

SOUBORNÝ REFERÁT/CURRENT CONCEPTS REVIEW

Poranění horní krční páteře u dětí: systematický přehled

Pediatric Upper Cervical Spine Injuries: a Systematic Review

LUCIE SALAVCOVÁ^{1,2}, JAN ŠTULÍK¹, ONDŘEJ NAŇKA²¹Klinika spondylochirurgie 1. lékařské fakulty Univerzity Karlovy a Fakultní nemocnice v Motole, Praha²Anatomický ústav 1. lékařské fakulty Univerzity Karlovy, Praha

Podpořeno projektem (Ministerstvo zdravotnictví) koncepčního rozvoje výzkumné organizace 00064203 (FN Motol)

Korespondující autor:MUDr. Lucie Salavcová
Fakultní nemocnice v Motole
V Úvalu 84/1
150 06 Praha 5**Lucie.Salavcova@fnmotol.cz**

ABSTRACT

Purpose of the study

The study aimed to systematically review the available literature focusing on upper cervical spine injuries in children, namely the age and sex of patients, epidemiology of injuries, classifications used, diagnosis and treatment methods, neurologic deficit, concomitant injuries, and potential complications.

Material and methods

The systematic review was elaborated in line with the Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA) protocol. The studies assessing pediatric upper cervical spine injuries were searched for in the MEDLINE database in September 2023. The studies included were published between 1991 and 2022.

Results

A total of 1354 studies were found through the database search. Subsequently, 53 articles were excluded as duplicates and

1217 due to irrelevant title or abstract. The full text of 84 studies was reviewed. Sixty-nine manuscripts failed to meet the pre-defined criteria. In the end, the systematic review was based on 15 studies. In the cohort of paediatric patients with upper cervical spine injuries, the girls accounted for 51.1% and boys for 48.9%. X-ray (64.9%) and CT (56.2%) were the most commonly used imaging for diagnosis, with MRI (51.5%) being the least used diagnostic method. Surgical procedure was opted for in treating more than a quarter of cases (27.6%). Most of the surviving patients were neurologically intact (69.2%), a fairly large number of patients (14.4%) died. The most common concomitant injury was craniocerebral trauma (39%) and the most common treatment complication was the instrumentation failure (11.3%).

Discussion

Upper cervical spine injuries are rare in children and represent a relatively heterogeneous group. The literature on this topic is mostly inconsistent. Currently, there is just a few studies dealing with

pediatric upper cervical spine injuries as a whole; more often the papers focus on a single type of injury. Inconsistencies also occur in defining the age limit for the pediatric spine and in defining the upper cervical spine. For these reasons, comparing the results of individual studies can be difficult.

Conclusions

The mean age of pediatric patients with upper cervical spine injuries was 6.7 years, with a slight predominance of girls. The most common cause of injury was traffic accidents. X-ray and CT were the most commonly used diagnostic methods and surgical therapy was opted for in treating more than a quarter of cases. More than two-thirds of the surviving patients were neurologically intact. Instrumentation failure was the most common treatment complication and craniocerebral trauma was the most common concomitant injury.

Key words: pediatric spine injury, upper cervical spine, fractures in children.

ÚVOD

Poranění horní krční páteře u dětí jsou v absolutních číslech vzácná (9, 22, 37). Představují poměrně heterogenní skupinu a odborná literatura zabývající se tímto tématem často není konzistentní. Většina autorů považuje za horní krční páteř

u dětí úsek od okcipitálních kondylů po intervertebrální prostor C2–C3. Shin et al. (35) a další autoři (23, 29) však dělí dětskou krční páteř na horní (C1–C4) a dolní (C5–C7). Další nejednotnosti pak nastávají v určení věkové hranice dětské páteře. Někteří autoři považují za horní hranici ukončený 18. rok (16, 37), jiní 17. rok (6), 16. rok (8, 10, 12, 26), 15. rok (21, 22), 14. rok

(7), případně navrhuji dělení na podskupiny (4, 23, 27, 30, 35, 42). Štulík et al. (36, 37), kteří publikovali v ČR největší soubor dětských pacientů s poraněním horní krční páteře, preferují rozdělení na 3 skupiny: 0–9 let, 10–14 let a 15–18 let. Často se také setkáváme s pracemi, zabývajícími se pouze jedním konkrétním druhem poranění horní krční páteře (např. poraněním C2 dentu, atlantookcipitální dislokací atd.). Z těchto důvodů může být porovnávání výsledků jednotlivých studií obtížné.

