

PŮVODNÍ PRÁCE/ORIGINAL PAPER

Využitelnost sonografie k diagnostice dětských zlomenin

Usability of Ultrasonography in the Diagnosis of Pediatric Fractures

JAKUB KRUTSKÝ¹, ŠIMON KUBOV², MARTIN ČEPELÍK¹, PETR HAVRÁNEK¹, TOMÁŠ PEŠL¹¹Klinika dětské chirurgie a traumatologie 3. lékařské fakulty Univerzity Karlovy a Fakultní Thomayerovy nemocnice, Praha²Radiodiagnostické oddělení Fakultní Thomayerovy nemocnice, Praha

Studie byla podpořena MZ ČR – RVO (Fakultní Thomayerova nemocnice – FTN, 00064190) a podpořeno ze státního rozpočtu prostřednictvím MŠMT projektem VVI CZECRIN (LM2023049).

Korespondující autor:

MUDr. Jakub Krutský
Jana Růžičky 1151/27
148 00 Praha 4

jakub.krutsky@seznam.cz

Krutský J, Kubov Š, Čepelík M, Havránek P, Pešl T. Využitelnost sonografie k diagnostice dětských zlomenin. Acta Chir Orthop Traumatol Cech. 2026;93:40–46.

ABSTRACT

Purpose of the study

The study aims to evaluate the usability of ultrasonography in the diagnosis of pediatric fractures.

Material and methods

Ultrasound examination of patients with fractures diagnosed using radiography at the Clinic of Pediatric and Trauma Surgery, Third Faculty of Medicine, Charles University and UTH between 27 May 2024 and 31 December 2024. We identified a total of 11 areas to be examined – clavicle, proximal humerus, elbow, forearm, metacarpal bones, fingers of the upper limb, sternum, femur, tibia, ankle, and metatarsal bones. The examination was performed independently by a surgeon and a radiologist, who selected the patients randomly during their treatment at the clinic. The entire bone was examined by ultrasound in all available projections, and signs of skeletal trauma (cortical bumping, cortical disruption, offset of bone fragments,

chimney effect, or indirect signs such as joint effusion) were sought.

Results

A total of 61 patients were examined, of whom 24 girls (39%) and 37 boys (61%). The mean age of patients was 10 years (1–17 years). The overall agreement between ultrasound and radiologic examinations is 94%. Ultrasonography failed to visualize two fractures, namely a non-displaced SH type II fracture of the distal fibula epiphysis and a nondisplaced SH type III fracture of the distal phalanx epiphysis. Two suspected fractures of the distal forearm detected by radiography were not observed by ultrasonography. The fracture was ruled out by a follow-up radiography, and the sonographic finding was found to be correct.

Discussion

Ultrasonography is a usable diagnostic method for skeletal trauma. The estimated sensitivity of this examination is around 97%. Our results indicate greater specificity of ultrasound in the forearm region. In agreement with literature, ultrasound can be considered usable for the diagnosis of fractures in

all examined areas. In certain locations, it can also be used to measure displacement. The weak point of the study is the limited number of patients, therefore further investigation into these matters is necessary.

Conclusions

Ultrasonography appears to be a useful screening method for skeletal trauma in children, serving as a basis for indication for radiography. This could help reduce the number of radiologic examinations performed by up to two-thirds, thereby reducing the radiation exposure in pediatric patients. Further research on these matters is needed, and diagnostic reliability indicators shall be defined. In the phase two of the study, we plan to determine the sensitivity, specificity, positive and negative predictive values for all anatomical regions. The secondary objective is to evaluate the results achieved by the surgeon and the radiologist, the painfulness of the examination, and the usability of portable ultrasound devices.

Key words: ultrasound, diagnostic methods, pediatric trauma, fracture.

ÚVOD

Značnou část pacientů na ambulanci dětské chirurgie tvoří děti po lehkých úrazech, které přicházejí za účelem vyloučení zlomeniny. Standardem diagnostiky skeletálního traumatu je skiagrafické vyšetření, jehož zásadní nevýhodou je vystavení dětských pacientů ionizujícímu záření. V březnu 2024 bylo na Klinice dětské chirurgie a traumatologie 3. lékařské fakulty Univerzity Karlovy (3. LF UK) a Fakultní Thomayerovy nemocnice (FTN) ambulantně provedeno celkem 937 skiagrafických vyšetření k vyloučení zlomeniny, z toho bylo pouze 303 pozitivních (32,3 %). Cílem naší studie je najít alternativní diagnostickou metodu, kterou bychom mohli snížit radiační zátěž pacientů a rozšířit diagnostické možnosti tam, kde rentgen není efektivní.

