



Uniwersytet Jagielloński
Collegium Medicum
Wydział Lekarski

Maria Dzierżęga

**Algorytm postępowania diagnostycznego
w złamaniach odcinka dalszego
kości przedramienia u dzieci z wykorzystaniem
obrazowania ultrasonograficznego**

Praca doktorska

Promotor: dr hab. n. med. Jerzy Sułko

Pracę wykonano w Zakładzie Dziecięcej Medycyny Ratunkowej

Kierownik: dr hab. n. med. Piotr Wojciechowski

Kraków, 2015

Pragnę wyrazić moje podziękowania:

*dr. hab. n. med. Jerzemu Sułce, mojemu promotorowi,
za wszelką pomoc w opracowaniu mojej pracy doktorskiej,*

*dr hab. n. med. Piotrowi Wojciechowskiemu
kierownikowi Zakładu Dziecięcej Medycyny Ratunkowej Instytutu Pediatrii Collegium
Medicum Uniwersytetu Jagiellońskiego, gdzie badania były przeprowadzane,*

*dr n. med. Janinie Lankosz-Lauterbach
kierownikowi Szpitalnego Oddziału Ratunkowego Uniwersyteckiego Szpitala Dziecięcego
w Krakowie za mobilizację do prowadzenia badań naukowych,*

*doktorowi Dariuszowi Chmielowi
za codzienną współpracę w ramach Szpitalnego Oddziału Ratunkowego Uniwersyteckiego
Szpitala Dziecięcego w Krakowie,*

*przede wszystkim zaś dziękuję mojej Rodzinie,
której wyrozumiałość, cierpliwość i wsparcie jest nie do przecenienia.*

Spis treści

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 1 | Wstęp | 3 |
| 2 | Budowa histologiczna i rozwój kości | 4 |
| 2.1 | Budowa histologiczna kości | 4 |
| 2.2 | Rozwój kości | 4 |
| 3 | Budowa anatomiczna przedramienia | 6 |
| 4 | Rozwój kości przedramienia | 11 |
| 5 | Biologia gojenia złamań kości u dzieci | 12 |
| 6 | Klasyfikacja złamań u dzieci | 14 |
| 7 | Metody obrazowania w diagnostyce urazów układu kostnego | 18 |
| 7.1 | Charakterystyka diagnostyki rentgenowskiej w świetle praw fizyki | 18 |
| 7.2 | Charakterystyka diagnostyki ultrasonograficznej w świetle praw fizyki | 20 |
| 7.3 | Charakterystyka diagnostyki rezonansem magnetycznym w świetle praw fizyki | 23 |
| 8 | Założenia i cel pracy | 25 |
| 9 | Analiza statystyczna | 27 |
| 10 | Materiał i metoda badań | 28 |
| 10.1 | Sposób przeprowadzania badania | 28 |
| 11 | Wyniki | 32 |
| 11.1 | Przykłady kliniczne | 37 |
| 12 | Dyskusja | 43 |
| 13 | Wnioski | 50 |
| | Streszczenie | 52 |
| | Summary | 54 |

| | |
|----------------------|-----------|
| Bibliografia | 56 |
| Spis rysunków | 60 |

Rozdział 1

Wstęp

Złamania dalszego odcinka kości przedramienia stanowią około $3/4$ wszystkich złamań u dzieci. Złamania w zakresie nasady dalszej kości promieniowej, z racji powszechności występowania zwane są złamaniem w miejscu typowym (łac. *loco typico*). Narzędziem diagnostycznym jest zdjęcie rentgenowskie stosowane powszechnie od początków XX wieku. Klasyfikacja złamań jest również oparta na diagnostyce rentgenowskiej.

Pierwsze aparaty rentgenowskie były zastosowane do diagnostyki układu kostnego przez samego Wilhelma Roentgena. Słynne zdjęcie ręki żony naukowca z roku 1869 obiegło cały świat. Postęp w zakresie diagnostyki rentgenowskiej oczywiście jest ogromny, obecnie stosujemy zdjęcia cyfrowe zamiast klisz rentgenowskich, znacznie zmniejszono dawkę promieniowania X stosowaną w badaniu.

Oczywiście całe tysiąclecia lekarze leczyli złamania, nie stosowano poza badaniem klinicznym żadnych badań obrazowych. Rozwój techniki zmienił ten stan radykalnie. Odnosi się jednak wrażenie, że zastosowanie diagnostyki rentgenowskiej jest nadużywane, szczególnie u dzieci. Wskazaniem do wykonania zdjęcia rentgenowskiego jest ból w zakresie układu kostnego, stan po urazie, niewielki obrzęk, nawet kiedy funkcja kończyny jest w minimalnym stopniu upośledzona. Złamania bez przemieszczenia nie wymagają poza unieruchomieniem specjalnego leczenia. Trudno jednak w sposób radykalny zrezygnować z diagnostyki radiologicznej. Należy natomiast zastanowić się nad innymi nieszkodliwymi metodami obrazowania w wybranych sytuacjach klinicznych.

Rozdział 2

Budowa histologiczna i rozwój kości

Układ kostny stanowi rusztowanie dla całego organizmu. Wraz z układem mięśniowym bierze udział w ruchu ciała. Jego budowa anatomiczna i histologiczna odzwierciedla te zadania. Budowa kości u dzieci jest odmienna od dorosłych, co wynika z niezakończoności procesu rośnięcia [1].

2.1 Budowa histologiczna kości

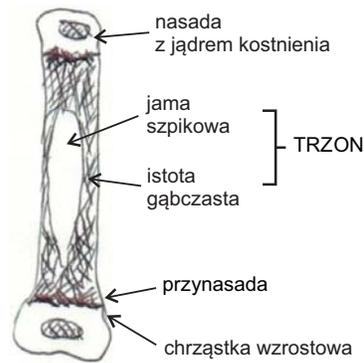
Kości zbudowane są z beleczek kostnych, naczyń odżywczych i chrząstek. Beleczki kostne układają się w mniej lub bardziej zbitą siateczkę. W kościach długich istota zbita, czyli gęsto ułożone beleczki kostne, występuje na powierzchni kości. Istota zbita w zakresie trzonu tworzy grubą warstwę, natomiast na nasadach jest ona cieńsza. Wewnątrz kości znajduje się istota gąbczasta, czyli beleczki kostne ułożone w siateczkę. W trzonie prawie wyłącznie znajduje się istota zbita, a w nasadach, istota gąbczasta. Powierzchnie stawowe pokryte są chrząstką. Wewnątrz trzonu kości długich przebiega jama szpikowa ze zrębem szpiku w postaci silnie ukrwionej gąbczastej masy. Kość od zewnątrz pokryta jest błoną włóknistą, silnie unaczynioną i unerwioną noszącą nazwę okostnej. Naczynia okostnej łączą się z naczyniami kości biegnącymi w tzw. kanałach Haversa i Volkmana. Wokół chrząstek znajduje się gruba, włóknista błona, czyli ochrzęstna, która z czasem przekształca się w okostną [2].

2.2 Rozwój kości

Kości tworzą się w okresie embrionalnym na dwa sposoby:

- z błony łącznotkankowej – kości płaskie,
- z chrząstki, której komórki powiększają się i degenerują, a na miejscu powstałego podłoża tworzy się kość- kostnienie śródchrzęstne (*ossificatio endochondralis*). Tak powstają kości długie.

Już w 5 tygodniu życia płodowego komórki mezenchymy grupują się, wytwarzają wypustki oraz istotę międzykomórkową i przetwarzają się w komórki chrząstkotwórcze (chondroblasty). W zawiązkach kości długich powstaje tkanka chrzęstna szklista, pokryta błoną- ochrzęstną (oprócz powierzchni stawowych). Tkanka chrzęstna zbudowana



Rysunek 2.1: Schemat budowy kości długiej w okresie aktywności wzrostowej – rycina własna.

jest z komórek chrzęstnych (chondrocytów) i istoty międzykomórkowej, a w niej gęste utkanie włókien klejodajnych. Tkanka rozrasta się od środka, tu komórki (chondroblasty) tworzą jamki, a na powierzchni pod ochrząstną nawarstwiają się włókna klejodajne. Komórki, które zostają „uwięzione” w istocie międzykomórkowej przekształcają się w kości w osteocyty- komórki kostne. Istota międzykomórkowa z klejowej przez mineralizację solami wapnia staje się sztywna i zamienia się w beleczki i blaszki (osteoid). Komórki niszczące, modelujące chrząstkę to chondroklasty (chondroclast). W kości uwapnianej komórki niszczące i przebudowujące kość to osteoklasy (osteoclast).

Wapnienie i tworzenie kości na podłożu chrząstki zaczyna się pod okostną, która powstaje z ochrząstnej. Na powierzchni trzonu powstaje mankiet kostny. Liczne „pączki kostnienia” tworzą się pod okostną i przez nie wnikają naczynia i komórki kościotwórcze w głąb trzonu. Naczynia wnikają w podłoże i transportują komórki macierzyste, które transformują do osteoblastów, chondroklastów, osteoklastów. Kość kostnieje i równocześnie wydłuża się oraz powiększa poprzeczny przekrój trzonu. Punkty kostnienia nazywamy jądrami kostnienia.