Cílem práce bylo systematicky zhodnotit dostupnou literaturu zabývající se poraněním horní krční páteře u dětí, konkrétně věk a pohlaví pacientů, epidemiologii úrazu, používané klasifikace, způsoby diagnostiky a terapie, neurologický deficit, přidružená poranění a případné komplikace.

MATERIÁL A METODIKA

Systematický přehled byl zpracován podle protokolu Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA). Vyhledávání studií, které zhodnocují poranění horní krční páteře u dětí, probíhalo v září 2023 za použití databáze MEDLINE.

Strategie vyhledávání

Vyhledávání probíhalo přes rozhraní PubMed podle následujícího algoritmu. ((Injury[tiab]) OR (Trauma[tiab]) OR (Fracture[tiab]) OR (Dislocation[tiab]) OR (Distraction[tiab]) OR (Subluxation[tiab]) OR (Luxation[tiab]) OR (Separation[tiab]) OR (Displacement[tiab]) OR (Rupture[tiab])) AND ((Upper cervical spine[tiab]) OR (Craniovertebral junction[tiab]) OR (Occipital condyle[tiab]) OR (Atlas[tiab]) OR (Axis[tiab]) OR (Odontoid[tiab]) OR (Atlanto-occipital[tiab]) OR (Atlanto-axial[tiab]) OR (Hangman's fracture[tiab]) OR (C2-C3 disc[tiab])) AND ((Children[tiab]) OR (Child[tiab]) OR (Paediatric[tiab])). Kromě vyhledávání v databázi jsme do konečného sběru dat zařadili, vzhledem k potencionálnímu přínosu, také další zdroje.

Selekční kritéria

Ze studií získaných výše popsaným způsobem následně tři nezávislí hodnotitelé (LS, JS, ON) na základě názvu práce a abstraktu vybrali ty, které splňovaly námi určená kritéria. Tyto studie byly následně podrobeny detailnímu čtení celého textu. Naším hlavním požadavkem bylo, aby studie popisovala poranění horní krční páteře u dětí ve věku 0–18 let včetně. Zahrnuli jsme studie psané v anglickém jazyce, případně studie v jiném jazyce, u kterých byl k dispozici originální překlad. Typy studií, které jsme zahrnuli: metaanalýzy, randomizované kontrolované studie, prospektivní studie, multicentrické a monocentrické retrospektivní studie, komparativní studie a větší série kazuistik (≥ 10 pacientů). Vyřazeny byly studie, které nebyly psány v anglickém jazyce a nebyl k dispozici originální překlad, dále jednotlivé kazuistiky,

systematické přehledy, dopisy a zprávy z kongresů a konferencí. Po aplikování výše uvedených kritérií a selekci vhodných prací jsme následně analyzovali citovanou literaturu všech vybraných článků k identifikaci dalších vhodných studií, které jsme nenašli během iniciálního hledání. Mezi autory, kteří prováděli selekci článků, nedošlo k žádným neshodám.

Extrakce dat a analýza

Podle předem určených kritérií byla následně dvěma autory (LS, ON) provedena extrakce dat z celých textů článků do předem připravených tabulek v Microsoft Excelu. Získaná data zahrnovala informace o typu studie, autorech, hodnocené skupině pacientů (velikost skupiny, věk, pohlaví), epidemiologii úrazu, používané klasifikaci, způsobech diagnostiky a terapie, neurologickém deficitu, přidružených poraněních a o případných komplikacích spojených s daným způsobem léčby.

Minimalizace rizika bias

Ze studií vybraných dle výše uvedených kritérií jsme extrahovali relevantní data. Riziko bias bylo minimalizováno použitím metodologického indexu pro nerandomizované studie (MINORS). Mezi jednotlivými autory nedošlo k žádným neshodám.

Etické schválení

Tento systematický přehled nevyžadoval schválení etické komise. Jedná se o analýzu kompletně založenou na textech již publikovaných studií.

