (9), processus spinosus (10), processus transversus (5), processus articulares (7), facies intervertebralis (8), arcus vertebrae (4) a fraktury osteofytů (5). Ve dvou případech bylo popsáno rozšíření meziobratlového prostoru.

Tabulka 7: Záchyt patologií v oblasti páteře

Patologické nálezy v oblasti páteře		Počet jedinců
Fraktury	Corpus vertebrae	21
	Dens axis	9
	Arcus atlantis anterior a posterior	9
	Processus transversus	5
	Arcus vertebrae	4
	Processus spinosus	10
	Spondylofyt, osteofyt	5
	Processus articulares	7
	Facies intervertebralis	8
Rozšíření meziobratlového prostoru		2

Z celkového počtu pacientů s frakturou, kterých bylo 51, podle Hoffmanova kritéria pro klinicky významné a nevýznamné fraktury, bylo 29 klinicky nevýznamných a 22 klinicky významných, z nichž u 9 osob následovala chirurgická stabilizace (Hoffman et al. 1998, 2000).

6.3.2 Skupina CT hlavy a RTG krční páteře

U 7 pacientů (2,1 %) z 331 byla popsána na RTG krční páteře suspektní fraktura či abrupce (klasifikována jako pozitivní). U 4 z těchto 7 pacientů byl nález na CT negativní (klasifikováni jako falešně pozitivní). U jednoho pacienta nebyla fraktura vyloučena ani na CT v terénu degenerativních změn. U zbylých dvou byla prokázána abrupce spondylofytu a fraktura dentu (klasifikováni jako správně pozitivní).

U dalších tří pacientů (0,9 %) byl nález na RTG bez traumatických změn, na CT však byla ve dvou případech prokázána fraktura, v jednom případě suspektní abrupce. CT prokázalo u jednoho pacienta frakturu obratlového těla TH5, fraktura ležela mimo oblast krční páteře zobrazenou na RTG, proto ani nemohla být snímkem prokázána, pacient tak byl zařazen mezi správně negativní. CT prokázalo v jednom případě frakturu dens axis, který měl v nálezů na RTG vyslovenou diskrétní stranovou asymetrii mezi C1 a C2, ale vyšetření bylo uzavřeno jako bez jednoznačných traumatických změn, tento pacient byl zařazen mezi falešně

negativní. U jednoho pacienta byla na CT prokázána abruptce horní krycí plochy TH1, na RTG bez nálezu, pacient byl rovněž zařazen mezi falešně negativní. Ve všech případech se pozitivní nálezy obešly bez chirurgického zákroku, pacientům byla naordinována konzervativní terapie.

Skiografie krční páteře neprokázala traumatické změny u 323 pacientů, tito pacienti byli započítáni jako negativní.

Tabulka 8: Správnost záchytu fraktur na RTG krční páteře

Počet pacientů		331
Počet pozitivních záchytů		7
	Počet správně pozitivních	3
	Počet falešně pozitivních	4
Počet negativních nálezů		323
	Počet správně negativních	321*
	Počet falešně negativních	2*

* skutečný počet správně i falešně negativních nálezů nebylo možné vypočítat z důvodu absence konfirmační metody

Vzhledem k absenci kontrolního CT po negativním RTG krční páteře nebylo možné spočítat skutečnou senzitivitu, specificitu ani negativního prediktivní hodnotu RTG krční páteře k detekci akutních traumatických změn. Bylo však možné provést výpočet pozitivní prediktivní hodnoty (PPV), která byla stanovena podle následujícího vzorce, kde TP je počet správně pozitivních, a FP je počet falešně pozitivních:

$$PPV_{RTG} = \frac{TP}{(TP + FP)} = 42,8\%$$

Procentuální četnost zachycených fraktur byla v první skupině CT hlavy a krční páteře 4,3 % (51 fraktur z 1177 vyšetření), ve druhé skupině CT hlavy + RTG krční páteře bylo správně pozitivně zachyceno 0,9 % (3 fraktury z 331 vyšetření) fraktur, $p = 0.003$. Procentuální četnost zachycených fraktur byla tedy ve skupině podstupující CT hlavy a krční páteře signifikantně častější než ve skupině podstupující CT hlavy a RTG krční páteře. Nulovou hypotézu tak zamítáme ve prospěch alternativní hypotézy.

6.4 Rizikové faktory predikující nález fraktury krční páteře na CT

Jako statisticky významné rizikové faktory fraktury krční páteře byly identifikovány mechanismus úrazu v podobně autonehody nebo skoku do vody (15 fraktur z celkem 175 pacientů; OR 2,52; $p = 0,004$), bolest v oblasti krční páteře (26 fraktur z celkem 255 pacientů; OR 1,81; $p < 0,001$), parestezie či plegie pravděpodobně související s úrazem (6 fraktur z 57 pacientů; OR 2,81; $p = 0,024$) a přítomnost krčního límce na CT vyšetření (32 fraktur z 262 pacientů; OR 7,22; $p < 0,001$). Ostatní sledované rizikové faktory nebyly statisticky významné.