Chrzątka nasady dzieli się na chrząstkę stawową, kontaktującą się z sąsiednią kością oraz chrząstkę nasadową- wzrostową (*cartilago epiphysialis*). Wzrastanie kości odbywa się dzięki pracy komórek kościotwórczych przez nawarstwianie (*appositio*) tkanki kostnej, ale też przez ciągły proces kościogubny (*resorbatio*).

W kości rosnącej wyróżniamy następujące części (Rys.2.1):

- trzon (*diaphysis, corporis*),
- przynasada (*metaphysis*) - rozszerzająca się część trzonu przylegająca do nasady,
- chrząstka wzrostowa (*physis*),
- nasada (*epiphysis*).

Części chrzęstne z biegiem czasu kostnieją inicjując rozwój jamy szpikowej we wnętrzu. W miarę upływu czasu kość zmienia swoje własności z elastycznej, podatnej na ugięcia, na kość twardą.

Rozdział 3

Budowa anatomiczna przedramienia

Kościec przedramienia utworzony jest przez dwie kości długie: promieniową (*radius*), leżącą po stronie kciuka oraz łokciową (*ulna*), leżącą po stronie palca piątego ręki (Rys. 3.1). Kości te są oddalone od siebie łukowato i łączą się ruchomo oboma końcami, a pomiędzy nimi znajduje się elipsoidalna przestrzeń wypełniona błoną międzykostną (*membrana interossea antebrachii*). Kość promieniowa swym dalszym końcem sięga niżej niż kość łokciowa i jest od niej dłuższa. W pozycji odwrócenia obie kości biegną równoległe, a ręka swą powierzchnią dłoniową jest skierowana do przodu. W nawróceniu kości krzyżują się, a kość promieniowa znajduje się z przodu w odniesieniu do łokciowej. W położeniu pośrednim obie kości są najbardziej oddalone od siebie.



Rysunek 3.1: Schemat budowy kości przedramienia - za pozwoleniem Muzeum Przyrodniczego Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu [3].

Kość łokciowa (*ulna*) jest cieńsza w swym końcu dalszym, posiada trzon kształtu trójgraniastego, nieco wypukły w stronę palca piątego ręki. Ma trzy powierzchnie - przednią, tylną i przyśrodkową, a także trzy brzegi - przedni, tylny i międzykostny.

Brzeg przedni (*margo anterior*) jest u dołu zaokrąglony. Brzeg tylny (*margo po-*

sterior) jest nieco wygięty w kształcie litery S, u dołu gładki i zaokrąglony. Brzeg międzykostny (*margo interosseus*), czyli boczny, stanowi przyczep błony międzykostnej.

Powierzchnia przednia (*facies anterior*), u dołu znacznie węższa, jest miejscem przyczepu mięśnia nawrotnego czworobocznego (*m. pronator quadratus*). Powierzchnia tylna (*facies posteriori*) ku dołowi zwęża się, wygładza i zaokrągla oraz dzieli na dwie części: przyśrodkową i boczną. Powierzchnia przyśrodkowa jest pokryta mięśniem prostownikiem łokciowym nadgarstka (*m. flexor carpi ulnaris*), a boczna jest miejscem przyczepu od góry następujących mięśni: odwodziciela długiego kciuka (*m. extensor pollicis longus*), prostownika długiego kciuka (*m. extensor pollicis longus*) i prostownika wskaziciela (*m. extensor indicis*).

Powierzchnia przyśrodkowa (*facies medialis*) jest wąska i wypukła ku dołowi, leży podskórnie. Koniec dalszy jest znacznie mniejszy i węższy od bliższego oraz tworzy dwie wyniosłości. Wyniosłość przednia większa i zaokrąglona stanowi głowę kości łokciowej, do tyłu i nieco przyśrodkowo od niej znajduje się wyniosłość druga, wyrostek rylcowaty (*processus styloideus*). Głowa kości łokciowej ma dwie zaokrąglone powierzchnie stawowe pokryte chrząstką włóknistą. Dolna łączy się z trójkątnym krążkiem stawowym oddzielającym kość łokciową od kości nadgarstka; druga, położona na obwodzie głowy to obwód stawowy głowy, który jest połączony z wcięciem łokciowym kości promieniowej (*incisura ulnaris*).

Wyrostek rylcowaty - mały, cylindryczny, tępo zakończony - jest skierowany ku dołowi i sięga niżej niż głowa. Po stronie tylnobocznej jest on swym wgłobieniem wyraźnie oddzielony od głowy. Głowa i wyrostek rylcowaty są dobrze wyczuwalne.

Kość łokciowa leży bardziej powierzchownie, stąd częściej łamie się w mechanizmie bezpośredniego urazu. Trzon kości łokciowej tworzy kość zbita, a jej końce kość gąbczasta. Na obrzeżu dalszym kości istota gąbczasta jest bardzo gęsta, beleczki kostne przebiegają tu pionowo, kierując się ku głowie, a inne ku wyrostkowi rylcowatemu.

Kość promieniowa (*radius*) jest kością długą położoną po stronie kciuka. Koniec dalszy jest szerszy, stanowi główną część stawu promieniowo-nadgarstkowego (*articulatio radiocarpea*). Trzon ma kształt trójgraniasty, wygięty nieco w kierunku bocznym, u dołu znacznie szerszy. Wyróżnia się trzy brzegi – przedni, tylny i międzykostny oraz trzy powierzchnie – przednią, tylną i boczną.

Brzeg przedni, u dołu powyżej wyrostka rylcowatego, kończy się małym guzkiem, do którego przyczepia się ścięgno mięśnia ramienno-promieniowego (*ligamentum m. brachioradialis*). Brzeg tylny w końcu dolnym jest słabo zaznaczony. Brzeg międzykostny, czyli przyśrodkowy, w części dolnej rozdwaja się i kończy u przedniego i tylnego wcięcia łokciowego. Do tylnego odgałęzienia przyczepia się dolna część błony międzykostnej. Trójkątne pole położone między oboma odgałęzieniami brzegu jest miejscem przyczepu mięśnia nawrotnego czworobocznego (*m. pronator quadratus*).

Powierzchnia tylna lub grzbietowa jest w środkowej części wklęsła i tam ma przyczep odwodziciela długa kciuka (*m. adductor pollicis longus*), poniżej zaś prostownik krótki kciuka (*m. extensor pollicis brevis*). Dolna trzecia część jest wypukła, szeroka i pokryta ścięgnami leżącymi w rowkach na końcu dalszym.

Powierzchnia boczna jest wypukła, w połowie długości przyczepia się mięsień nawrotny obły (*m. pronator teres*), część dolna jest węższa i pokryta ścięgnami odwodziela długiego kciuka (*m. adductor pollicis longus*) oraz prostownika krótkiego kciuka (*m. flexor pollicis brevis*).

Koniec dolny jest szeroki, czworoboczny. Powierzchnia stawowa nadgarstkowa skierowana jest ku dołowi, pokryta chrząstką szklistą i podzielona na dwie części: boczna łączy się z kością łódeczkowatą nadgarstka (*os scaphoideum*), a przyśrodkowa z kością księżycowatą (*os lunatum*).

Powierzchnia stawowa do kości łokciowej również pokryta chrząstką szklistą nazywana jest wcięciem łokciowym (*incisio ulnaris*). Jest ona wklęsła, wąska i łączy się z głową kości łokciowej. Do obu tych powierzchni przyczepia się podstawa krążka stawowego.

Powierzchnia boczna końca dalszego kończy się wyrostkiem rylcowatym, do jego wierzchołka przyczepia się więzadło poboczne promieniowe nadgarstka (*ligamentum laterale carpi radiale*). Na bocznej powierzchni wyrostka rylcowatego znajduje się rowek dla ścięgien odwodziela długiego kciuka (*m. adductor pollicis longus*) i prostownika krótkiego kciuka (*m. extensor pollicis brevis*). Powierzchnia tylna jest wypukła, do niej przyczepia się więzadło promieniowo-nadgarstkowe grzbietowe (*ligamentum radiocarpum dorsale*), powyżej są rowki dla ścięgien prostownika promieniowego długiego nadgarstka (*m. extensor radialis carpi longus*), prostownika promieniowego krótkiego nadgarstka (*m. extensor radialis carpi brevis*), prostownika długiego kciuka (*m. extensor pollicis longus*) oraz prostownika wskaziciela (*m. extensor indicis*) i prostownika palców (*m. extensor digitorum*).

Koniec dolny jest dobrze wyczuwalny. Struktura kości promieniowej jest podobna jak łokciowej. W obu końcach beleczki kostne w istocie gąbczastej przebiegają pionowo.