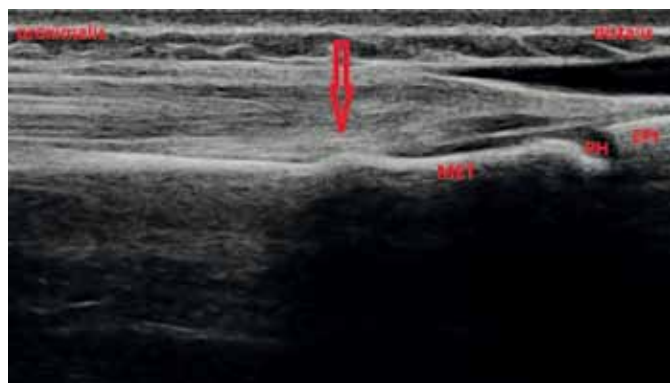
Sonografie je rozvíjející se zobrazovací metoda. V traumatologii narůstá její využití v diagnostice poranění měkkých tkání (14, 23) či při terapeutických intervencích (12). V posledních letech také četné studie prokazují její využitelnost v diagnostice skeletálních poranění (1, 11, 21). Průkopníkem této metody je Sapozhnikov (25), který v roce 1987 využil sonografii k diagnostice zlomenin předloktí u dětí. Zásadní rozvoj muskuloskeletální sonografie přichází v posledních 15 letech. Na našem pracovišti užíváme sonografii ke zlepšení diagnostiky při poranění neosifikovaného skeletu či k hodnocení radiohumerální dislokace (6, 7). Paušálně však sonografie jako diagnostická metoda skeletálního traumatu zavedena není. Cílem této studie je zhodnotit využitelnost sonografie k diagnostice zlomenin u dětí a stanovit předpokládanou senzitivitu.

MATERIÁL A METODIKA

Soubor pacientů a metody

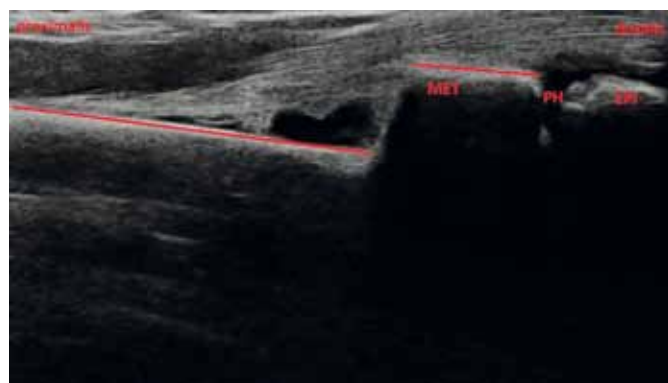
Studie byla schválena etickou komisí a byla rozdělena na 2 fáze. V první fázi studie, kterou zde prezentujeme, bylo cílem stanovit předpokládanou senzitivitu sonografického vyšetření při diagnostice zlomenin a popsat možnosti jeho využití. Studie proběhla na souboru 61 náhodně vybraných pacientů ošetřených na Klinice dětské chirurgie a traumatologie 3. LF UK a FTN v období od 27. 5. 2024 do 31. 12. 2024. Sonografické vyšetření probíhalo u pacientů se známou zlomeninou, potvrzenou pomocí skiografie. Vyšetření pacientů prováděli nezávisle jeden radiolog (Š.K.) a jeden chirurg (J.K.), kteří si pacienty vybírali náhodně v průběhu ošetření na klinice. Pacienti a jejich rodiče byli požádáni o zapojení do studie, s čímž vyjádřili souhlas podepsáním informovaného souhlasu. Chirurg získal základní dovednosti sonografické diagnostiky absolvováním praktického kurzu sonografie pohybového aparátu, který pořádalo Ortopedické centrum s.r.o. a Česká společnost pro ultrazvuk v medicíně. Oba vyšetřující absolvovali online kurz Bone Fracture Sonography pořádaný společností SonoSkills. Při vyšetření chirurgem byl využit ultrazvukový přístroj Toshiba Xario 100 a lineární sonda Toshiba PLU-1204BT, při vyšetření radiologem byl využit přístroj Samsung RS85 Prestige a lineární sonda Samsung LA3-16 A.