Z informací na žádance na CT hlavy a krku a z nálezů CT hlavy bylo tedy možné identifikovat signifikantní faktory predikující výskyt fraktury krční páteře. Nulová hypotéza byla tedy zamítnuta ve prospěch alternativní hypotézy.

Mezi faktory s nejvyšší senzitivitou patřila přítomnost krčního límce na CT (65 %), bolest v oblasti krční páteře (54 %) a věk nad 65 let (51 %). U ostatních sledovaných rizikových faktorů byla senzitivita menší než 50 %.

Nejvyšší specifitu měla přítomnost parestezií či plegií (95 %), které mohly souviset s akutním úrazem krční páteře. I ostatní sledované faktory vyjma věku nad 65 let a pohlaví dosahovaly velmi vysoké specifity (79 – 92 %).

Všechny sledované faktory dosahovaly velmi nízké pozitivní prediktivní hodnoty. Pozitivní prediktivní hodnota vyšší než 10 % byla pouze u přítomnosti krčního límce (13 %), parestezií či plegií a bolesti krční páteře (obě 11 %). Dále se k deseti procentům alespoň blížil mechanismus úrazu v podobně autonehody či skoku do vody (9 %). Všechny sledované faktory dosahovaly velmi vysoké negativní prediktivní hodnoty (95 % a více).

V následujících tabulkách (tabulka 9 a 10) je uvedena četnost jednotlivých rizikových faktorů a jejich významnost.

Tabulka 9: Výskyt rizikových faktorů

Sledovaný znak	Počet pacientů	Počet fraktur na CT
Poruchy vědomí		
Porucha vědomí	204	6
Bez poruchy vědomí	899	42
Nejasné	76	3

Přítomnost krčního límce		
Límeč	262	32
Bez límce	917	19
Mechanismus úrazu		
Pád	815	29
Dopravní nehoda	172	12
Rána do hlavy	62	7
Obecně úraz	67	3
Skok do vody	3	3
Neurologická symptomatologie		
Neurologický deficit	321	15
z toho parestezie/plegie	57	6
Neurologie v normě	835	35
Pacienti s bolestí krku		
Bolest	255	26
Bez	896	24
Nelze určit	28	1
Věková hranice 65 let		
Méně než 65	618	24
65 a více	559	27
Intrakraniální krvácení na CT hlavy		
Intrakraniální krvácení	96	5
Bez krvácení	1081	46
Fraktura v oblasti lebky na CT hlavy		
Fraktura v oblasti kalvy	156	6
Fraktura nosních kůstek	66	3
Bez fraktury na lebce	1026	45
Fraktura obličejového skeletu	38	3

Tabulka 10: Významnost jednotlivých rizikových faktorů

	poměr šancí (OR)	OR 95% interval spolehlivosti	senzitivita RF	specifická RF	PPV RF	NPV RF	p-hodnota
ženy	0,67	0,37; 1,21	33%	57%	3%	95%	0,179
věk nad 65	1,16	0,66; 2,03	51%	53%	5%	96%	0,610
autonehoda či skok do vody	2,52	1,35; 4,70	29%	86%	9%	96%	0,004
porucha vědomí	0,75	0,33; 1,69	14%	83%	3%	95%	0,488
parestezie či plegie	2,81	1,15; 6,89	12%	95%	11%	96%	0,024
bolest krční páteře	1,81	1,30; 2,50	54%	79%	11%	97%	<0,001
jiná neurologická symptomatologie (vertigo, bolest hlavy, porucha vizu)	0,61	0,22	8%	88%	3%	95%	0,357
krční límec	7,22	3,99	65%	80%	13%	98%	<0,001
fraktura lebky na CT	0,87	0,37	12%	87%	4%	96%	0,762
krvácení do mozku na CT	1,50	0,62	12%	92%	6%	96%	0,368

6.5 Riziko vzniku pozdních stochastických účinků

Průměrná hodnota efektivní dávky z CT hlavy a krční páteře byla 3,52 mSv, průměrná hodnota efektivní dávky z CT hlavy a RTG krční páteře byla 1,65 mSv, $p < 0,001$. Nulová hypotéza byla zamítnuta ve prospěch alternativní hypotézy. Výsledky jsou shrnuty v tabulce 11.

Tabulka 11: Hodnoty efektivní dávky [mSv] z vyšetření

	Výsledky skupiny CT hlavy a RTG krční páteře				Výsledky skupiny CT hlavy a krční páteře
	CT hlavy	AP krční páteře	boční krční páteře	CT + RTG	
Průměrná hodnota efektivní dávky	1,40	0,17	0,08	1,65	3,52
Směrodatná odchylka	0,16	0,13	0,07	0,25	0,52
Maximální hodnota	2,33	1,11	0,83	2,84	9,55
Minimální hodnota	0,82	0,03	0,01	1,01	1,13
Medián	1,36	0,12	0,07	1,59	3,42

7 Diskuze

Cílem práce bylo zjistit, zda byl přítomen rozdíl v procentuální četnosti zachycených fraktur krční páteře u pacientů, kteří byli podrobena diagnostice krční páteře z akutní indikace při diagnóze kraniotraumatu, ve srovnání dvou diagnostických postupů, a to CT hlavy a krční páteře a CT hlavy a RTG krční páteře. Dalším cílem byla identifikace rizikových faktorů spojených s frakturou krční páteře a posouzení míry radiační zátěže z obou diagnostických postupů vyšetření.