W odcinku dalszym obie kości przedramienia łączą się w staw promieniowo-łokciowy dalszy (*articulatio radioulnaris distalis*). Kość łokciowa tworzy głowę objętą przez panewkę utworzoną przez kość promieniową. Krążek stawowy przylega do głowy kości łokciowej pokrytej chrząstką włóknistą, przyczepia się do wyrostka rylcowatego kości łokciowej i do krawędzi kości promieniowej. Jest dwuwklęsły i ma u dorosłego 5 mm grubości. Krążek stawowy przylega do stawu promieniowo-łokciowego jedną powierzchnią, a drugą do stawu promieniowo-nadgarstkowego (*articulatio radiocarpa*). Torebka stawowa jest mocna i najgrubsza po stronie tylnej kości promieniowej. Pomiedzy kośćmi przedramienia rozpięta jest błona międzykostna.

Przedramię zawiera dziewiętnaście mięśni. Brzuśce mięśni leżą w części bliższej przedramienia, zaś w dalszej ich ścięgna. Od powięzi przedramienia wnikają włókna łącznotkankowe w głąb przegrody łącznotkankowej i dzielą mięśnie na trzy grupy: boczną (promieniową), przednią (dłoniową), tylną (grzbietową). Mięśnie tworzą dwa wały mięśniowe utworzone przez przednią i boczną grupę. Wały te tworzą bruzdę promieniową przedramienia (*sulcus antebrachii radialis*), w której biegnie tętnica promieniowa (*arteria radialis*) oraz gałąź powierzchowna nerwu promieniowego (*nervus medianus*). W dalszym odcinku tętno tętnicy promieniowej jest bardzo dobrze wyczuwalne. Bruzda łokciowa przednia jest słabiej zaznaczona. Przebiega ona równolegle do

bruzdy promieniowej. W jej głębi znajduje się nerw i naczynia łokciowe.

Każda grupa mięśniowa dzieli się na warstwę powierzchowną i głęboką. Grupa przednia (dłoniowa) mięśni przedramienia jest to grupa zginaczy silniejsza od pozostałych. W obszarze odcinka dalszego przedramienia znajdziemy z warstwy powierzchniowej grupy przedniej mięśni przedramienia następujące mięśnie: zginacz promieniowy nadgarstka (*m. flexor carpi radialis*), zginacz dłoniowy długi (*m. flexor palmaris longus*), zginacz łokciowy nadgarstka (*m. flexor carpi ulnaris*), zginacz promieniowy palców (*m. flexor digitorum radialis*). Z warstwy głębokiej grupy przedniej mięśni przedramienia w obszarze dalszym przedramienia przebiegają mięśnie: zginacz głęboki palców (*m. flexor digitorum profundus*), zginacz długi kciuka (*m. flexor pollicis longus*), mięsień nawrotny czworoboczny (*m. pronator quadratus*). Grupa boczna mięśni przedramienia (promieniowa) w dalszym odcinku przedramienia jest reprezentowana przez mięsień ramienno-promieniowy (*m. brachioradialis*), prostownik promieniowy długi nadgarstka (*m. extensor carpi longus*), prostownik promieniowy krótki nadgarstka (*m. extensor radialis carpi brevis*).

Grupa tylna mięśni przedramienia to grupa prostowników podzielona na dwie warstwy: głęboką i powierzchowną. Pomiędzy tymi warstwami przebiegają naczynia międzykostne tylne i gałęzie głębokie nerwu łokciowego. Warstwa powierzchowna składa się z prostownika palców (*m. extensor digitorum*), prostownika palca małego (*m. extensor digiti minimi*) i prostownika łokciowego nadgarstka (*m. extensor carpi ulnaris*). Warstwa głęboka składa się z wysmukłych czterech mięśni: odwodziciela długiego kciuka (*m. abductor pollicis longus*), prostownika krótkiego kciuka (*m. extensor pollicis brevis*), prostownika długiego kciuka (*m. extensor pollicis longus*) oraz prostownika wskaziciela (*m. extensor indicis*).

Mięśnie przedramienia są objęte powierzchowną powięzią przedramienia, stanowi ona przedłużenie powięzi ramienia. Powieź na swej długości łączy się z brzegiem tylnym kości łokciowej, wysyła ona włókna tworzące przegrody międzymięśniowe w postaci trzech komór dla trzech grup mięśni: komora tylna, boczna i przednia. Na nadgarstku powieź przednia przechodzi w powieź ręki i jest tu wzmocniona silnymi okrężnymi pasmami włóknistymi.

Z głębokiej blaszki powięzi przedniej na stronie przedniej (dłoniowej) nadgarstka szczególnie silnie wzmocnionej wyodrębnia się tzw. troczek zginaczy (*retinaculum flexorum*). Łączy on wyniosłość łokciową z wyniosłością promieniowa nadgarstka. Troczek zginaczy dawniej zwany więzadłem poprzecznym nadgarstka (*ligamentum carpi transversum*) uzupełnia bruzdę nadgarstka w kanale nadgarstka (*canalis carpi*). Po stronie promieniowej przez kanał biegnie ścięgno zginacza promieniowego nadgarstka (*m. flexor carpi radialis*), następnie w stronę łokciową ścięgno zginacza długiego kciuka (*ligamentum m. flexori pollicis longus*), nerw pośrodkowy (*n. medianus*). Grupa ścięgien zginaczy palców głębokiego (*m. flexor digitorum profundus*) i powierzchownego (*m. flexor digitorum superficialis*) biegną razem w jednym przedziale.

Nerw łokciowy (*n. ulnaris*) i naczynia łokciowe przechodzą bocznie nad troczkiem zginaczy. Również ścięgno mięśnia dłoniowego długiego (*ligamentum m. palmaris longus*) kieruje się do przodu od troczka zginaczy i na dłoni przechodzi w rozciągno

dłoniowe (*aponeurosis palmaris*).

Nasada dalsza kości promieniowej na swej powierzchni ma rowki dla poszczególnych ścięgien mięśni.

W odcinku dalszym przedramienia na powierzchni dłoniowej biegną: po boku tętnica promieniowa (*arteria radialis*), po części przyśrodkowej tętnica łokciowa (*arteria ulnaris*). Tętnica promieniowa biegnie wzdłuż brzegu przyśrodkowego ścięgna mięśnia ramiennie-promieniowego (*m. brachioradialis*) i w okolicy wyrostka rylcowatego kości promieniowej oddaje gałąź dłoniową powierzchowną (*ramus palmaris superficialis*), natomiast sama przechodzi na powierzchnię grzbietową ręki.

Tętnica łokciowa biegnie wraz z nerwem łokciowym po przyśrodkowym brzegu ścięgna mięśnia zginacza palców powierzchownego, a następnie nad troczkiem zginaczy. Pod mięśniem nawrotnym czworobocznym (*m. pronatus quadratus*) biegną naczynia i nerwy głębokie przedramienia: tętnica międzykostna przednia (*arteria interossea anterior*) wraz z nerwem międzykostnym przedramienia przednim (*nervus interosseus anterior*). Naczynia żyłne towarzyszą tętnicom, tworzą siatkę naczyń głębokich i powierzchownych o bardzo zmiennym przebiegu.

Nerw pośrodkowy (*nervus medianus*) biegnie pod mięśniem zginaczem nadgarstka promieniowym, a w okolicy nadgarstka wchodzi do kanału nadgarstka leżąc pomiędzy ścięgnem zginaczem kciuka długim (*m. flexor pollicis longus*), a ścięgniemi zginaczy palców (*m. flexor digitorum*).

Nerw łokciowy (*nervus ulnaris*) biegnie po przyśrodkowym brzegu tętnicy łokciowej. Nerw promieniowy (*nervus radialis*) oddaje w okolicy dołu łokciowego gałąź powierzchowną, biegnącą do boku od tętnicy promieniowej. Gałąź głęboka nerwu promieniowego biegnie pod mięśniem przywodzicielem kciuka długim (*m. adductor pollicis longus*) oddając gałęzie do poszczególnych mięśni. Od nerwu pośrodkowego w okolicy dołu łokciowego odchodzi nerw międzykostny przedramienia przedni (*n. interosseus antebrachii anterior*), który leży na błonie międzykostnej przedramienia (*membrana interossea antebrachii*).

Rozdział 4

Rozwój kości przedramienia

W 5 tygodniu ciąży komórki mezenchymy grupują się tworząc chrzęstny zrąb kości promieniowej. Tworzą się trzony kości. W siódmym tygodniu życia zarodka pojawia się punkt kostnienia kości promieniowej w części środkowej trzonu. Proces kostnienia rozchodzi się w obu kierunkach w stronę nasad. Punkt kostnienia w końcu dalszym pojawia się między 8 a 18-tym miesiącem życia. Czasami w wieku od 10 do 12 lat występuje osobny punkt kostnienia w wyrostku rylcowatym.

Kość łokciowa powstaje także na podłożu chrzęstnym, analogicznie do rozwoju kości promieniowej. Powstaje z trzech lub czterech punktów kostnienia. W siódmym tygodniu życia zarodka proces kostnienia rozpoczyna się w części środkowej trzonu i szybko postępuje w kierunkach dystalnym i proksymalnym kości. Z punktu kostnienia trzonu krystalizuje się górna połowa głowy kości łokciowej. U noworodka oba końce kości łokciowej są chrzęstne. Między 5, a 8 rokiem życia powstaje dodatkowo punkt kostnienia dolnej części kości łokciowej i z niego często kostnieje wyrostek rylcowaty, choć ten może także mieć odrębny punkt kostnienia.