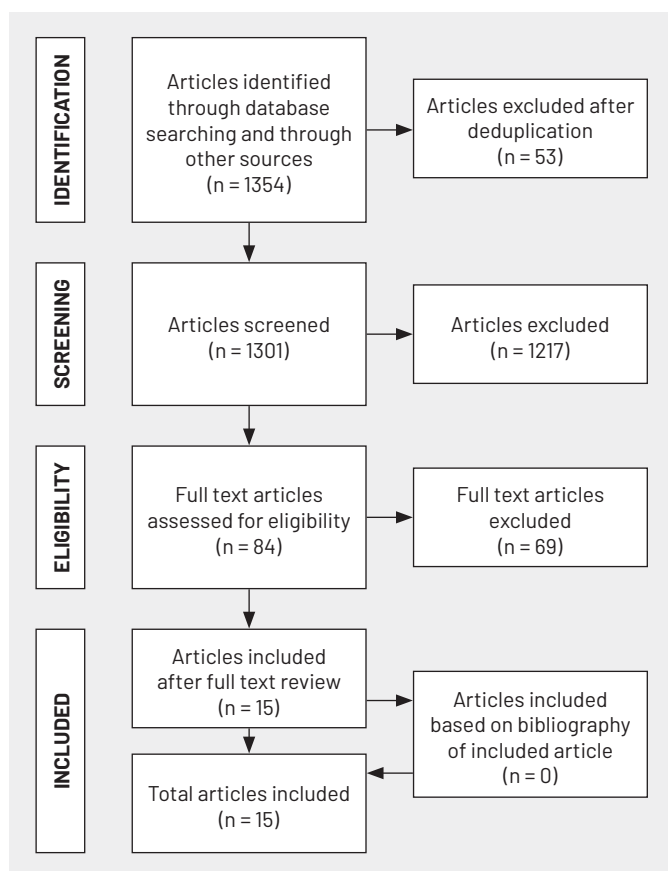
VÝSLEDKY

Výsledky vyhledávání

Během vyhledávání v databázi a dalších zdrojích jsme našli celkem 1354 studií. Při analýze názvů prací a abstraktů bylo 53 článků vyloučeno jako duplikát a 1217 pro nesouvisející název či abstrakt. Detailnímu čtení celého textu bylo následně podrobeno 84 studií. Předem definovaná kritéria nesplňovalo 69 prací, a proto byly vyřazeny. Naš systematický přehled tedy vychází z 15 studií (1–3, 5, 10, 13, 15, 17, 19, 20, 25, 31, 34, 39, 40). Analýzou citované literatury ve vybraných pracích jsme nenašli žádné další vhodné studie (obr. 1).

Charakteristika studií

Charakteristika studií zahrnutých do našeho přehledu je shrnuta v tabulce 1. Zařazené práce byly publikovány v letech 1991 až 2022. Vzhledem k velké heterogenitě jednotlivých studií přinášíme pouze deskriptivní přehled informací, dostupná data nám neumožnila provést metaanalýzu.



Obr. 1. PRISMA diagram.

Fig. 1. PRISMA flow diagram.

Tab. 1. Charakteristika zahrnutých studií

Table 1. Characteristics of included studies

AUTOŘI (rok publikace)	TYP STUDIE	POČET PACIENTŮ
Eleraky et al. (2000)	nekomparativní retrospektivní studie a přehled literatury	53
Maves et al. (1991)	nekomparativní retrospektivní studie	10
Schwartz et al. (1997)	multicentrická nekomparativní retrospektivní studie	7
Babu et al. (2016)	nekomparativní retrospektivní studie	31
Rusin et al. (2014)	nekomparativní retrospektivní studie	14
Hosalkar et al. (2005)	nekomparativní retrospektivní studie	16
Astu et al. (2013)	nekomparativní retrospektivní studie	16
Odent et al. (1999)	nekomparativní retrospektivní studie	15
Mandabach et al. (1993)	nekomparativní retrospektivní studie	13
Beckmann et al. (2020)	nekomparativní retrospektivní studie	87
Abel et al. (2020)	nekomparativní retrospektivní studie	10
Tomaszewski et al. (2021)	nekomparativní multicentrická retrospektivní studie	6
Jarvers et al. (2022)	nekomparativní multicentrická retrospektivní studie	18
Tomaszewski et al. (2021)	nekomparativní retrospektivní studie	6
Hasan et al. (2022)	nekomparativní retrospektivní studie	40

Věk a pohlaví. Průměrný věk dětských pacientů s poraněním horní krční páteře byl 6,7 let (v rozmezí 1,9–15,8 let). V 51,1 % se jednalo o dívky, 48,9 % tvořili chlapci.