Výzkum proběhl retrospektivní metodou, kdy byla použita data pacientů, kteří podstoupili zobrazovací vyšetření na KRNM ve FN Brno v kalendářním roce 2019. Do výzkumu byli zahrnuti všichni pacienti s kraniotraumatem, kteří byli odesláni ke zobrazovacímu vyšetření této oblasti. Vyřazení byli pacienti s diagnózou polytrauma, nebo z neakutní či kontrolní indikace. Vzorek tvořilo 1508 pacientů, z nich mělo 1177 vyšetření CT hlavy a krční páteře a 331 CT hlavy a RTG krční páteře.

CT hlavy a krční páteře prokázalo u 51 pacientů (4,3 %) z 1177 frakturu v oblasti páteře. 41 pacientů bylo diagnostikováno s frakturou v oblasti krční páteře a 10 s frakturou v oblasti horní hrudní páteře, konkrétně do pátého hrudního obratle. Procentuální četnost záchytu fraktur na CT koresponduje s incidencí úrazů krční páteře udávanou v literatuře, prameny se přibližně shodují na hodnotě kolem 4 % (Holmes a Akkinipalli 2005; Mathen et al. 2007; Goergen et al. 2015; Milby et al. 2008; Brohi et al. 2005).

Záchyt fraktur nebo suspektních fraktur na RTG krční páteře dosáhl 2,1 %, celkem 7 pacientů z 331. Nižší záchyt patologií na RTG může být způsoben několika faktory. Senzitivita skiografie v záchytu patologií krční páteře je výrazně nižší než na CT. Studie udávají různé hodnoty senzitivity RTG v rozmezí 40 – 70 %. Záleží i na počtu provedených projekcí. Například Diaz uvádí senzitivitu RTG pro pět projekcí 44 % (Dia zet al. 2003), Mathen 45 % pro tři projekce (Mathen et al. 2007), Brohi 53 % pouze pro boční akvizici (Brohi et al. 2005) a Brown 67 % speciálně pro funkční zobrazení (Brown et al. 2005). Pacienti zařazení do této studie podstoupili nejčastěji pouze AP a boční projekci, jen výjimečně byly pořízeny některé z dalších speciálních projekcí. Z výše uvedených studií vyplývá, že ani pořízení více projekcí

výrazně senzitivitu nezvyšší. Někteří autoři poukazují na nízkou senzitivitu RTG zobrazení oproti CT a považují skiografii krční páteře v diagnostice akutních traumat za zbytečné (Daffner 2001; Como et al. 2009). Je tedy otázkou, zda má RTG krční páteře své opodstatnění. Indikační kritéria vydaná MZ ČR v roce 2003 však stále považují prosté snímky za prvotní volbu při diagnostice úrazu krční páteře před CT.

Daffner poukazuje na dobu, kterou pacient tráví při pořizování skiografie krční páteře (v průměru 22 min pro pořízení 5 projekcí) a CT krční páteře (v průměru 12 min)(Daffner 2000). V USA je standardem provedení tří až pěti projekcí v těchto indikacích. Obzvláště transorální snímek vyžaduje jistou míru spolupráce pacienta a jak dokládá tato studie, značně prodlužuje dobu vyšetření, jedná se o nejvíce opakovanou projekci, a to až v 74 % vyšetření. Ve studii nicméně nebyla kalkulována doba nezbytná k vyhodnocení vyšetření, která bude nepochybně delší u CT než u RTG. Nízká senzitivita skiagramů krční páteře může být způsobena i sníženou přehledností boční projekce u nespolupracujících pacientů. Brohi uvádí, že až 25 % bočních projekcí krční páteře nedokáže přehledně zobrazit první hrudní obratel a na 8,5 % snímků není zachycen ani poslední krční obratel (Brohi et al. 2005). Tato práce se zabývala i těmi případy, kdy po RTG krční páteře následovalo CT této oblasti. Oběma druhy zobrazení prošlo 25 pacientů. Pouze 16 % skiagramů zachytilo celou krční páteř i s prvním hrudním obratlem. U jednoho pacienta byla zobrazena část páteře pouze po třetí krční obratel. Z 331 pacientů s RTG krční páteře mělo pouze 25 i CT vyšetření, nebylo tak možné vypočítat senzitivitu ani specificitu, bylo možné ale vypočítat PPV, která vyšla na 42,8 % pro dvě projekce. Ve studiích vychází PPV vyšší, ve většině zdrojů je ale stanovena pro tři projekce, Mathen uvádí PPV 62,8 % (Mathen et al. 2007), Besman 54,9 % (Besman et al. 2003).