Kości kończą swój wzrost u dziewcząt w wieku około 15-16 lat, u chłopców między 17 a 18 rokiem życia.

Rozdział 5

Biologia gojenia złamań kości u dzieci

W wyniku urazów układu ruchu może dojść do złamania kości, uszkodzenia tkanek miękkich przez stłuczenie, skręcenie lub zranienie. U dzieci proces gojenia złamania z uwagi na niezakończony proces rozwoju kości przebiega odmiennie niż u dorosłych [2].

Tkanki otaczające kość goją się przez tworzenie blizny, zaś w miejscu zniszczonej kości powstaje nowa. Proces gojenia złamań dzielimy na 3 etapy: zapalenie, naprawa i remodeling.

Faza zapalenia – w miejscu złamania powstaje krwiak, który jest sygnałem do rozpoczęcia procesu naprawy złamania. Krew zawiera wszystkie komórki krwi, z nich płytki krwi mają znaczenie najistotniejsze. Jeśli krwiak jest mały (co na przykład ma miejsce w złamaniach podokostnowych, w tym „zielonej gałązki”), proces gojenia może przebiegać dłużej. Są 2 grupy czynników istotnych w procesie gojenia: peptide - signaling proteins (substancja białkowa pochodząca z płytek krwi – TGF – beta, fibroblast growth factor [FGF], PDGF, BMPs) oraz cytokiny immunoregulacyjne (IL – 1, IL – 6). Powyższe czynniki mają kluczowe znaczenie w różnicowaniu się komórek macierzystych do komórek kościotwórczych. W tej fazie dochodzi do usuwania martwych komórek.

Faza naprawy – przez wytworzone i ciągle tworzone od zewnątrz naczynia (od strony okostnej) wnikają komórki kościotwórcze i chrząstkotwórcze. Ukrwienie jest najważniejszym czynnikiem gojenia złamania. Przy dużych urazach tkanki otaczającej kość, gdzie dochodzi do znacznego uszkodzenia naczyń, gojenie złamania przebiega wolniej. W miejscu krwiaka powstaje prymitywna tkanka kostna i chrzęstna, która stopniowo dojrzewa. Dochodzi do połączenia odłamów. Powstaje guz kostninowy (*callus*), na bazie którego w ciągu pierwszych 10 dni rozwija się prymitywna tkanka kostna. Są tu dwa etapy formowania zrostu. Pierwszy etap to wstępne gojenie gdzie przez kanały Haversa powstaje zrost kory. W następnym etapie tworzy się duży guz kostninowy i formuje się prawidłowa kość. Ten etap kończy się, kiedy nie stwierdza się ruchów w miejscu zespolenia i kość jest twarda. Od tego momentu zaczyna się przebudowa (remodeling).

Faza remodelingu (przebudowy) – u małych dzieci może być to bardzo krótki okres, zaś u większych może trwać latami aż do zakończenia wzrostu. Kość zazwyczaj

wraca do prawidłowego kształtu, gdyż dzięki aktywności ruchowej w sposób naturalny podlega modelowaniu. Za tą fazę odpowiadają bioelektryczne impulsy wynikające z podatności kości na stres związany z codzienną aktywnością zgodnie z prawem Wolffa. Układ hormonalny odgrywa tu istotną rolę- hormon wzrostu, hormony tarczycy, insulina, sterydy anaboliczne. Witaminy A i B wpływają na remodeling kości u dzieci. Przebudowę spowalnia duża dawka promieniowania jonizującego, cukrzyca, kortykosteroidy, niesterydowe leki przeciwzapalne oraz odnerwienie. Po tym okresie kość wraca do swojego anatomicznego kształtu.

Złamanie w zakresie chrząstki wzrostowej goi się przez pierwsze dwie fazy, nie ma remodelingu. Brak remodelingu tłumaczy konieczność anatomicznej repozycji w zakresie złamań- złuszczeń chrząstek wzrostowych kości długich. Ze względu na grubszą i lepiej ukrwioną okostną u dzieci pierwszy etap gojenia przebiega szybko i może łączyć się z pojawieniem gorączki nawet do 40°C. Po 10 dniach do 2 tygodni pojawia się „guz” kostniny, elastyczne, nie poddający się manipulacjom, ale proces gojenia jeszcze nie jest zakończony.

Dzieci mają lepsze ukrwienie kości aniżeli dorośli i z tego faktu wynikają istotne różnice. W wyniku złamania obszar martwicy u dzieci jest zazwyczaj mniejszy. Pierwszy etap gojenia - odczyn zapalny, jest u dzieci krótszy. Okostna jest grubsza, bogata w komórki kościotwórcze i proces naprawy przebiega szybciej. Ze względu na ogromną zdolność do przebudowy okres remodelingu jest krótszy i dziecięca kość potrafi przebudować się do stanu prawidłowego nawet przy przemieszczeniach odłamów. Im mniejsze dziecko, tym większe przemieszczenie odłamów jest akceptowalne. U dzieci do 8 roku życia dopuszczalne jest ugięcie kątowne osi kości do 30 stopni. Gojenie będzie prawidłowe jeśli kość jest złamana poprzecznie i odłamy stykają się przy zachowanej prawidłowej osi. Rzadko u dzieci dochodzi do zeszywnienia w stawach, ale koślawość lub szpotawość po złamaniach może się pojawić. Będzie ona wynikiem nieprawidłowej repozycji lub uszkodzenia stref wzrostu kości. Uszkodzenie chrząstki wzrostowej może prowadzić do zahamowania wzrostu lub powstania nieprawidłowej osi kończyny. Tych problemów oczywiście nie mają dorośli.

Kości są plastyczne z grubą okostną stąd typowe złamania dziecięce to plastyczne oraz „zielonej gałązki”. Jeśli występuje złamanie plastyczne z ugięciem, celem wykonania repozycji konieczne jest „dołamanie” kości, tak aby stało się złamaniem pełnym z obecnością krwiaka. To gwarantuje poprawną repozycję. U dzieci większość repozycji można wykonać metodą zachowawczą.

Rozdział 6

Klasyfikacja złamań u dzieci

Klasyfikacja złamań u dzieci różni się zasadniczo od klasyfikacji dla dorosłych ze względu na specyfikę kości rosnącej. Złamania mogą dotyczyć obszarów wzrostu (chrząstek wzrostowych) i wówczas wtedy zwane są złuszczeniami. Kość małego dziecka ma grubą okostną, dlatego często złamanie nie przebiega przez cały przekrój kości, zaś okostna jest nienaruszona, są to złamania "zielonej gałązki".

Podstawowy podział złamań u dzieci przedstawia się następująco:

- złamania plastyczne,
- złamania kompresyjne na granicy przynasady (metaphysis) i trzonu (diaphysis) typu torus,
- złamania „zielonej gałązki”,
- złamania pełne,
- złamania w zakresie chrząstek wzrostowych.

Złamania plastyczne występują tylko u dzieci. Najczęściej dotyczą kości łokciowej, bardzo rzadko strzałki. W wyniku ugięcia kości dochodzi do jej trwałego odkształcenia po usunięciu siły uginającej. Jeśli ugięcie jest mniejsze niż 20 stopni u dziecka młodszego niż 4 lata, to odkształcenie osi ulegnie niwelacji z biegiem czasu przez remodelowanie kości.

Złamanie typu torus (buckle fracture) jest złamaniem kompresyjnym na granicy trzonu i przynasady. Jest to typowe złamanie wieku dziecięcego. Przynasada jest bardziej porowata niż trzon i może być zmiażdżona i zakleszczona (klamra – buckle) przez mniej porowaty trzon. Jest to złamanie w kształcie podobne do greckiej kolumny – torus. Złamanie podobne do „zielonej gałązki”, ale na granicy trzonu i przynasady.

Złamanie typu „zielonej gałązki” powstaje w wyniku ugięcia kość, która zaczyna się łamać, lecz nie dochodzi do pełnego złamania na całej szerokości trzonu. Nie dochodzi do rozerwania okostnej, która obejmuje trzon. Przy nastawianiu tego typu złamania należy złamać kość, tak aby cała szerokość trzonu była złamana, inaczej repozyycja nie powiedzie się z powodu plastycznego odgięcia kości [2].