Stanovili jsme celkem 11 vyšetřovaných oblastí – klíční kost, proximální část pažní kosti, loket, předloktí, metakarpální kosti, prsty horní končetiny, hrudní kost, stehenní kost, bérce, hlezno, metatarzální kosti. Sonograficky byl průběh celé zlomené kosti vyšetřen ve všech dostupných projekcích a byly hledány známky skeletálního traumatu. Využívali jsme standardizované projekce definované Ackermannem (1). Například



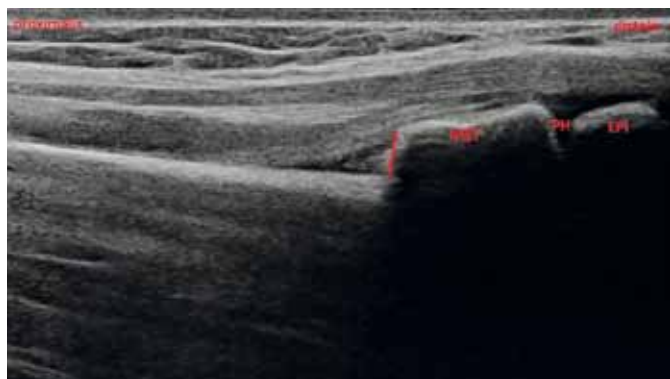
Obr. 1. Sonogram zobrazující distální radius z dorzálního pohledu, červená šipka označuje kortikální vyboulení (cortical bumping) (EPI epifýza, PH fýza, MET metafýza).

Fig. 1. Ultrasound image of dorsal aspect of distal radius, the red arrow points to cortical bumping (EPI epiphysis, PH physis, MET metaphysis).



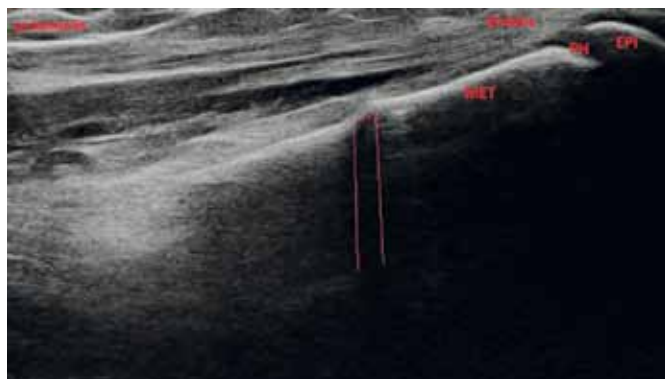
Obr. 2. Sonogram zobrazující distální radius z dorzálního pohledu, červené linie označují kortikalis proximálního a distálního fragmentu se zjevným přerušением kontinuity (cortical disruption) (EPI epifýza, PH fýza, MET metafýza).

Fig. 2. Ultrasound image of dorsal aspect of distal radius, the red lines indicate the cortex of proximal and distal fragments with obvious disruption (EPI epiphysis, PH physis, MET metaphysis).



Obr. 3. Sonogram zobrazující distální radius z dorzálního pohledu, červená linie označuje rozestup fragmentů (offset) (EPI epifýza, PH fýza, MET metafýza).

Fig. 3. Sonographic view on dorsal aspect of distal radius, red line show offset of the bone fragments (EPI epiphysis, PH physis, MET metaphysis).

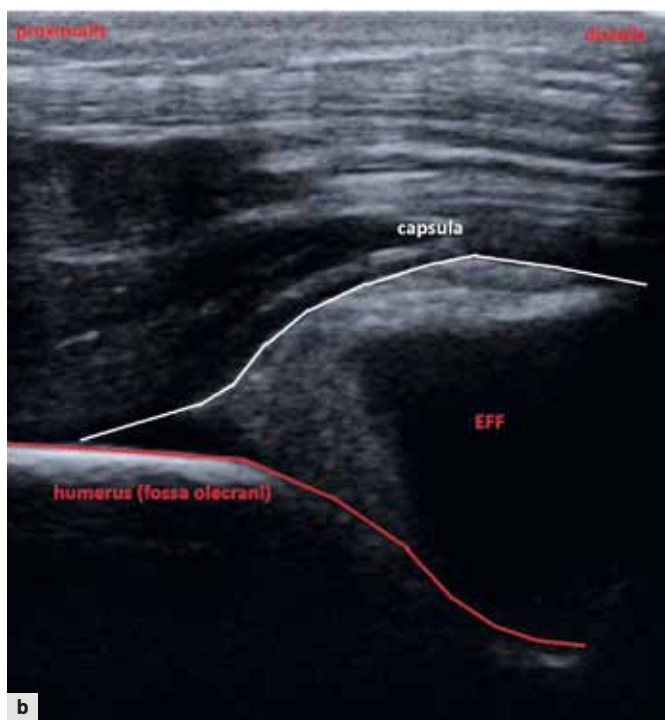
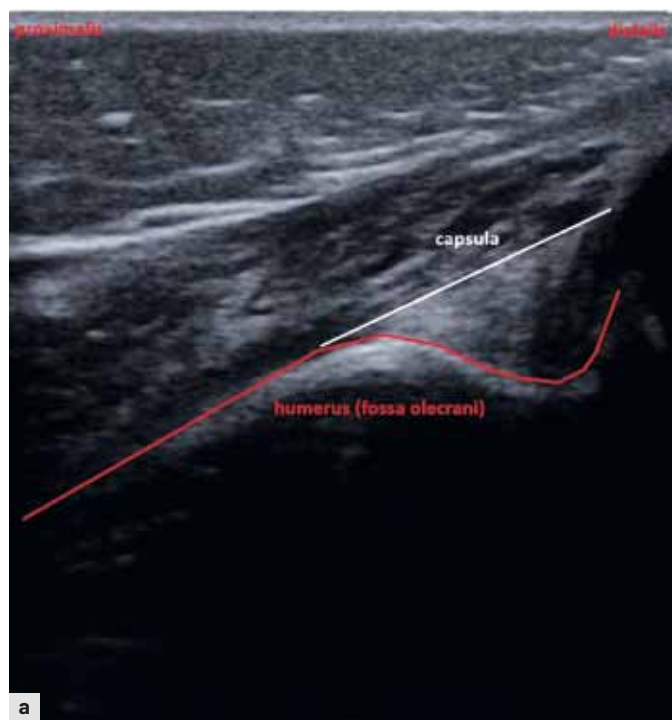