Epidemiologie. Nejčastější příčinou poranění horní krční páteře u dětí byly dopravní nehody (v 50,4 % byl pacient pasažérem motorového vozidla, v 16,5 % se jednalo o chodce sraženého autem). Další relativně častou příčinou byly pády z výšky (15,7 %), následované úrazy při sportu (7,7 %). Ostatní příčiny úrazů (poranění na trampolíně, kotrmelec, poranění při sáňkování, škrčení, pokus o oběšení, pád těžkého předmětu na pacienta, skok do vody, pád z koně, pád z kola) byly zastoupeny v menším množství.

Diagnostika. V diagnostice poranění horní krční páteře u dětí byl nejčastěji využíván rtg (64,9 %), CT (56,2 %) a nejméně MRI (51,5 %). U většiny pacientů byla provedena kombinace rtg a CT, případně rtg, CT i MRI.

Klasifikace. Poranění horní krční páteře u dětí zahrnuje heterogenní soubor poranění jednotlivých struktur. Pokud bylo poranění horní krční páteře u dětí posuzováno jako celek, bylo využíváno dělení na zlomeniny, zlomeniny a dislokace, diskoligamentózní poranění a subdurální hematomy, případně pouze dělení na zlomeniny, dislokace a ligamentózní instabilitu. U zlomenin okcipitálních kondylů byla využívána klasifikace dle Andersona a Montesana či klasifikace dle Tuliho. U atlanto-okcipitálních dislokací byla použita klasifikace dle Traynelise, případně dělení dle typu dislokace na longitudinální, přední a zadní. Dále byla měřena atlantookcipitální distance dle Kaufmana, Powersův poměr, Wackenheimova linie, CCI interval, BDI vzdálenost či Harrisova linie. U zlomenin C1 byla nejčastěji používána Gehweilerova klasifikace, případně pouhé dělení

dle místa fraktury („burst“ potom označovalo situaci, kdy byl rozlomený přední i zadní oblouk atlasu). U zlomenin C2 bylo využito rozdělení na zlomeniny dentu, „tear drop“ zlomeniny a traumatické spondylolýzy. Zlomeniny dentu byly dále klasifikovány podle Anderson & d'Alonzo, případně dle dislokace – přední, zadní, bez dislokace. Zvláštním typem zlomenin u dětí jsou fraktury C2 synchondrůz – byly děleny na lýzy, subluxe či dislokace. Rusin et al. (31) pak představili nový klasifikační systém fraktur C2 synchondrůz. U poranění segmentu C2–C3 byla využívána AO klasifikace.

Terapie. V léčbě poranění horní krční páteře u dětí byla ve více než čtvrtině případů (27,6 %) volena operační terapie, dále pak halo fixace (21,4 %). Konzervativně Minerva ortézou bylo léčeno 10,4 % pacientů, krčním límcem 21,4 % pacientů. U 2,6 % pacientů byla použita trakce, u jednoho pacienta (0,5 %) byla aplikována myorelaxantia, 15,6 % pacientů bylo léčeno pouze analgetickou terapií.

Neurologický deficit. Většina přeživších dětských pacientů s poraněním horní krční páteře byla neurologicky intaktní (69,2 %), relativně velké množství pacientů (14,4 %) zemřelo, 4,8 % pacientů bylo kvadraplegických, 2,1 % hemiplegických a 3,4 % hemiparetických. Parézu některého z hlavových nervů mělo 3,4 % pacientů, u 2,1 % pacientů byla při neurologickém vyšetření popsána hyperreflexie a 1 pacient (0,7 %) udával poruchy čítí.

Přidružená poranění. Nejčastějších přidruženým poraněním bylo kraniotrauma (39 %) a poranění thorakolumbální páteře (18,8 %). K poranění hrudníku a plic došlo u 5,8 %, k intra-abdominálnímu poranění u 4,9 % a fraktura dlouhých kostí se vyskytovala u 4 % pacientů. Ostatní přidružená poranění (poranění subaxiální krční páteře, fraktura lopatky, fraktura klíční kosti, poranění pánve, paréza VI. hlavového nervu, neurogenní poranění hlasivek) byla zastoupena v menším množství.

Komplikace. V souboru 62 pacientů bylo popsáno celkem 24 komplikací (38,7 %). Nejčastější komplikací při léčbě poranění horní krční páteře u dětí bylo selhání instrumentace (11,3 %), dále pak infekce v okolí pinu u halo fixace (9,7 %). V 6,5 % byla terapie komplikována hydrocefalem a u 4,8 % došlo k rozvoji pneumonie. Ostatní komplikace (dehiscence rány s likvorheou, hluboká infekce rány, iatrogenní disekce a. vertebralis a pooperační meningitida) se vyskytly pouze jednou (1,6 %).