Złamania pełne jest wtedy, kiedy szczelina złamania przebiega przez całą szerokość kości lub odrywa w całości pewien fragment kości. Często dochodzi do rozerwania okostnej. Szczelina złamania może mieć różny przebieg w zależności od mechanizmu urazu:

- Złamanie spiralne – w wyniku siły rotacyjnej dochodzi do złamania o przebiegu spiralnym przez trzon kości. Repozycja przebiega przez odwrócenie mechanizmu skrętnego urazu. Tego typu złamanie jest wynikiem urazu o małej prędkości. Zdarza się u dzieci maltretowanych,
- Złamanie skośne - lokalizacja najczęstsza to nasady i przynasady. W wyniku urazu dochodzi do oderwania okostnej na długim odcinku. Złamanie jest niestabilne. Repozycja anatomiczna jest bardzo istotna. Unieruchomienie musi być założone w trakcie wykonywania trakcji kości.
- Złamanie poprzeczne- przyczyną takiego złamania jest trójpunktowa siła urazu. Najczęściej tego typu złamanie jest w środkowej części trzonu.
- Złamania typu awulsyjnego z oderwaniem drobnego fragmentu nasady bez uszkodzenia chrząstki wzrostowej. Odrywa się fragment, do którego przyczepia się ścięgno mięśnia. Złamania dotyczą kończyn, ale także miednicy. Proces gojenia u dzieci rozpoczyna się szybko, tak więc repozycja powinna być natychmiast po postawieniu rozpoznania.

Złamania w zakresie nasady (epiphysiolysis) u dzieci są zawsze połączone z uszkodzeniem chrząstki wzrostowej i są typowe dla wieku dziecięcego. Złamania te nazywamy złuszczeniami. Mimo uszkodzenia chrząstki wzrostowej rzadko dochodzi do zaburzeń wzrostu kończyny. Najczęściej takie złamanie dotyczy nasady dalszej kości promieniowej. Do uszkodzenia chrząstki wzrostowej może dojść poprzez zmiżdżenie, uszkodzenie naczyń odżywczych przynasady lub częściowe uszkodzenie chrząstki wzrostowej. Tego typu złamanie może prowadzić do zaburzeń wzrostu o typie koślawości lub szpotawości, zaburzenia wzrostu kończyny na długość lub zaburzenia funkcji stawu.

Chrząstka wzrostowa zmienia się z wiekiem. Nasada z chrząstką wzrostową jest ściśle połączona przez okostną od zewnątrz, a wewnątrz przez wyrostki odżywcze. Chrząstka nasadowa jest to twardy, gumowaty materiał, który łatwiej uszkodzić przez rotację niż przez zgięcie lub ciągnięcie. Uszkodzenie chrząstki wzrostowej następuje najczęściej w miejscu przejścia chrząstki nieuwapnionej w wapniejącą. Ponieważ centra odżywcze chrząstki nieregularnie przenikają się z komórkami przynasady to linia oderwania na granicy chrząstki nasadowej i przynasady jest nieregularna. Repozycja wymaga anatomicznego ustawienia odłamów. Złamania w zakresie chrząstek wzrostowych dzielimy według klasyfikacji Salter - Harris na 5 typów (Rys.6.1). Klasyfikacja Salter - Harris bazuje na radiologicznych obrazach złamań. Klasyfikacja ta dotyczy obrażeń nasady, chrząstki wzrostowej i pierścienia okołochrząstecznego.



Rysunek 6.1: Typy złamań kości z uszkodzeniem chrząstki wzrostowej według klasyfikacji Salter-Harris - rycina własna. Czerwonymi liniami zaznaczono szczelinę złamania.

W skali Salter – Harris wyróżniamy 5 podstawowych typów złuszczeń (złamań) w zakresie chrząstki wzrostowej:

Typ I – nasada w miejscu chrząstki wzrostowej totalnie oddziela się od przynasady. Na zdjęciu rentgenowskim jest to niewidoczne. Lekarz rozpoznaje to złamanie na podstawie objawów klinicznych obrzęku i bolesności w okolicy nasady, czasami nieco szerszym obrysie chrząstki nasadowej na zdjęciach rentgenowskich. Dla porównania można wykonać zdjęcie rentgenowskie zdrowej kończyny. Nie zawsze złamanie to dotyczy tylko nasady, gdyż przez nierówną granicę między chrząstką, a przynasadą, fragment przynasady może być także oderwany. Okostna nie jest przerwana, jest tylko na pewnym obszarze odwarstwiona od kości. Może być niewielkie przemieszczenie odłamów względem siebie. Rzadko dochodzi do uszkodzenia naczyń. Im większe jądro kostnienia w nasadzie tym większe może być uszkodzenia chrząstki wzrostowej.

Typ II – jest to najczęstszy typ złamania w obszarze chrząstki wzrostowej. Odrywa się część przynasady, a złamanie przebiega przez większą część chrząstki wzrostowej. Okostna przerywa się w miejscu największego napięcia, ale nie odrywa się w miejscu uszkodzenia przynasady. Chrząstka odrywa się od przynasady w miejscu przejścia warstwy nieuwapnionej w uwapnioną. Okostna przytwierdzona do kości w miejscu oderwania przynasady pomaga w repozycji złamania. Uszkodzenie zdolności wzrostu chrząstki nasadowej może wystąpić, ale jest niezmiernie rzadkie.

Typ III – jest złamaniem przechodzącym przez powierzchnię stawową, a więc nasadę oraz chrząstkę wzrostową, szczelina biegnie aż do okostnej i ją odwarstwa. Taki typ złamania najczęściej występuje u starszych dzieci, kiedy chrząstka wzrostowa jest bliska zaniknięcia. Wymaga repozycji anatomicznej. Najczęściej dotyczy nasady dalszej kości ramiennej i piszczelowej.

Typ IV – jest również złamaniem śródstawowym z oderwaniem fragmentu nasady i przynasady. Okostna jest najczęściej tylko odwarstwiona i to po stronie oderwanej przynasady. Fragment oderwany jest często zrotowany, dlatego konieczna jest repozycja anatomiczna. Istnieje ryzyko powstania mostu kostnego uszkadzającego chrząstkę wzrostową.

Typ V – jest ciągle dyskutowany. Według Salter- Harris dochodzi do zmiażdżenia chrząstki wzrostowej. Rozpoznaje się ten typ złamania na podstawie klinicznych objawów bólu, obrzęku w okolicy nasady i braku zmian rentgenowskich typowych dla typu I. Częściej rozpoznawanie stawiane jest po fakcie, kiedy obserwujemy następstwa uszkodzenia chrząstki.

Ogden proponuje klasyfikację z 9 typami złamań w zakresie chrząstek wzrostowych. Wyróżnia dodatkowo podtypy A, B, C, D. Ze względu na skomplikowany schemat ta klasyfikacja nie jest używana w klinice.

Rozdział 7

Metody obrazowania w diagnostyce urazów układu kostnego

Obrazowanie w diagnostyce urazów układu kostnego ściśle łączy się z rozwojem fizyki. Wykorzystuje się promieniowanie jonizujące- rentgenowskie do wykonywania zdjęć rentgenowskich. Badania rentgenowskie zostały zastosowane w medycynie w XIX wieku. Drugi sposób obrazowania wprowadzony do medycyny po II wojnie światowej stosuje fale ultradźwiękowe do badań ultrasonograficznych. Metoda rezonansu magnetycznego jest najnowsza i powstała z końcem XX wieku. W diagnostyce złamań kości króluje zdjęcie rentgenowskie [2, 4, 5].

7.1 Charakterystyka diagnostyki rentgenowskiej w świetle praw fizyki

Zdjęcia rentgenowskie powstają w wyniku przenikania przez organizm promieni rentgenowskich. Promieniowanie rentgenowskie to rodzaj promieniowania elektromagnetycznego, które jest generowane podczas wyhamowywania elektronów. Długość fali mieści się w zakresie od 10 pm do 10 nm. Zakres promieniowania rentgenowskiego znajduje się pomiędzy nadfioletem, a promieniowaniem gamma. Ich istotę wyjaśnia teoria falowa i kwantowa. W przestrzeni rozchodzi się jak fala, a z materią reaguje jak cząsteczki. Cząsteczkami są fotony, kwanty energii. Jednostką energii fotonów jest elektronowolt (eV). Promienie rentgenowskie są pochłaniane przez tkanki w różnym stopniu a następnie przechodzą przez błonę fotograficzną. Tkanki silnie pochłaniające promieniowanie dają obrazy jasne, zaś im mniej pochłaniające tym ciemniejszy odcień szarości. Tak powstaje zdjęcie rentgenowskie – negatyw.

Promieniowanie rentgenowskie powstaje w szklanej próżniowej bańce, w której są dwie elektrody: katoda (ujemna) zbudowana ze spiralnie skręconego drutu wolfrامowego, anoda (dodatnia) zaś z bloku miedzianego, w który wtopiony jest cienki krążek stopu metali szczególnie odpornych mechanicznie i termicznie. Włączenie prądu o dużej różnicy potencjału powoduje nadanie wolnym elektronom odpowiedniej energii kinetycznej. Elektrony na katodzie są gwałtownie wyhamowywane co powoduje zamianę

ich energii na promieniowanie rentgenowskie i ciepło. Promieniowanie rentgenowskie oddziałuje z materią na 3 sposoby:

- rozproszenie spójne – foton trafiając na atom powoduje wysłanie innego fotonu o zmienionym kierunku, ale o tej samej długości fali. Nie wywołuje to jonizacji,
- zjawisko fotoelektryczne – foton uderza w elektron w atomie i wytrąca ten elektron z atomu. Taki elektron nazywany jest fotoelektronem. Powstają jony. Jest to istotny proces pochłaniania promieniowania rentgenowskiego,
- rozpraszanie Comptona – elektron uderza w atom i powoduje wyrzucenie elektronu, powstaje nowy elektron o dłuższej fali i zmienionym kierunku ruchu. Zjawisko powoduje jonizację.