Obr. 4. Sonogram zobrazující distální radius z dorzálního pohledu, červené linie ohraničují komínový efekt (chimney effect) (EPI epifýza, PH fýza, MET metafýza).

Fig. 4. Ultrasound image of dorsal aspect of distal radius, the red lines indicate the chimney effect (EPI epiphysis, PH physis, MET metaphysis).

u nejčastěji vyšetřovaného předloktí je možné zobrazit radius z dorzální, radiální a volární strany a ulnu obdobně z dorzální, ulnární a volární strany. V sonografickém obraze za známku traumatu považujeme kortikální vyboulení (cortical bumping) (obr. 1), přerušení kontinuity kortikalis (cortical disruption)

(obr. 2), rozestup kostních fragmentů (offset) (obr. 3), komínový efekt (chimney effect) (obr. 4). Nepřímou známkou zlomeniny je kloubní výpotek (obr. 5). K měření dislokace se využívá úhel mezi rovnoběžkou s kortikalis proximálního a rovnoběžkou s kortikalis distálního fragmentu.



Obr. 5. Sonogram zobrazující distální humerus z dorzálního pohledu při 90° flexi, a – normální nález, kloubní pouzdro v rovině s dorzální hranou humeru, b – patologický nález, kloubní pouzdro nad rovinou dorzální hrany humeru, kloubní dutina vyplněná výpotkem (EFF).

Fig. 5. Ultrasound image of dorsal aspect of distal humerus in 90° flexion, a – normal finding, joint capsule in line with dorsal humeral cortex, b – pathologic finding, joint capsule above the line of dorsal humeral cortex, joint cavity filled with effusion (EFF).

Tab. 1. Soubor výsledků studie

Table 1. Summary of results of the study

VYŠETŘOVANÁ LOKALITA	POČET PACIENTŮ S POTVRZENOU ZLOMENINOU	POČET SONOGRAFICKY ZOBRAZENÝCH ZLOMENIN		CELKOVÁ SHODA UZ A RTG NÁLEZU (%)	PŘEDPOKLÁDANÁ SENZITIVITA SONOGRAFIE (%)
		U PACIENTŮ VYŠETŘENÝCH CHIRURGEM	U PACIENTŮ VYŠETŘENÝCH RADIOLOGEM		
Klíčnická kost	3	3	0	100	100
Proximální část pažní kosti	2	2	0	100	100
Loket	8	8	0	100	100
Předloktí	17	12	3	88	100*
Metakarpální kosti	2	1	1	100	100
Prsty horní končetiny	3	2	0	67	67
Hrudní kost	3	3	0	100	100
Stehenní kost	2	2	0	100	100
Bérec	5	5	0	100	100
Hlezno	11	8	2	91	91
Metatarzální kosti	5	5	0	100	100
Celkem	61	57		94	97

*kontrolou s odstupem zlomenina vyloučena, sonografický náález tak byl správný (viz výsledky)