DISKUSE

V současnosti nenalézáme v odborné literatuře mnoho studií zabývajících se poraněním horní krční páteře u dětí jako celkem. To je dáno faktem, že se vyskytují velmi vzácně, a i ta největší pracoviště, která se specializují na poranění krční páteře u dětí, léčí dětské pacienty s poraněním horní krční páteře pouze několikrát za rok (30).

Náš systematický přehled vychází z 15 prací a je v něm zahrnuto celkem 258 pacientů. V každé z jednotlivých 15 studií

však nebyly k dispozici všechny námi extrahované informace, proto je počet pacientů u konkrétních subtemat odlišný. Zahrnuty byly i studie zabývající se poraněním celé dětské krční páteře, ze kterých bylo možno vyselektovat potřebná data o dětských pacientech s poraněním horní krční páteře.

Věkový průměr pacientů v jednotlivých studiích se pohyboval v poměrně velkém rozmezí – od 1,9 do 15,8 let (průměrný věk v našem systematickém přehledu byl 6,7 let). Odborná literatura se shoduje na tom, že poranění horní krční páteře jsou častější v nižších věkových kategoriích. Dle Yadava et al. (41) byl výskyt poranění horní krční páteře vyšší ve věkové skupině od 0 do 9 let (75 % poranění horní krční páteře) v porovnání se staršími věkovými kategoriemi. Nitecki et al. (24) ve své práci uvádějí, že děti s poraněním horní krční páteře byly mladší než děti s poraněním dolní krční páteře. Platzner et al. (28) udávají u mladších dětí signifikantně vyšší výskyt poranění horní krční páteře než dolní krční páteře. Dle Hilla et al. (14) se dokonce u dětí ve věku 8 let a mladších vyskytovala výhradně poranění horní krční páteře, u dětí nad 8 let se potom nacházela poranění celé krční páteře. Beckmann et al. (5) udávají, že čím jsou dětští pacienti starší, tím je nižší frekvence výskytu poranění horní krční páteře.

Dle literatury bývá v nejmladších věkových skupinách poměr mezi chlapci a dívkami s poraněním horní krční páteře přibližně 1 : 1, u starších dětí a adolescentů jsou obvykle více poranění chlapci (35, 36). V našem souboru lehce převažovaly dívky (51,1 %) nad chlapci (48,9 %).

Dominující příčinou poranění horní krční páteře u dětí byly v našem souboru jednoznačně dopravní nehody (ve většině případů byl pacient pasažérem motorového vozidla, méně často se jednalo o sraženého chodce). V práci Mavese et al. (20) byly dokonce dopravní nehody příčinou všech poranění horní krční páteře.

Diagnostika poranění horní krční páteře může být vzhledem k anatomické složitosti a komplexnosti daného úseku páteře obtížná (32). Za základní vyšetření bývá považována skiografie. Vzhledem k akutnosti některých poranění (polytraumatizovaní pacienti) se však často rovnou po příjezdu pacienta do nemocnice provádí celotělové CT (bez předchozího rtg). Podle Jarverse et al. (17) jsou mnozí lékaři při indikování CT opatrní kvůli dlouhodobým účinkům ionizujícího záření, přesto však CT zůstává u polytraumatizovaných pacientů zlatým standardem. MRI je dle Schöneberga et al. (33) považována za nejlepší zobrazovací techniku pro vyšetření měkkých tkání krční páteře a doporučují její provedení u všech pacientů s neurologickým postižením. Hosalkar et al. (15) doporučují, v závislosti na stavu pacienta, provedení CT i MRI ke zhodnocení všech typů poranění krční páteře.

V terapii poranění páteře u dětí obecně dominují konzervativní postupy (38). Vzhledem k závažnosti poranění horní krční páteře je však u relativně většího počtu dětí nutné volit operační léčbu. V našem souboru byla operována více než čtvrtina dětí (27,6 %) a 21,4 % bylo léčeno halo fixací, kterou někteří autoři (36) vzhledem k ukotvení pinů také považují za operační

terapii. Babu et al. (3) zvažovali operaci v případě, že měl pacient inkompletní neurologickou lézi s nestabilitou a neměl žádně další život ohrožující poranění. Tomaszewski et al. (39) doporučují operační terapii u pacientů s neurologickým deficitem. Hasan et al. (13) doporučují operovat v případě závažných zlomenin nebo dislokací, nestabilních poranění či progredující deformitě.