Dalším cílem bylo vysledování rizikových faktorů, které často doprovázejí poranění krční páteře u pacientů, kteří podstoupili CT krční páteře. Sledované rizikové faktory byly vybrány na základě dvou rozhodovacích algoritmů pro zobrazovací metody krční páteře, Canadian C-spine Rule (věk nad 65 let, přítomnost parestezií či plegie, bolest krční páteře, mechanismus úrazu) a NEXUS kritérií (bolest páteře, fokální neurologický deficit, poruchy vědomí), dalším sledovaným faktorem byla přítomnost krčního límce během CT vyšetření, pohlaví a nález fraktury či intrakraniálního krvácení na CT hlavy.

Informace o pacientech, zda byl či nebyl přítomen daný RF, pocházely pouze ze žádanky k vyšetření, z popisu radiologa a obrazové dokumentace. Za statisticky významné rizikové faktory byly identifikovány mechanismus úrazu (15 fraktur ze 175 pacientů u pacientů po autonehodě či skoku do vody, OR 2,52), bolest krční páteře (26 fraktur z 255 pacientů, OR 1,81), přítomnost parestezie či plegie (6 fraktur z 57 pacientů, OR 2,81) a přítomnost krčního límce (32 z 262 pacientů, OR 7,22). Byla stanovena senzitivita jednotlivých RF, nejvyšší dosáhla přítomnost krčního límce (65 %), bolest krční páteře (54 %), a věk nad 65 let (51 %). Ostatní vyšly pod hranici 50 %. Dále byla stanovena specificita RF, nejvyšší dosáhla přítomnost parestezií či plegií a to 95 %, specificita ostatních RF vyjma věku nad 65 let a pohlaví se pohybovala mezi 79-92 %. Nejvyšší PPV 13 % dosáhla přítomnost krčního límce, naopak NPV u všech sledovaných parametrů dosáhla nad 95 %. V dostupné literatuře dosud nebyly jednotlivé rizikové faktory takto hodnoceny.

Třetím cílem práce bylo porovnat radiační zátěž z vyšetření CT hlavy a krční páteře a CT hlavy a RTG krční páteře. Předpokladem bylo, že u RTG bude zátěž výrazně nižší, než u CT. Informace o radiační zátěži z vyšetření byla získána v jednotce DAP či DLP, k převodu na efektivní dávku byl využit online dostupný kalkulátor. Informace o hmotnosti pacienta nebyla součástí elektronické žádanky, proto byly použity převodní koeficienty pro danou vyšetřovanou oblast, které nezohledňují skutečnou váhu pacienta, ale počítají s průměrnými hodnotami pro antropomorfní fantom. Průměrná efektivní dávka CT hlavy a krční páteře byla signifikantně vyšší než u CT hlavy a RTG krční páteře (3,52 mSv vs 1,65 mSv, $p < 0,001$).

Indikace k zobrazovacímu vyšetření by měla být vždy dobře zvážena i vzhledem k věku pacienta. Každá expozice ionizujícím zářením představuje riziko vzniku pozdních stochastických účinků. Podle ASRT dokáže CT krční páteře s efektivní dávkou 6 mSv vyvolat rakovinu u 1 ženy z 1054 žen ve věku 25 let, které podstoupily CT zobrazení, u RTG krční páteře s efektivní dávkou 0,2 mSv je to 1 žena z 31616 ve věku 25 let.

8 Závěr

Na vzorku 1508 pacientů byl prokázán signifikantně častější záchyt fraktur krční páteře na CT než na RTG ve FN Brno v roce 2019. Ve skupině pacientů, kteří podstoupili CT hlavy a krční páteře byly ze žádanek na vyšetření a z nálezů na CT hlavy identifikovány rizikové faktory, které byly signifikantně asociovány s nálezem fraktury krční páteře. Mezi tyto faktory patřil mechanismus úrazu v podobě autonehody či skoku do vody, přítomnost krčního límce při vyšetření, bolestivost krční páteře a přítomnost parestezií či plegie asociované s traumatem. Signifikantně vyšší radiační zátěž představovalo zobrazení hlavy a krční páteře na CT oproti CT hlavy a RTG krční páteře.

9 Referenční seznam

American Society of Radiologic Technologists: X-Ray Risk [online]. USA, 2018 [cit. 2022-04-05]. Dostupné z: xrayrisk.com/calculator

BESMAN, Anatole, Jody KABAN, Lenworth JACOBS a Lenworth M. JACOBS, 2003. False-negative plain cervical spine x-rays in blunt trauma. *The American Surgeon*. 69(11), 1010–1014. ISSN 0003-1348.