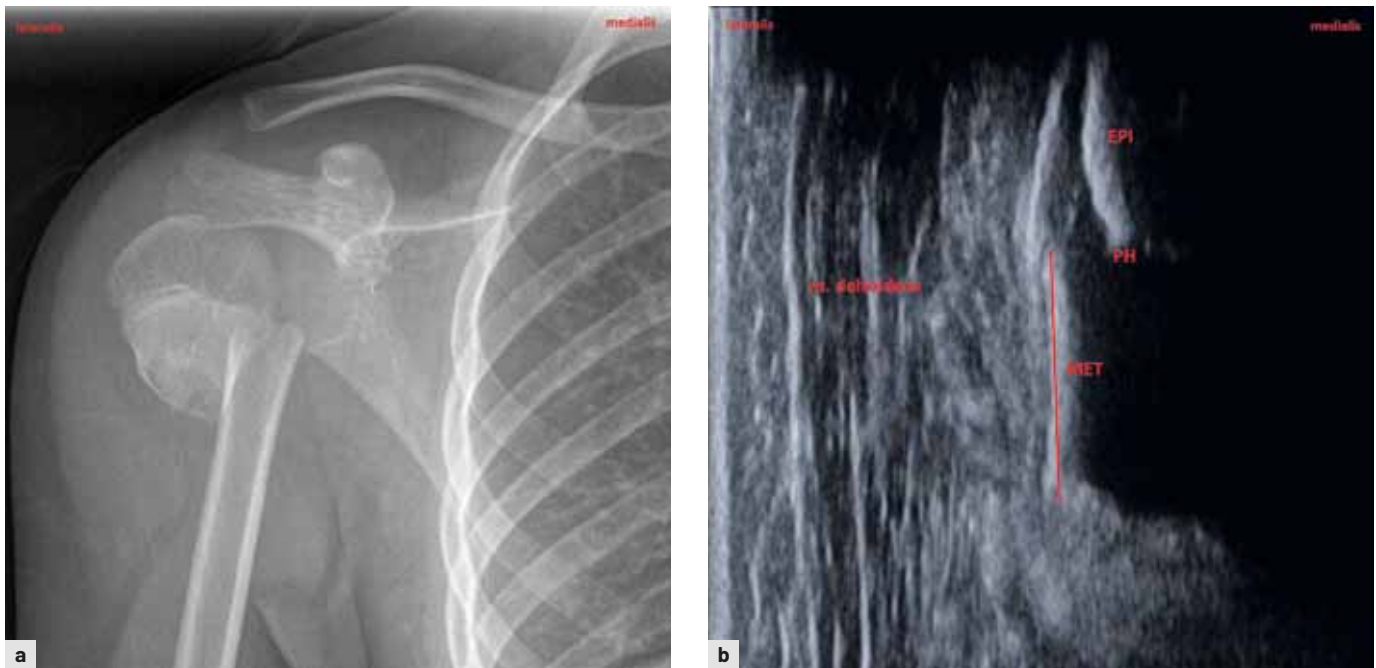
VÝSLEDKY

V uvedeném období bylo vyšetřeno 61 pacientů, z toho 24 dívek (39 %) a 37 chlapců (61 %). Průměrný věk pacientů byl 10 let (1–17 let). Souhrn našich výsledků uvádí tabulka 1. Celková shoda sonografického a skiagrafického vyšetření byla 94 %. Stoprocentní shoda ultrazvukového a rentgenového vyšetření, a tedy předpokládaná 100% senzitivita sonografie, byla v lokalitách klíčnická kost, proximální část pažní kosti, loket, metakarpální kosti, hrudní kost, stehenní kost, bérec, metatarzální kosti. Sonograficky se nepodařilo zobrazit 2 zlomeniny, a to separaci distální epifyzy fibuly II. typu podle Saltera a Harrise (SH II) bez dislokace a zlomeninu epifyzy distálního článku prstu typu SH III bez dislokace. V lokalitě hlezno byla shoda ultrazvukového a rentgenového vyšetření, a tedy i předpokládaná senzitivita 91 %. V lokalitě prsty horní končetiny byla shoda a předpokládaná senzitivita 67 %. Dále jsou v souboru 2 případy dle skiografie suspektní separace distální epifyzy radia typu SH II bez dislokace, které ale při sonografickém vyšetření nebyly patrné. Celková shoda sonografie a skiografie v lokalitě předloktí byla 88 %. Následnou kontrolou s odstupem 10 dní byly tyto zlomeniny vyloučeny a sonografický náález byl tak správný. Předpokládanou senzitivitu v lokalitě předloktí můžeme považovat za 100 % a specifita sonografie je v tomto případě vyšší než specifita skiografie.