Relativně velké množství pacientů v naší zkoumaném souboru zemřelo (14,4 %). Hosalkar et al. (15) prezentovali ve své práci soubor 16 pacientů s atlanto-okcipitální dislokací. Z tohoto souboru 8 pacientů zemřelo během resuscitace a tři pacienti zemřeli během operace pro závažné intrakraniální krvácení. Přežilo tedy 5 pacientů, z nichž pouze jeden byl neurologicky intaktní. Mandabach et al. (19) se zabývali poraněním atlasu u dětí. V jejich souboru 13 pacientů všichni přežili, tři pacienti byli kvadruplegičtí a 10 pacientů bylo neurologicky intaktních. Tyto rozdíly v jednotlivých souborech jsou zapříčiněny velkou heterogenitou poranění dětské horní krční páteře. Duhem et al. (9) udávají při poranění horní krční páteře neurologické postižení až v 50 %.

Počet úmrtí dětských pacientů s poraněním krční páteře bývá často spojován s kraniotraumaty, případně s dalšími přidruženými poraněními u polytraumat (36). Podle Elerakyho et al. (10) bylo kraniotrauma nejčastějším přidruženým poraněním, vyskytovalo se u 40 % poranění krční páteře u dětí a u 60 % poranění horní krční páteře u dětí.

Nejčastější komplikací bylo v našem souboru selhání instrumentace, dále pak infekce v okolí pinu u halo fixace. Fulkerson

et al. (11) udávají při použití halo fixace u dětí 43,3 % komplikací, u 11,4 % dokonce léčba selhala nebo vznikl paklob. Klimo et al. (18) ve své práci upozorňují na vysoké riziko vzniku hydrocefalu u atlanto-okcipitálních a atlanto-axiálních dislokací. V našem souboru se tato komplikace vyskytla v 6,5 %. Tomaszewski et al. (40) ve své práci upozorňují i na komplikace spojené s nošením Minerva ortézy či krčního límce – mohou se vyskytnout dekubity, zarudnutí a svědění.

ZÁVĚR

Průměrný věk dětských pacientů s poraněním horní krční páteře byl 6,7 let, mírně převažovaly dívky. Nejčastější příčinou poranění byly dopravní nehody. V diagnostice byl nejvíce využíván rtg a CT. Pokud bylo poranění horní krční páteře u dětí posuzováno jako celek, bylo využíváno dělení na zlomeniny, zlomeniny a dislokace, diskoligamentózní poranění a subdurální hematomy, případně pouze dělení na zlomeniny, dislokace a ligamentózní instability. V léčbě byla ve více než čtvrtině případů volena operační terapie, dále pak halo fixace, Minerva ortéza a krční límec. Více než dvě třetiny přeživších pacientů byly neurologicky intaktní, relativně velké množství pacientů však zemřelo. Nejčastějšími přidruženými poraněními bylo kraniotrauma a poranění thorakolumbální páteře. Nejčastějšími komplikacemi při léčbě bylo selhání instrumentace a infekce v okolí pinu u halo fixace. ■