Promieniowanie jonizujące wnika do ustroju żywego powoduje radiolizę wody zawartej w tkankach. Uwolnione rodniki tlenowe i wodorotlenowe utleniają pary zasad purynowych i pirymidynowych oraz rozrywają łańcuchy kwasów nukleinowych (DNA i RNA), powodując uszkodzenie cząsteczki. Skutkiem tego oddziaływania są mutacje genetyczne lub martwica komórek. Szczególnie wrażliwe na oddziaływanie rodników tlenowych i wodorotlenowych są te odcinki DNA, które ulegają procesowi replikacji. Taka sytuacja jest w komórkach, które ulegają podziałowi mitotycznemu (znajdują się w fazie S, G2 lub M cyklu komórkowego). Fakt ten tłumaczy słuszność prawa Bergonie i Tribondeau, określającego wrażliwość tkanek na promieniowanie. Prawo to głosi, że promieniowrażliwość tkanek jest wprost proporcjonalna do aktywności proliferacyjnej danej tkanki i odwrotnie proporcjonalna do stopnia jej zróżnicowania (dojrzałości). Nadmierna ilość wolnych rodników blokuje wiele enzymów wewnątrzkomórkowych, zwłaszcza katalazy i peroksydazy.

Przy wyższej gęstości promieniowania i wysokiej energii promieniowania (powyżej 100 keV) istotną rolę w wywołaniu skutków choroby popromiennej odgrywa bezpośrednio oddziaływanie promieniowania na materię, pod postacią efektu Comptona. Uważa się, że ten sposób oddziaływania ma znaczenie w postaci mózgowej i enzymatycznej choroby popromiennej.

Właściwości promieniowania jonizującego:

- zmiana natężenia promieniowania- natężenie maleje do kwadratu odległości od źródła,
- wywołuje jonizację materii,
- wywołuje zjawisko luminiscencji- zjawisko chemiczne powodujące emisję światła widzialnego,
- działanie fotograficzne- działa podobnie na emulsję fotograficzną jak światło widzialne,
- działanie biologiczne- uszkodzanie tkanek wykorzystywane w leczeniu nowotworów [7, 8, 9].

Dawki skuteczne będące rezultatem naświetleń diagnostycznych mieszczą się w przedziale od 0,1 mSy (zdjęcie klatki piersiowej) do 5,6 mSv podczas badań żołądka i przewodu pokarmowego (dla porównania, naturalne tło promieniotwórcze w Polsce powoduje przyjęcie 2–3 mSv rocznie). Dawki terapeutyczne są tysiące razy silniejsze.

7.2 Charakterystyka diagnostyki ultrasonograficznej w świetle praw fizyki

Diagnostyka ultrasonograficzna oparta jest na wykorzystywaniu własności dźwięku przechodzącego przez tkanki. Dźwięk powstaje w wyniku rozchodzenia się energii mechanicznej w materii pod postacią fali z naprzemiennym zagęszczaniem i rozrzedzaniem się ośrodka przewodzącego. Ludzkie ucho słyszy dźwięki o częstotliwości od 20 Hz do 20 kHz. Ultradźwięki to dźwięki o częstotliwości większej niż słyszalne. W ultrasonografii wykorzystuje się częstotliwości od 1 Hz do 20 MHz. [6].

W ultrasonograficznych badaniach diagnostycznych wysyła się krótkie impulsy energii, które są przesyłane do ciała chorych i tam rozchodzą się w tkankach. Budowa tkanek ma wpływ na prędkość rozchodzenia się fal akustycznych. Prędkość ta jest stała dla danej tkanki i nie zależy od częstotliwości fali. W tkankach miękkich ta prędkość to około 1549 m/s. Po wytworzeniu impulsu dźwiękowego i przesłaniu go w obręb ciała ulega on odbiciu, załamaniu, rozproszeniu lub pochłanianiu. Odbicie występuje wtedy gdy impuls napotyka granicę między tkankami różniącymi się impedancją akustyczną (iloczyn gęstości tkanki i prędkości rozchodzącej się w niej fali). Im większa różnica impedancji tym większy współczynnik odbicia fali dźwiękowej. W obszarach jednorodnych nie dochodzi do odbicia fali ultradźwiękowej i obszary takie nazywa się bezechowymi (np. torbiele).

Załamanie (refrakcja) oznacza zmianę kierunku rozchodzenia się fali ultradźwiękowej na granicy tkanek przewodzących dźwięk z różną prędkością. Ponieważ częstotliwość dźwięku jest stała zmienić musi się długość fali, aby zrównoważyć różnicę prędkości rozchodzenia się dźwięku. Zjawisko to przyczynia się do powstania artefaktów.

Rozproszenie to rozejście się fal w różnych kierunkach. Zjawisko to powstaje kiedy fala akustyczna natrafia na powierzchnię, która nie jest idealnie gładka. Do rozproszenia dochodzi także w tkankach zawierających liczne powierzchnie graniczne (heterogenne).

Pochłanianie (absorpcja) to utrata energii dźwięku po zamianie jej na energię cieplną. Na przykład kość pochłania energię bardziej niż tkanka miękka. Pochłanianie odpowiedzialne jest za powstanie cieni akustycznych - artefaktów.

Tłumienie występuje jako połączenie odbicia, rozproszenia i absorpcji co powoduje zmniejszenie natężenia fali dźwiękowej w czasie jej przechodzenia przez tkanki. W wyniku tłumienia odbicia na granicach akustycznych w tkankach głębiej położonych są słabsze, niż w tkankach płycej położonych. Aby skompensować zmniejszenie nasilenia dźwięku, echa powracające z głębszych tkanek są elektronicznie wzmacniane. W tym celu w aparatach ultrasonograficznych istnieje możliwość regulacji wzmocnienia odbi-

tej wiązki zależnie od głębokości, na której leży badana tkanka.

Aparaty ultrasonograficzne składają się z 5 elementów:

- nadajnika pobudzającego głowicę,
- głowicy, będącej źródłem impulsu dźwiękowego,
- odbiornika wykrywającego odbite sygnały,
- ekranu na którym wyświetlany jest rezultat obrazowania,
- modułu przechowującego obrazy.

Nadajnik – dzięki krótkim impulsom elektrycznym o wysokiej amplitudzie dochodzi do wibracji i powstawania impulsu ultradźwiękowego w głowicy.

Głowica zawiera kryształy piezoelektryczne, które zamieniają energię elektryczną na falę dźwiękową i odwrotnie, impuls dźwiękowy na elektryczny. Są to kryształy ceramiczne zgrupowane w głowicy. W wyniku pobudzenia elektrycznego ulegają one odkształceniu o określonej częstotliwości. Zakres częstotliwości wytwarzany przez daną głowicę nazywany jest szerokością pasma.

Preferencyjna częstotliwość generowana przez głowicę jest równa częstotliwości rezonansu kryształu, która z kolei zależy od jego grubości. Aby fale mogły przejść z głowicy do badanego obszaru i zwrócić musi być użyty żel lub płyn (woda) sprzęgające przetwornik z powierzchnią skóry. Wracająca fala akustyczna z ciała osoby badanej powoduje odkształcenia kryształu i wytworzenie impulsu elektrycznego.

Odbiornik wykrywa, wzmacnia i przetwarza zmienne napięcie docierające do niego ze wzbudzonego kryształu piezoelektrycznego głowicy. Dzięki układowi zasięgowej regulacji słabe sygnały, które docierają z głęboko położonych struktur zostają wzmocnione, co kompensuje ich tłumienie w tkankach. Odbiornik zbiera i przetwarza sygnały rozproszone co wpływa na zmiany jasności i kontrast obrazu.

Prezentacja obrazu na ekranie jest w formie B–brightness – jasność. Jest to prezentacja w 2 wymiarach (2D). Silniejszy sygnał jest jaśniejszy od sygnału słabszego. Im większy zakres szarości tym więcej detali można uwidocznic. Obraz przedstawiany jest w czasie rzeczywistym. Bardzo przydatna jest funkcja podziału obrazu (duo), aby porównać „strona–do–strony” chorej i zdrowej. Istnieje możliwość pomiaru wielkości zmian w milimetrach oraz regulacji ostrości i jasności obrazu.

Przechowuje się obrazy na nośnikach komputerowych. Obraz może być drukowany na drukarkach laserowych o dużej rozdzielczości lub w formie zdjęć na papierze fotograficznym (printy).

Należy wybierać głowicę do badania o największej częstotliwości, która umożliwia penetrację do badanych struktur. Do badania układu szkieletowo- mięśniowego najlepsze są głowice liniowe o częstotliwości dźwięku od 7,5 MHz do 13 MHz, a nawet 20 MHz.