DISKUSE

Výsledky první fáze studie ukazují využitelnost sonografie jakožto diagnostické metody při skeletálním traumatu. Předpokládaná senzitivita tohoto vyšetření je kolem 97 %. Potvrzujeme využitelnost sonografie k diagnostice zlomenin klíčnické kosti (5, 18), zlomenin proximální části pažní kosti (obr. 6) (2), či zlomenin v oblasti lokte. V této lokalitě má hlavní přínos vizualizace hemartros, jakožto nepřímá známka skeletálního traumatu (9, 27).

Sonografie je vhodná metoda k diagnostice zlomenin předloktí (10, 19, 26). Naše výsledky naznačují vyšší specifitu sonografického vyšetření, než je specifita skiagrafického. S pomocí ultrazvuku můžeme diagnostikovat také zlomeniny metakarpálních kostí (4), zlomeniny hrudní kosti (15, 20), zlomeniny stehenní kosti (3), zlomeniny bérce (16, 17) a zlomeniny metatarzálních kostí (8). Senzitivita v diagnostice zlomenin prstů je v našem souboru velmi malá. V literatuře je popisováno využití sonografie hlavně k diagnostice abrupcí báze článků prstů (24), což se v našem souboru podařilo také zachytit. Dále jsme diagnostikovali jednu separaci epifyzy základního článku typu SH II. Naopak zlomeninu epifyzy distálního článku typu SH III se zobrazit nepodařilo. V oblasti hlezna byla senzitivita vyšetření 91 %, tudíž sonografie může být využitelná (22). Sonograficky se nepodařilo vizualizovat separaci distální epifyzy fibuly typu SH II. Stejně jako při skiagrafickém vyšetření je sporná diagnostika kortikálních abrupcí (ekvivalenty vazivového poranění). Kortikální fragmenty se daří vcelku efektivně

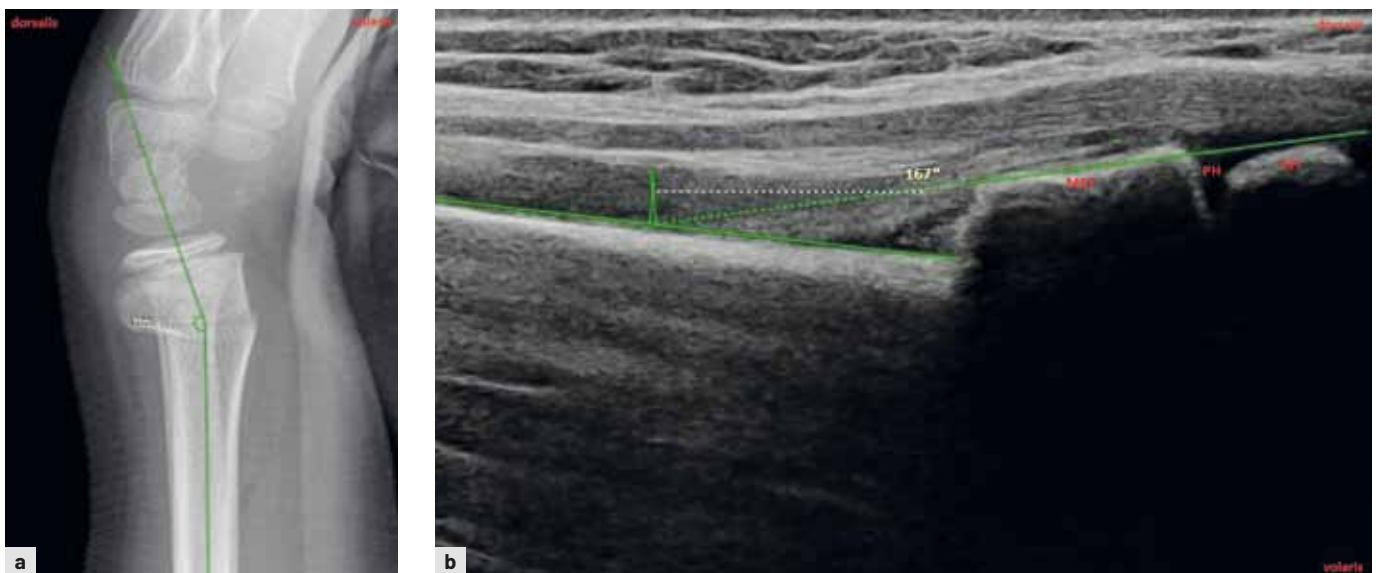


Obr. 6. a – AP rtg snímek pravého ramena s patrnou zlomeninou proximální metafýzy humeru, b – sonogram zobrazující proximální humerus z transdeltoidálního (laterálního) pohledu, červená linie označuje kortikalis proximální metafýzy se zjevným přerušením kontinuity (cortical disruption) (EPI epifýza, PH fýza, MET metafýza).