Literatura

1. Abel TJ, Yan H, Canty M, Remick M, Dewan M, Witiw C, Lamberti-Pasculli M, Drake JM. Traumatic atlanto-occipital dislocation in children: is external immobilization an option? *Childs Nerv Syst.* 2021;37:177–183.
2. Astur N, Klimo P, Sawyer JR, Kelly DM, Muhlbauer MS, Warner WC. Traumatic atlanto-occipital dislocation in children: evaluation, treatment, and outcomes. *J Bone Joint Surg Am.* 2013;95:e194(1–8).
3. Babu RA, Arivazhagan A, Devi BI, Bhat DI, Sampath S, Chandramouli BA. Peculiarities and patterns of cervical spine injuries in children and adolescents: a retrospective series of 84 patients from a single institute. *Pediatr Neurosurg.* 2016;51:1–8.
4. Baumann F, Ernstberger T, Neumann C, Nerlich M, Schroeder GD, Vaccaro AR, Loibl M. Pediatric cervical spine injuries: a rare but challenging entity. *J Spinal Disord Tech.* 2015;28:E377–384.
5. Beckmann NM, Chinapuvvula NR, Zhang X, West OC. Epidemiology and imaging classification of pediatric cervical spine injuries: 12-year experience at a level 1 trauma center. *AJR Am J Roentgenol.* 2020;214:1359–1368.
6. Carreon LY, Glassman SD, Campbell MJ. Pediatric spine fractures: a review of 137 hospital admissions. *J Spinal Disord Tech.* 2004;17:477–482.
7. Cirak B, Ziegfeld S, Knight VM, Chang D, Avellino AM, Paidas CN. Spinal injuries in children. *J Pediatr Surg.* 2004;39:607–612.
8. Dogan S, Safavi-Abbasi S, Theodore N, Horn E, Rekate HL, Sonntag VKH. Pediatric subaxial cervical spine injuries: origins, management, and outcome in 51 patients. *Neurosurg Focus.* 2006;20:E1.
9. Duhem R, Tonnelles V, Vinchon M, Asaker R, Dhellemmes P. Unstable upper pediatric cervical spine injuries: report of 28 cases and review of the literature. *Childs Nerv Syst.* 2008;24:343–348.
10. Eleraky MA, Theodore N, Adams M, Rekate HL, Sonntag VK. Pediatric cervical spine injuries: report of 102 cases and review of the literature. *J Neurosurg.* 2000;92:12–17.
11. Fulkerson DH, Hwang SW, Patel AJ, Jea A. Open reduction and internal fixation for angulated, unstable odontoid synchondrosis fractures in children: a safe alternative to halo fixation? *J Neurosurg Pediatr.* 2012;9:35–41.
12. Hadley MN, Zabramski JM, Browner CM, Rekate H, Sonntag VK. Pediatric spinal trauma. Review of 122 cases of spinal cord and vertebral column injuries. *J Neurosurg.* 1988;68:18–24.
13. Hasan S, Waheed M, Suhrawardy AK, et al. Pediatric upper cervical spine trauma: a 10-year retrospective review