Głowica liniowa zawiera kryształy piezoelektryczne, które pobudzane są grupami. Elementy piezoelektryczne ustawione są w linii. Pobudzanie kolejno grup kryształów powoduje wytwarzanie serii fal ultradźwiękowych wzdłuż czoła głowicy. Cześć głowicy

wysyła impulsy akustyczne równoległe prostopadle do czoła głowicy tworząc obraz prostokątny. Nowsze głowice (wektorowe) mają opcję sterowania kątem rozchodzenia się wiązki i tworzy się obraz o kształcie trapezu. Zaletą głowic liniowych jest wysoka rozdzielczość w polu bliskim i duży obszar obrazowania w warstwach powierzchniowych. Ogniskowanie jest równie dobre w centralnej części, jak i po bokach.

Podstawą ultrasonografii diagnostycznej jest wychwycenie i przetworzenie na obrazie energii akustycznej odbitej od powierzchni granicznych w obrębie ciała. Położenie źródła powracającego echa można ustalić na podstawie pomiaru prędkości dźwięku w tkankach miękkich przez zmianę czasu, jaki potrzebuje odbity sygnał, aby dotrzeć do przetwornika głowicy ultradźwiękowej na odległość. Echa, które nie odpowiadają położeniu, bądź intensywności rzeczywistych struktur nazywane są artefaktami. Uniknięcie ich może być trudne, dlatego ważne jest, aby je rozpoznawać i nie mylić ze zmianami chorobowymi.

W trakcie badania kości i chrząstek mogą występować artefakty pod postacią cieni akustycznych jako efekt pochłaniania fal ultradźwiękowych przez kości. Warstwa korowa kości ma postać silnie echogenicznej struktury, linii o gładkiej powierzchni, z cieniami akustycznymi poza nią. Chrząstka stawowa i wzrostowa jest gładką bezechową warstwą. Nieskostniałe nasady chrząstki są hipoechogenne względem przyległych tkanek miękkich i zazwyczaj zawierają plamkowate delikatne echa. Jądra kostnienia w zakresie chrząstki są hiperechogenne [6].

Z biegiem kolejnych lat metoda obrazowania ultrasonograficznego różnego rodzaju stanów chorobowych oraz uszkodzeń urazowych ciała człowieka potwierdza swoją przydatność we wszystkich niemal gałęziach medycyny. Zalety i "prostota" metody została dostrzeżona między innymi przez amerykańskie towarzystwo medyczne – American College of Emergency Physicians (ACEP)[10]. ACEP zaleca wykorzystanie jej w Szpitalnym Oddziale Ratunkowym (SOR) już na poziomie podstawowego badania klinicznego. Sprzyja z pewnością temu stanowi rzeczy możliwość wielokrotnego jego powtórzenia i weryfikacji kolejnych wyników bezpośrednio przy łóżku chorego, a także coraz większa dostępność i kliniczna wiarygodność. Metoda ta nie wymaga również szczególnego przygotowania chorego do przeprowadzania badania, stąd jest stosowana w różnych okolicznościach i warunkach, w tym także w stanach bezpośredniego zagrożenia życia.

Technika obrazowania ultrasonograficznego w diagnozowaniu szeregu zmian chorobowych (USG) znalazła z pewnością trwałe miejsce w różnych dyscyplinach klinicznych, w tym także w medycynie ratunkowej i pediatrii. Stosuje się ją z powodzeniem od lat pięćdziesiątych dwudziestego wieku zyskując z czasem uznanie także w chirurgii, ginekologii, położnictwie i kardiologii. W chirurgii urazowej natomiast, została pierwszy raz wykorzystana przez ortopedów niemieckich w roku 1972 [11]. Przydatność USG w praktyce klinicznej wynika z różnych przesłanek, którymi są między innymi:

- brak emisji szkodliwego promieniowania jonizującego,
- bezpieczny zakres fal ultradźwiękowych emitowanych w czasie badania,
- brak rygorystycznych warunków lokalowych do przeprowadzenia badania,

- mobilność i gabaryty aparatury z możliwością zasilania jej bateriami, w tym słonecznymi, co pozwala na jej zastosowanie w warunkach konfliktów zbrojnych, katastrof i wypadków masowych,
- bezpośrednia obserwacja dynamiki zmian chorobowych w określonych narządach z możliwością ich wielopłaszczyznowego, dynamicznego lub statycznego obrazowania,
- możliwość wykonania badania porównawczego symetrycznych okolic ciała oraz badań przesiewowych,
- możliwość wielokrotnego powtarzania badania w dowolnej sekwencji czasowej, również bezpośrednio przy łóżku chorego,
- niższe koszty procedur diagnostycznych w porównaniu z tomografią komputerową (TK) lub rezonansem magnetycznym (RM),
- zastosowanie w diagnostyce klinicznej lub w realizacji inwazyjnych procedur leczniczych.

Z powyższych przesłanek między innymi wynika zasadność stosowania badania USG zwłaszcza w medycynie ratunkowej, a przede wszystkim w ocenie zagrożeń krwotokiem pourazowym- Focused Assessment with Sonography in Trauma (FAST) lub z dodatkową oceną charakteru uszkodzeń płuc – extended Focused Assessment with Sonography in Trauma (e- FAST), czy z dodatkową oceną układu kostnego (FASTER) [12, 13, 14]. Jest ono przydatne w diagnozowaniu między innymi tętniaków aorty lub uszkodzeń urazowych naczyń obwodowych, kamicy dróg żółciowych i układu moczowego, niedrożności przewodu pokarmowego, uszkodzeń urazowych narządów mięszo- wych lub ich zmian nowotworowych, a obrazowanie splotów i nerwów obwodowych umożliwia ich precyzyjną identyfikację oraz precyzyjne podanie leku anestetycznego [4, 6, 10, 12, 13, 14, 15].

Początki diagnozowania uszkodzeń układu tkanki kostnej z wykorzystaniem obrazowania ultrasonograficznego sięgają roku 2000, kiedy to ortopedzi angielscy i niemieccy przedstawiają ich charakterystykę na łamach literatury medycznej [16, 17, 18]. Niezrozumiałe jest jednak, że mimo tak dynamicznego rozwoju prezentowanej metody i uzasadnionego jej stosowania w praktyce klinicznej, nie znajduje ona nadal szerokiego uznania w diagnozowaniu uszkodzeń urazowych tkanki kostnej.

7.3 Charakterystyka diagnostyki rezonansem magnetycznym w świetle praw fizyki

Fizyczna zasada działania techniki rezonansu magnetycznego (RM) opiera się na zjawisku magnetycznego rezonansu jądrowego. Jądro atomu wodoru (proton) określone jest za pomocą masy, ładunku elektrycznego, spinu i momentu magnetycznego. Fundamentalną rolę odgrywa tutaj moment magnetyczny protonu, który jest indukowany za pomocą spinu jądra. Wspomniane zjawisko magnetycznego rezonansu jądrowego zachodzi w stałym zewnętrznym polu magnetycznym przy współdziałaniu ze zmiennym

i prostopadłym polem magnetycznym.

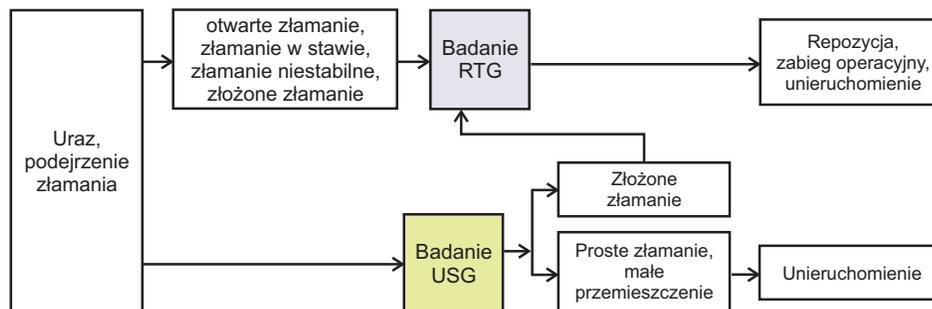
Zaletą obrazowania techniką rezonansu magnetycznego jest niewątpliwie bardzo dobre obrazowanie tkanek miękkich. Niestety obrazy tomografii RM posiadają niewielką rozdzielczość przestrzenną i niski stosunek sygnału do szumu [19]. Są doniesienia o wykorzystywaniu RM do diagnostyki złamań patologicznych, natomiast poza tymi sytuacjami nie stosuje się go do obrazowania układu kostnego [20].

Rozdział 8

Założenia i cel pracy

Obserwujemy obecnie bardzo szybki rozwój różnych metod diagnostycznych. Powstało zatem pytanie: czy nadal tylko zdjęcia rentgenowskie powinny służyć do oceny uszkodzeń kości w wyniku urazu, a może należy na nowo podejść do tego zagadnienia.

Ackermann zaproponował nowy algorytm diagnostyczny w urazach kości, gdzie równorzędnie do badań rentgenowskich są badania ultrasonograficzne (USG). Rysunek 8.1 przedstawia ten algorytm [21, 22].