Fig. 6. a – AP X-ray image of right shoulder with proximal metaphyseal humeral fracture, b – ultrasound image of proximal humerus from transdeltoid (lateral) view, the red line indicates cortex of proximal humeral metaphysis with obvious cortical disruption (EPI epiphysis, PH physis, MET metaphysis).

zobrazit. Nepodařilo se však zatím nalézt jednoznačné znaky určující, zda se jedná o čerstvé nebo starší trauma nebo přídatné osifikační jádro. Kromě samotné diagnostiky zlomenin

lze sonografii v některých lokalitách využít taktéž k měření dislokace (obr. 7)(13). Slabinou studie je velikost souboru pacientů a sonografické vyšetřování pouze potvrzených zlomenin.



Obr. 7. a – boční rtg snímek levého zápěstí se zlomeninou distální metafýzy radia, měřena dorzální dislokace 14°, b – sonogram zobrazující distální radius z dorzálního pohledu, mezi rovnoběžkou s povrchem proximálního a distálního fragmentu měřen úhel dorzální dislokace 13° (EPI epifýza, PH fýza, MET metafýza).

Fig. 7. a – lateral X-ray image of left wrist with distal radial metaphyseal fracture, dorsal axial dislocation 14°, b – ultrasound image of distal radius from dorsal view, measured dorsal axial displacement 13° (EPI epiphysis, PH physis, MET metaphysis).

Jednalo se ale o první fázi studie, která měla za cíl ověřit možnost využití sonografie. Nyní následuje druhá fáze s větším počtem vyšetřených pacientů, která má za cíl stanovit senzitivitu, specificitu, pozitivní a hlavně negativní prediktivní hodnotu v jednotlivých vyšetřovaných oblastech bez znalosti výsledku skiagrafického vyšetření. Sekundárním cílem bude porovnat výsledky dosažené vyšetřujícím chirurgem a radiologem a zároveň zhodnotit využitelnost přenosných sonografických přístrojů a bolestivost při sonografickém vyšetření.

ZÁVĚR

Sonografie je dostupná a bezpečná metoda využitelná k diagnostice zlomenin. Očekáváme využitelnost sonografie především v akutním provozu, kde může sloužit jako screeningová metoda s vysokou mírou senzitivity, podle níž se bude řídit indikace skiagrafického vyšetření. Zásadní benefit v tomto postupu spatřujeme v eliminaci až $\frac{2}{3}$ skiagrafických vyšetření, čímž se bude redukovat radiační zátěž dětských pacientů. Při potvrzené nebo suspektní zlomenině je rentgenová diagnostika metodou volby, neboť sonograficky nelze hodnotit přesný typ zlomeniny a v některých lokalitách také míru dislokace. První fáze studie potvrzuje pouze využitelnost sonografie k diagnostice zlomenin, s ohledem na velikost souboru je další studování této problematiky nutné. ■