BROHI, Karim, Marie HEALY, Tim FOTHERINGHAM, Otto CHAN, Chris AYLWIN, Siobhan WHITLEY a Michael WALSH, 2005. Helical Computed Tomographic Scanning for the Evaluation of the Cervical Spine in the Unconscious, Intubated Trauma Patient: *The Journal of Trauma: Injury, Infection, and Critical Care* [online]. 58(5), 897–901 [vid. 2022-03-30]. ISSN 0022-5282. Dostupné z: [doi:10.1097/01.TA.0000171984.25699.35](https://doi.org/10.1097/01.TA.0000171984.25699.35)

BROWN, Carlos V.R., Jared L. ANTEVIL, Michael J. SISE a Daniel I. SACK, 2005. Spiral Computed Tomography for the Diagnosis of Cervical, Thoracic, and Lumbar Spine Fractures: Its Time has Come: *The Journal of Trauma: Injury, Infection, and Critical Care* [online]. 58(5), 890–896 [vid. 2022-03-30]. ISSN 0022-5282. Dostupné z: [doi:10.1097/01.TA.0000162149.89139.FF](https://doi.org/10.1097/01.TA.0000162149.89139.FF)

BUSHBERG, Jerrold T., ed., 2012. *The essential physics of medical imaging*. 3rd ed. Philadelphia: Wolters Kluwer Health/Lippincott Williams & Wilkins. ISBN 978-0-7817-8057-5.

COLLINS, Niamh C. a Juliet V. MCKENZIE, 2013. The NEXUS criteria: do they stand the test of time? *European Journal of Emergency Medicine* [online]. 20(1), 58–60 [vid. 2022-03-26]. ISSN 0969-9546. Dostupné z: [doi:10.1097/MEJ.0b013e32834fe94a](https://doi.org/10.1097/MEJ.0b013e32834fe94a)

COMO, John J., Jose J. DIAZ, C Michael DUNHAM, William C. CHIU, Therese M. DUANE, Jeannette M. CAPELLA, Michele R. HOLEVAR, Kosar A. KHWAJA, Julie A. MAYGLOTHLING, Michael B. SHAPIRO a Eleanor S. WINSTON, 2009. Practice Management Guidelines for Identification of Cervical Spine Injuries Following Trauma: Update From the Eastern Association for the Surgery of Trauma Practice Management Guidelines Committee. *Journal of Trauma: Injury, Infection & Critical Care* [online]. 67(3), 651–659 [vid. 2022-03-26]. ISSN 0022-5282. Dostupné z: [doi:10.1097/TA.0b013e3181ae583b](https://doi.org/10.1097/TA.0b013e3181ae583b)

DAFFNER, Richard H., 2000. Cervical Radiography for Trauma Patients: A Time-Effective Technique? *American Journal of Roentgenology* [online]. 175(5), 1309–1311 [vid. 2022-04-16]. ISSN 0361-803X, 1546-3141. Dostupné z: [doi:10.2214/ajr.175.5.1751309](https://doi.org/10.2214/ajr.175.5.1751309)

DAFFNER, Richard H., 2001. Helical CT of the Cervical Spine for Trauma Patients: A Time Study. *American Journal of Roentgenology* [online]. 177(3), 677–679 [vid. 2022-04-16]. ISSN 0361-803X, 1546-3141. Dostupné z: [doi:10.2214/ajr.177.3.1770677](https://doi.org/10.2214/ajr.177.3.1770677)

DEWAN, Michael C., Abbas RATTANI, Saksham GUPTA, Ronnie E. BATICULON, Ya-Ching HUNG, Maria PUNCHAK, Amit AGRAWAL, Amos O. ADELEYE, Mark G. SHRIME, Andrés M. RUBIANO, Jeffrey V. ROSENFELD a Kee B. PARK, 2019. Estimating the global incidence of traumatic brain injury. *Journal of Neurosurgery* [online]. 130(4), 1080–1097 [vid. 2022-04-27]. ISSN 0022-3085, 1933-0693. Dostupné z: doi:10.3171/2017.10.JNS17352

DIAZ, Jose J., Cyril GILLMAN, John A. MORRIS, Addison K. MAY, Ysela M. CARRILLO a Jeffrey GUY, 2003. Are Five-View Plain Films of the Cervical Spine Unreliable? A Prospective Evaluation in Blunt Trauma Patients with Altered Mental Status: *The Journal of Trauma: Injury, Infection, and Critical Care* [online]. 55(4), 658–664 [vid. 2022-03-30]. ISSN 0022-5282. Dostupné z: doi:10.1097/01.TA.0000088120.99247.4A

DOSEWIZARD: DAP to mSv converter - radiography [online]. USA, 2019 [cit. 2022-04-10]. Dostupné z: <https://www.dosewizard.com/2019/08/effective-dose-calculator-radiography.html>

FERDA, Jiří, Boris KREUZBERG a Milan NOVÁK, 2002. *Výpočetní tomografie*. Praha: Galén : Karolinum. ISBN 978-80-7262-172-9.

FERDA, Jiří, Hynek MÍRKA a Jan BAXA, 2009. *Multidetektorová výpočetní tomografie - technika vyšetření*. první. Praha: Galén. ISBN 978-80-7262-608-3.

FERDA, Jiří, Hynek MÍRKA, Jan BAXA a Alexander MALÁN, 2015. *Základy zobrazovacích metod*. ISBN 978-80-7492-164-3.