- at a pediatric trauma center. *Cureus*. 2022;14:e20995.
14. Hill SA, Miller CA, Kosnik EJ, Hunt WE. Pediatric neck injuries. A clinical study. *J Neurosurg*. 1984;60:700–706.
 15. Hosalkar HS, Cain EL, Horn D, Chin KR, Dormans JP, Drummond DS. Traumatic atlanto-occipital dislocation in children. *J Bone Joint Surg Am*. 2005;87:2480–2488.
 16. Jain A, Brooks JT, Rao SS, Ain MC, Sponseller PD. Cervical fractures with associated spinal cord injury in children and adolescents: epidemiology, costs, and in-hospital mortality rates in 4418 patients. *J Child Orthop*. 2015;9:171–175.
 17. Jarvers J-S, Herren C, Jung MK, Blume C, Meinig H, Ruf M, Weiß T, Rütther H, Welk T, Badke A, Gonschorek O, Heyde CE, Kandziora F, Knop C, Kobbe P, Scholz M, Siekmann H, Spiegl U, Strohm P, Strüwind C, Matschke S, Disch AC, Kreinest M; Spine Section of the German Society for Orthopaedics and Trauma. Pediatric cervical spine injuries—results of the German multicenter CHILDSPINE study. *Eur Spine J*. 2023;32:1291–1299.
 18. Klimo P, Astur N, Gabrick K, Warner WC, Muhlbauer MS. Occipitocervical fusion using a contoured rod and wire construct in children: a reappraisal of a vintage technique. *J Neurosurg Pediatr*. 2013;11:160–169.
 19. Mandabach M, Ruge JR, Hahn YS, McLone DG. Pediatric axis fractures: early halo immobilization, management and outcome. *Pediatr Neurosurg*. 1993;19:225–232.
 20. Maves CK, Souza A, Prenger EC, Kirks DR. Traumatic atlanto-occipital disruption in children. *Pediatr Radiol*. 1991;21:504–507.
 21. McAfee PC, Farey ID, Sutterlin CE, Gurr KR, Warden KE, Cunningham BW. The effect of spinal implant rigidity on vertebral bone density. A canine model. *Spine (Phila Pa 1976)*. 1991;16:S190–197.
 22. McGrory BJ, Klassen RA, Chao EY, Staeheli JW, Weaver AL. Acute fractures and dislocations of the cervical spine in children and adolescents. *J Bone Joint Surg Am*. 1993;75:988–995.
 23. Mohseni S, Talving P, Branco BC, Chan LS, Lustenberger T, Inaba K, Bass M, Demetriades D. Effect of age on cervical spine injury in pediatric population: a National Trauma Data Bank review. *J Pediatr Surg*. 2011;46:1771–1776.
 24. Nitecki S, Moir CR. Predictive factors of the outcome of traumatic cervical spine fracture in children. *J Pediatr Surg*. 1994;29:1409–1411.
 25. Odent T, Langlais J, Glorion C, Kassis B, Bataille J, Pouliquen JC. Fractures of the odontoid process: a report of 15 cases in children younger than 6 years. *J Pediatr Orthop*. 1999;19:51–54.
 26. Parisini P, Di Silvestre M, Greggi T. Treatment of spinal fractures in children and adolescents: long-term results in 44 patients. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2002;27:1989–1994.
 27. Patel JC, Tepas JJ, Mollitt DL, Pieper P. Pediatric cervical spine injuries: defining the disease. *J Pediatr Surg*. 2001;36:373–376.
 28. Platzer P, Jandl M, Thalhammer G, et al. Cervical spine injuries in pediatric patients. *J Trauma*. 2007;62:389–396.
 29. Polk-Williams A, Carr BG, Blinman TA, Masiakos PT, Wiebe DJ, Nance ML. Cervical spine injury in young children: a National Trauma Data Bank review. *J Pediatr Surg*. 2008;43:1718–1721.
 30. Ribeiro da Silva M, Linhares D, Cacho Rodrigues P, Monteiro EL, Santos Carvalho M, Negrão P, Pinto RP, Neves N. Paediatric cervical spine injuries. Nineteen years experience of a single centre. *Int Orthop*. 2016;40:1111–1116.
 31. Rusin JA, Ruess L, Daulton RS. New C2 synchondrosal fracture classification system. *Pediatr Radiol*. 2015;45:872–881.
 32. Salavcová L, Štulík J, Štulík V, Rybářová M, Geri G, Naňka O. Pediatric atlas anatomy and its implications for fracture treatment: an anatomical and radiological study. *Neurocirugia (Astur : Engl Ed)*. 2024;35:186–195.
 33. Schöneberg C, Schweiger B, Hussmann B, Kauther MD, Lendemans S, Waydhas C. Diagnosis of cervical spine injuries in children: a systematic review. *Eur J Trauma Emerg Surg*. 2013;39:653–665.
 34. Schwartz GR, Wright SW, Fein JA, Sugarman J, Pasternack J, Salhanick S. Pediatric cervical spine injury sustained in falls from low heights. *Ann Emerg Med*. 1997;30:249–252.
 35. Shin JI, Lee NJ, Cho SK. Pediatric cervical spine and spinal cord injury: a national database study. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2016;41:283–292.
 36. Štulík J, Nesnidal P, Kryl J, Vyskočil T, Barna M. [Unstable injuries to the upper cervical spine in children and adolescents]. *Acta Chir Orthop Traumatol Cech*. 2013;80:106–113.
 37. Štulík J, Pešl T, Kryl J, Vyskočil T, Sebesta P, Havránek P. [Spinal injuries in children and adolescents]. *Acta Chir Orthop Traumatol Cech*. 2006;73:313–320.
 38. Štulík J, Salavcová L, Trč T, Havránek P, Pešl T, Barna M. [Thoracolumbar compression fractures in children]. *Acta Chir Orthop Traumatol Cech*. 2023;90:168–175.
 39. Tomaszewski R, Gap A, Lucyga M, Rutz E, Mayr JM. Treatment of unstable occipital condylar fractures in children—a STROBE-compliant investigation. *Medicina (Kaunas)*. 2021;57:530.
 40. Tomaszewski R, Sesia SB, Studer D, Rutz E, Mayr JM. Conservative treatment and outcome of upper cervical spine fractures in young children: a STROBE-compliant case series. *Medicine (Baltimore)*. 2021;100:e25334.
 41. Yadav A, Singh A, Verma R, et al. Pediatric cervical spine injuries. *Asian J Neurosurg*. 2022;17:557–562.
 42. Zuckerbraun BS, Morrison K, Gaines B, Ford HR, Hackam DJ. Effect of age on cervical spine injuries in children after motor vehicle collisions: effectiveness of restraint devices. *J Pediatr Surg*. 2004;39:483–486.