Literatura

- Ackermann O, Fischer CA, Grosser K, Hauenstein C, Kluge S, Moritz JD, Berthold L, von Kaisenberg C, Tesch C. Fracture sonography-review of literature and current recommendations. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2024;144:3025–3043.
- Ackermann O, Sesia S, Berberich T, Liedgens P, Eckert K, Grosser K, Roessler M, Rüländer C, Vogel T. Sonographische Diagnostik der subkapitalen Humerusfraktur im Wachstumsalter [Sonographic diagnostics of proximal humerus fractures in juveniles]. *Unfallchirurg.* 2010;113:965–965.
- Akinmade A, Ikem I, Ayoola O, Orimolade E, Adeyeye A. Comparing ultrasonography with plain radiography in the diagnosis of paediatric long-bone fractures. *Int Orthop.* 2019;43:1143–1153.
- Aksay E, Yesilaras M, Kilic TY, Tur FC, Sever M, Kaya A. Sensitivity and specificity of bedside ultrasonography in the diagnosis of fractures of the fifth metacarpal. *Emerg Med J.* 2015;32:221–225.
- Cross KP, Warkentine FH, Kim IK, Gracely E, Paul RI. Bedside ultrasound diagnosis of clavicle fractures in the pediatric emergency department. *Acad Emerg Med.* 2010;17:687–693.
- Čepelík M, Hendrych J, Melínová H, Havránek P, Pešl T. Ultrasound imaging in diagnostics of Monteggia lesion in children. *J Child Orthop.* 2022;16:262–268.
- Čepelík M, Melínová H, Havránek P, Pešl T. Ultrasound diagnostics of a rare injury of the unossified pediatric skeleton – case report. *Rozhl Chir.* 2022;101:85–89.
- Ebrahimi M, Habibzadeh SR, Ahmadi SR, Khajeh Nasiri S, Kaveh MM, Foroughian M. Diagnostic Accuracy of Ultrasonography in Diagnosis of Metatarsal Bone Fracture; a Cross Sectional Study. *Arch Acad Emerg Med.* 2019;7:49–49.
- Eckert K, Ackermann O, Janssen N, Schweiger B, Radeloff E, Liedgens P. Accuracy of the sonographic fat pad sign for primary screening of pediatric elbow fractures: a preliminary study. *J Med Ultrason.* 2001;41:473–480.
- Epema AC, Spanjer MJB, Ras L, Kelder JC, Sanders M. Point-of-care ultrasound compared with conventional radiographic evaluation in children with suspected distal forearm fractures in the Netherlands: a diagnostic accuracy study. *Emerg Med J.* 2019;36:613–616.
- Hübner U, Schlicht W, Outzen S, Barthel M, Halsband H. Ultrasound in the diagnosis of fractures in children. *J Bone Joint Surg Br.* 2000;82-B:1170–1173.
- Chang KV, Mezian K, Naňka O, Wu WT, Lin CP, Özçakar L. Ultrasound-guided interventions for painful shoulder: from anatomy to evidence. *J Pain Res.* 2018;11:2311–2322.
- Chen L, Kim Y, Moore CL. Diagnosis and guided reduction of forearm fractures in children using bedside ultrasound. *Pediatr Emerg Care.* 2007;23:528–531.
- Keřkovský M, Šprláková-Puková A, Uher T, Vojtaník P, Rouchal M. Význam UZ vyšetření v diagnostice poranění ramenního kloubu [Role of ultrasonography in the diagnosis of shoulder joint injury]. *Acta Chir Orthop Traumatol Cech.* 2008;75:167–172.
- Khalil PA, Benton C, Toney AG. Point-of-Care Ultrasound Used to Diagnose Sternal Fractures Missed by Conventional Imaging. *Pediatr Emerg Care.* 2021;37:106–107.
- Kozaci N, Ay MO, Avci M, Turhan S, Donertas E, Celik A, Ararat E, Akgun E. The comparison of point-of-care ultrasonography and radiography in the diagnosis of tibia and fibula fractures. *Injury.* 2017;48:1628–1635.
- Lewis D, Logan P. Sonographic diagnosis of toddler's fracture in the emergency department. *J Clin Ultrasound.* 2006;34:190–194.
- Liu J, Zhang L, Qiu RX. Ultrasound instead of X-ray to diagnose neonatal fractures: a feasibility study based on a case series. *Front Pediatr.* 2022;10:847776.
- Li XT, Shen XT. Ultrasonography or radiography for suspected pediatric distal forearm fractures. *N Engl J Med.* 2023;389:673–673.
- Masoudi A, Naraghi L. Point-of-care ultrasound for diagnosis and pain

- control of sternal fracture. *Cureus*. 2022;14:e22882.
21. Moritz JD. Sonographic fracture diagnosis in children and adolescents. *Rofo*. 2023;195:790–796.
22. Najaf-Zadeh A, Nectoux E, Dubos F, Happiette L, Demondion X, Gnansounou M, Herbaux B, Martinot A. Prevalence and clinical significance of occult fractures in children with radiograph-negative acute ankle injury. A meta-analysis. *Acta Orthop*. 2014;85:518–524.
23. Novotný T, Mezian K, Hrazdira L, Chomiak J. Sonografie pohybového aparátu. *Acta Chir Orthop Traumatol Cech*. 2021;88(Suppl):9–49
24. Saito S, Sawabe K, Suzuki Y, Suzuki S. Ultrasonographic characteristics of volar-lateral ligament constrains after proximal interphalangeal joint injuries. *J Plast Surg Hand Surg*. 2016;50:216–221.
25. Sapozhnikov VG, Sedin IUF, Sytnikova KIA. [Ultrasonic examination of children with fractures of the forearm bones]. *Chirurgia*. 1987;8:111–113.
26. Williamson D, Watura R, Cobby M. Ultrasound imaging of forearm fractures in children: a viable alternative? *J Accid Emerg Med*. 2000;17:22–24.
27. Zuazo I, Bonnefoy O, Tauzin C, Borocco A, Lippa A, Legrand M, Chateil JF. Acute elbow trauma in children: role of ultrasonography. *Pediatr Radiol*. 2008;38:982–988.