FREEMYER, Byron, Robert KNOPP, James PICHE, Lee WALES a Justin WILLIAMS, 1989. Comparison of five-view and three-view cervical spine series in the evaluation of patients with cervical trauma. *Annals of Emergency Medicine* [online]. 18(8), 818–821 [vid. 2022-04-16]. ISSN 01960644. Dostupné z: doi:10.1016/S0196-0644(89)80203-3

FREITINGER SKALICKÁ, Zuzana, Jiří HALAŠKA, Renata HAVRÁNKOVÁ, Jiří KUBEŠ, Leoš NAVRÁTIL, Václav NAVRÁTIL a Jozef SABOL, 2022. Ozáření obyvatel. *Radiobiologie* [online]. Dostupné z: fbmi.sirdik.org/7-kapitola/77/772.html

Frost & Sullivan: High-end Global Computed Tomography Purchases to Propel the High-end CT Segment Revenue [online]. USA, 2021 [cit. 2022-05-07]. Dostupné z: <https://www.frost.com/news/press-releases/high-end-global-computed-tomography-purchases-to-propel-the-high-end-ct-segment-revenue/>

GOERGEN, Stacy, Dinesh VARMA, Helen ACKLAND, Zoe MICHALEFF, Jeffrey ROSENFELD a Greg MALHALM, 2015. *Adult Cervical Spine Trauma. Educational Modules for Appropriate Imaging Referrals*. 2015. B.m.: The Royal Australian and New Zealand College of Radiologists.

GOERSEN, Stacy, 2015. *Clinical decision Rules. Educational Modules for Appropriate Imaging Referrals*. 2015. B.m.: Royal Australian and New Zealand College of Radiologists.

HASLER, Rebecca M., Aristomenis K. EXADAKTYLOS, Omar BOUAMRA, Lorin M. BENNEKER, Mike CLANCY, Robert SIEBER, Heinz ZIMMERMANN a Fiona LECKY, 2012. Epidemiology and predictors of cervical spine injury in adult major trauma patients: A multicenter cohort study. *Journal of Trauma and Acute Care Surgery* [online]. 72(4), 975–981 [vid. 2022-03-26]. ISSN 0022-5282. Dostupné z: doi:10.1097/TA.0b013e31823f5e8e

HEEGAARD, William a Michelle BIROS, 2007. Traumatic brain injury. *Emergency Medicine Clinics of North America* [online]. 25(3), 655–678, viii. ISSN 0733-8627. Dostupné z: doi:10.1016/j.emc.2007.07.001

HEŘMAN, Miroslav, 2014. *Základy radiologie*. B.m.: Univerzita Palackého v Olomouci. ISBN 978-80-244-2901-4.

HOFFMAN, Jerome R., William R. MOWER, Allan B. WOLFSON, Knox H. TODD a Michael I. ZUCKER, 2000. Validity of a Set of Clinical Criteria to Rule Out Injury to the Cervical Spine in Patients with Blunt Trauma. *New England Journal of Medicine* [online]. 343(2), 94–99 [vid. 2022-03-26]. ISSN 0028-4793, 1533-4406. Dostupné z: doi:10.1056/NEJM200007133430203

HOLMES, James Frederick a Radha AKKINPELLI, 2005. Computed Tomography Versus Plain Radiography to Screen for Cervical Spine Injury: A Meta-Analysis: *The Journal of Trauma: Injury, Infection, and Critical Care* [online]. 58(5), 902–905 [vid. 2022-03-26]. ISSN 0022-5282. Dostupné z: doi:10.1097/01.TA.0000162138.36519.2A

How Radiology works: Simple Calculator for Effective Dose in CT [online]. USA: GE, 2022 [cit. 2022-04-0100]. Dostupné z: <https://howradiologyworks.com/dlp-calculator/>

HUI, Catherine M., John H. MACGREGOR, Homer C. TIEN a John B. KORTBEEK, 2009. Radiation dose from initial trauma assessment and resuscitation: review of the literature. *Canadian Journal of Surgery. Journal Canadien De Chirurgie*. 52(2), 147–152. ISSN 1488-2310.

KIM, Patrick K., Vicente H. GRACIAS, Andrew D. A. MAIDMENT, Michael O'SHEA, Patrick M. REILLY a C William SCHWAB, 2004. Cumulative Radiation Dose Caused By Radiologic Studies in Critically Ill Trauma Patients: *The Journal of Trauma: Injury, Infection, and Critical Care* [online]. 57(3), 510–514 [vid. 2022-03-26]. ISSN 0022-5282. Dostupné z: doi:10.1097/01.TA.0000141028.97753.67

MATHEN, Reshma, Kenji INABA, Felipe MUNERA, Pedro G. R. TEIXEIRA, Luis RIVAS, Mark MCKENNEY, Peter LOPEZ a Carlos J. LEDEZMA, 2007. Prospective Evaluation of Multislice Computed Tomography Versus Plain Radiographic Cervical Spine Clearance in Trauma Patients. *Journal of Trauma: Injury, Infection & Critical Care* [online]. 62(6), 1427–1431 [vid. 2022-04-15]. ISSN 0022-5282. Dostupné z: doi:10.1097/01.ta.0000239813.78603.15

METTLER, Fred A., Walter HUDA, Terry T. YOSHIKUMI a Mahadevappa MAHESH, 2008. Effective Doses in Radiology and Diagnostic Nuclear Medicine: A Catalog. *Radiology* [online]. 248(1), 254–263 [vid. 2022-05-02]. ISSN 0033-8419, 1527-1315. Dostupné z: doi:10.1148/radiol.2481071451

MILBY, Andrew H., Casey H. HALPERN, Wensheng GUO a Sherman C. STEIN, 2008. Prevalence of cervical spinal injury in trauma. *Neurosurgical Focus* [online]. 25(5), E10 [vid. 2022-03-26]. ISSN 1092-0684. Dostupné z: doi:10.3171/FOC.2008.25.11.E10

MINISTERSTVO ZDRAVOTNICTVÍ ČR, 2003. Indikační kritéria pro zobrazovací metody. *Věstník ministerstva zdravotnictví* [online]. 2003. Dostupné z: <https://www.nemjbc.cz/cs/oddeleni/radiodiagnosticke-oddeleni/informace-pro-odbornou-verejnost/indikacni-kriteria-pro-zobrazovaci-metody.html>

NEKULA, Josef, Miroslav HEŘMAN, Jaroslav VOMÁČKA a Martin KÖCHER, 2005. *Radiologie*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci. ISBN 978-80-244-1011-1.

NEKULA, Josef a Jana CHMELOVÁ, 2007. *Základy zobrazování magnetickou rezonancí*. Ostrava: Ostravská univerzita v Ostravě, Zdravotně sociální fakulta. ISBN 978-80-7368-335-1.

PROVENZALE, James, 2007. CT and MR imaging of acute cranial trauma. *Emergency Radiology* [online]. 14(1), 1–12. ISSN 1070-3004. Dostupné z: doi:10.1007/s10140-007-0587-z

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

STIELL, Ian G., 2001. The Canadian C-Spine Rule for Radiography in Alert and Stable Trauma Patients. *JAMA* [online]. 286(15), 1841 [vid. 2022-03-26]. ISSN 0098-7484. Dostupné z: doi:10.1001/jama.286.15.1841

SÚJB, 2022. Stručný přehled biologických účinků záření. *Státní úřad pro jadernou bezpečnost* [online]. Dostupné z: <https://www.sujb.cz/radiacni-ochrana/oznameni-a-informace/strucny-prehled-biologicckych-ucinku-zareni/>

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

SÚRO, 2022. Biologické účinky ionizujícího záření. *Státní ústav radiační ochrany* [online] [vid. 2022-03-26]. Dostupné z: <https://www.suro.cz/cz/radiacni-ochrana/biologicke-ucinky-ionizujiciho-zareni>

TEHRANZADEH, Jamshid a Suzanne PALMER, 1996. Imaging of cervical spine trauma. *Seminars in Ultrasound, CT and MRI* [online]. 17(2), 93–104 [vid. 2022-03-26]. ISSN 08872171. Dostupné z: doi:10.1016/S0887-2171(96)90009-8

ULLMANN, Vojtěch, 2022. Účinky záření na látku. Základní veličiny dozimetrie. *Astro Nukl Fyzika* [online] [vid. 2022-03-26]. Dostupné z: <https://astronuklfyzika.cz/RadiacniOchrana.htm>

VALENTIN, J. a INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION, ed., 2007. *The 2007 recommendations of the International Commission on Radiological Protection*. Oxford: Elsevier. ICRP publication, 103. ISBN 978-0-7020-3048-2.

10 Seznam zkratek

3D	tří dimenzionální
AEC	automatic exposure control
ALARA	As Low As Reasonably Achieavable
AP	anteroposterior (předozadní)
ASRT	American Society of Radiologic Technologists
AX	axiální
CC	cervikocraniální
C/TH	cervikothorakální
CCR	Canadian C-Spine Rule
CDRs	Clinical decision rules
CI	Confidence interval (interval spolehlivosti)
COR	koronární
CT	Computed tomography (výpočetní tomografie)
CTA	CT angiografie
ČVUT	České vysoké učení technické
DAP	dose area product
DNA	deoxyribonukleová kyselina
DLP	dose length product
DSA	digitální subtrakční angiografie
DSB	double strand break (dvouvláknový zlom)
EAST	The Eastern Association for the Surgery of Trauma
eMED	elektronický radiologický informační systém
FBMI	Fakulta biomedicínského inženýrství
FN Brno	Fakultní nemocnice Brno
FOV	field of view (oblast zájmu)
FP	false positive (falešně pozitivní)
ICRP	International Commission on Radiological Protection
KL	kontrastní látka
KRNM	Klinika Radiologie a Nukleární medicíny
LET	linear energy transfer
OF	vzdálenost ohnisko-film
OR	odds ratio (poměr šancí)

PA	posteroanterior (zadopřední)
PACS	Picture Archiving and Communication System
PPV	positive predictive value (pozitivní prediktivní hodnota)
TP	true positive (správně pozitivní)
MPR	multiplanární rekonstrukce
MR	magnetická rezonance
MRS	Místní radiologických standardů
MZ ČR	Ministerstvo zdravotnictví ČR
NEXUS	National Emergency X-Radiography Utilization Study
NPV	negative predictive value (negativní prediktivní hodnota)
RF	rizikový faktor
RTG	rentgen
SSB	single strand break (jednovláknový zlom)
STIR	short tau inversion recovery
SÚJB	Státní úřad pro jadernou bezpečnost
TSE	turbo spin echo
USA	United States of America
UZ	ultrazvuk
VRT	volume rendering technika

11 Seznam značek

C1, C2, C3, C4, C5, C6, C7

označení pro jednotlivé krční obratle

TH1, TH2, TH3, TH4, TH5

označení pro jednotlivé hrudní obratle

T1

relaxační čas (podélná relaxace)

T2

relaxační čas (příčná relaxace)

12 Seznam symbolů

kV	jednotka napětí
mAs	jednotka elektrického množství
mSv	jednotka efektivní a ekvivalentní dávky
$mGy \cdot cm$	jednotka DLP
$Gy \cdot cm^2$	jednotka DAP
Gy	jednotka absorbované dávky
E_{DLP}	převodní koeficient
E_{DAP}	převodní koeficient
$mSv/mGy \cdot cm$	jednotka převodního koeficientu E_{DLP}
$mSv/Gy \cdot cm^2$	jednotka převodního koeficientu E_{DAP}
D	absorbovaná dávka
E	efektivní dávka
H_T	ekvivalentní dávka
w_Q	radiační váhový faktor
w_T	tkáňový váhový faktor

13 Seznam tabulek

Tabulka 1: Hodnocení senzitivity NEXUS rozhodovacích kritérií.....	15
Tabulka 2: Srovnání senzitivity a specifity CCR a NEXUS	18
Tabulka 3: Typické hodnoty Efektivních dávek pro různá vyšetření	39
Tabulka 4: Pravděpodobnost výskytu rakoviny způsobené zobrazovacím vyšetřením pro muže a ženy různých věkových skupin	41
Tabulka 5: Rozsah zobrazeného úseku krční páteře na boční projekci	54
Tabulka 6: Výčet fraktur ve skupině CT hlava a krční páteř	55
Tabulka 7: Záchyt patologií v oblasti páteře	56
Tabulka 8: Správnost záchytu fraktur na RTG krční páteře.....	57
Tabulka 9: Výskyt rizikových faktorů	58
Tabulka 10: Významnost jednotlivých rizikových faktorů.....	60
Tabulka 11: Hodnoty efektivní dávky [mSv] z vyšetření	60

14 Seznam obrázků

Obrázek 1: Algoritmus Canadian c-spine Rule.....	13
Obrázek 2: Algoritmus NEXUS rozhodovací kritéria	16
Obrázek 3: Skiagram lebky v zadopřední (PA) projekci (vlevo), boční (vpravo).....	21
Obrázek 4: RTG snímky krční páteře v předozadní (vlevo) a boční projekci (vpravo).	22
Obrázek 5: RTG snímek krční páteře v transorální projekci dle Sandberga (vlevo), boční projekce přechod krční a hrudní páteře (vpravo).	23
Obrázek 6: RTG snímky krční páteře v boční projekci ve flexi (předklon; vlevo) a extenzi (záklon; vpravo).	23
Obrázek 7: CT mozku v axiálním řezu v mozkovém okně (vlevo), koronární řez v mozkovém okně (vpravo). Zobrazeno střelné poranění hlavy, tříštivá fraktura lebky bilaterálně, subarachnoidální krvácení, epidurální hematoma, pneumocefalus, mozkový edém.	24
Obrázek 8: CT krční páteře v sagitální rovině, nativně, kostní okno (vlevo), 3D rekonstrukce VRT (vpravo). Zobrazena fraktura C6 s posunem obratlového těla do páteřního kanálu, okrajově zachycena i fraktura kranální části artikulačního výběžku C4.....	26
Obrázek 9: MR mozku transverzální rovina, T1 SE sekvence (vlevo), T2 TSE sekvence (vpravo).	27
Obrázek 10: MR krční páteře, sagitální rovina, T1 TSE sekvence (vlevo), T2 TSE sekvence (vpravo).	28
Obrázek 11: MR krční páteře, STIR TSE sekvence v sagitální rovině (vlevo), T2 TSE sekvence v transverzální rovině (vpravo).	28
Obrázek 12: Celková expozice, odhad efektivní dávky	36
Obrázek 13: Zastoupení věkových kategorií pacientů Skupiny CT hlavy + krční páteř	53
Obrázek 14: Zastoupení věkových kategorií pacientů Skupiny CT hlavy + RTG krční páteř	54