Rysunek 8.1: Algorytm wg Ackermanna postępowania diagnostycznego w uszkodzeniach kości z wykorzystaniem diagnostyki USG [21, 22].

Ackermann dokładnie określa sytuacje, gdzie należy stosować USG, a gdzie rentgenogramy. W sytuacji urazu kończyny z małym obrzękiem, prawidłową osią kości lub izolowanym bólem w miejscu urazu proponuje badania USG. W sytuacji nieprawidłowej osi kości, złamania otwartego lub złamania w zakresie stawu pozostaje nadal diagnostyka rentgenowska. Jeśli badanie USG wykaże skomplikowane złamanie wykonujemy badanie rentgenowskie dla lepszego zobrazowania obszaru złamania.

Złamania w zakresie odcinka dalszego przedramienia stanowią 3/4 wszystkich złamań u dzieci. Kości przedramienia w tym odcinku są łatwo dostępne badaniu, gdyż znajdują się tuż pod skórą. Postanowiłam zastosować algorytm Ackermanna tylko do odcinka dalszego przedramienia i odpowiedzieć na pytania:

- Czy badanie USG jest wystarczającą i skuteczną metodą diagnozowania złamań odcinków dalszych kości przedramienia u dzieci w zależności od ich typu w analizowanych grupach wiekowych?

- Czy uzyskane wyniki diagnozowania złamań odcinków dalszych kości przedramienia u dzieci w analizowanych grupach wiekowych oraz w zależności od typu złamania są zbieżne z wynikami uzyskanymi w oparciu o standardową diagnostykę radiologiczną?
- Czy można poszerzyć zakres zastosowania USG do repozycji złamań dalszych odcinków kości przedramienia, co stanowiłoby autorską modyfikacją algorytmu Ackermanna?

Aby uzyskać odpowiedzi na powyższe pytania należało opracować sposób wykonywania badania ultrasonograficznego i opisać procedurę medyczną. Powstał wtedy obraz ultrasonograficzny kości przedramienia bez złamania typowy dla różnych grup wiekowych. Kolejnym etapem było opracowanie typowych obrazów dla różnych typów złamań. Na podstawie doniesień z piśmiennictwa badanie powinien wykonywać lekarz leczący, czyli lekarz ortopeda, chirurg dziecięcy lub lekarz medycyny ratunkowej, w związku z tym moim zadaniem było opracowanie sposobu dokumentacji medycznej badania USG, tak aby wiarygodna i czytelna była informacja dla lekarzy biorących udział w dalszym leczeniu.

Nadrzędnym celem pracy jest ograniczenie narażenia dzieci na promieniowanie jonizujące, a więc ocena wielkości grupy chorych, u której nie będą wykonywane badania rentgenowskie.

Rozdział 9

Analiza statystyczna

Praca doktorska opisuje urazy przedramion dla nie jednolitej grupy dzieci w wieku od 1 miesiąca do 18 roku życia. Aby grupy były bardziej jednorodne zastosowałam podział na 3 podgrupy wiekowe. Wiek określiłam statystyką opisową (średnia). Każda z trzech podgrup charakteryzuje się pewnymi specyficznymi cechami dotyczącymi ich aktywności szkolnej (wiek przedszkolny, wiek szkoły podstawowej i wiek szkół ponadpodstawowych).

Dokonałam podziału na trzy podgrupy, choć ostatecznie w pracy okazało się nie mieć to istotnego znaczenia. Obraz ultrasonograficzny odcinków dalszych kości przedramienia zmieniał się stopniowo z wiekiem, ale istotne obrazy ultrasonograficzne typowe dla dzieci występowały we wszystkich podgrupach i różniły się nieznacznie.

Zauważyłam jednak pewne różnice w częstości występowania różnych typów złamań w zależności od wieku chorych, nie było to jednak tematem badania i nie ma wpływu na algorytm postępowania diagnostycznego w urazach odcinków dalszych kości przedramienia.

Te zmienne w częstości występowania typów urazów opisano statystycznymi cechami jakościowymi wyznaczając odsetki częstości występowania. Przedstawiłam wyniki w postaci wykresów (kolumny) oraz w formie tabel, umieszczając je w tekście pracy.

Określiłam czułość i swoistość metody badawczej wykonując dwa równorzędne badania diagnostyczne: ultrasonografię i zdjęcia rentgenowskie.

Algorytm postępowania diagnostycznego w urazach odcinka dalszego przedramion u dzieci zaprezentowałam w postaci graficznej używając kolorów dla podkreślenia nowatorskiego podejścia do zagadnienia.

Do redagowania pracy wykorzystałam oprogramowanie komputerowe firmy Microsoft, Windows 7 Professional, Word office. Pracę edytowałam z użyciem oprogramowania WinEdit7.

Baza danych i redagowanie zdjęć oraz wyników badania była w programie IRIS firmy Optopol. Program IRIS służy do obsługi komputerowej urządzeń typu aparat USG.

Rozdział 10

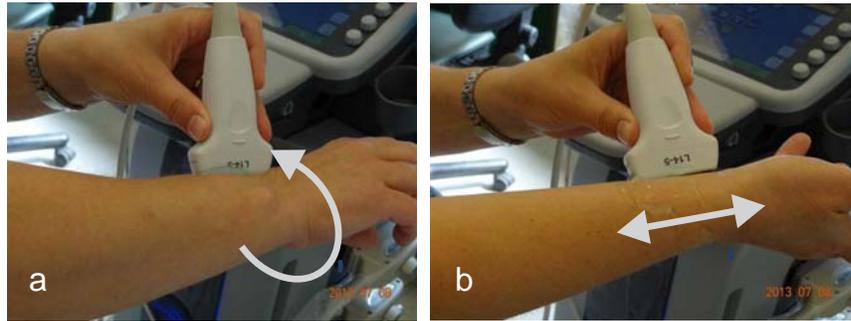
Material i metoda badań

Cel pracy zrealizowałam w oparciu o materiał kliniczny pochodzący ze Szpitalnego Oddziału Ratunkowego (SOR) Uniwersyteckiego Szpitala Dziecięcego w Krakowie, a obejmujący lata od stycznia 2010 do sierpnia 2012 roku. Projekt został wykonany w ramach grantu statutowego jako dotacja na rozwój potencjału naukowego o numerze: K/ZDS/002516 na rok 2011 i 2012. Zgoda Komisji Bioetycznej Wydziału Lekarskiego Collegium Medicum Uniwersytetu Jagiellońskiego nr KBET/139/B/2011 z dnia 30 czerwca 2011 roku.

Badanie przeprowadzałam w SOR Uniwersyteckiego Szpitala Dziecięcego w Krakowie w trakcie przyjmowania dzieci z różnego rodzaju uszkodzeniami urazowymi przedramion w latach od 2010 do 2012 roku. W chwili przyjmowania dziecka do SOR wykonywałam badanie USG aparatem Pro Series Logiq 500 z użyciem głowicy liniowej LA 39 o częstotliwości dźwięku 11 MHz lub przenośnym aparatem ultrasonograficznym Site Rite firmy Bard z głowicą liniową o częstotliwości dźwięku 7 MHz. Po wykonaniu obrazowania ultrasonograficznego wykonywano zdjęcie rentgenowskie w projekcji przednio – tylnej i bocznej odcinka dalszego przedramienia. Analizowałam i porównywałam uzyskane obrazy, a następnie tworzyłam bazę danych kompletując printy z badań USG, a po roku w bazie danych oprogramowania komputerowego IRIS zespolonego z aparatem USG. Wynik uzyskiwałam w postaci wydruku na drukarce laserowej o bardzo dobrej rozdzielczości druku – czerń 600×600 dpi i rozdzielczość optyczna 1200 dpi.

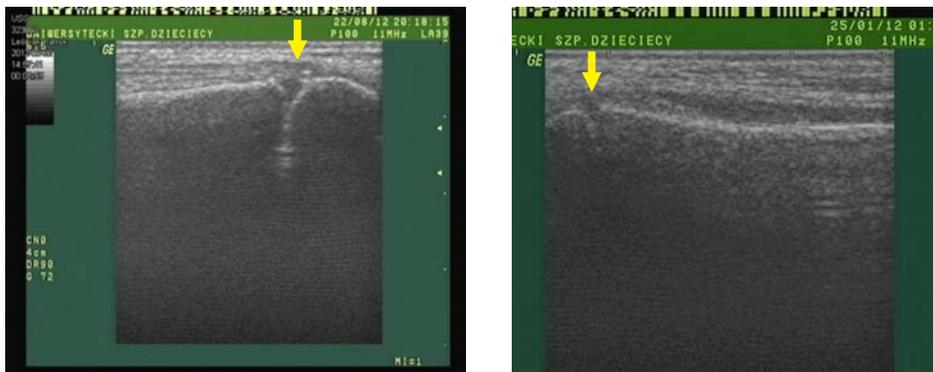
10.1 Sposób przeprowadzania badania

Głowicę ustawiałam równolegle do osi długiej przedramienia i przesuwałam w kierunku nasad dalszych kości przedramienia, aby uwidocznić na monitorze obszar chrząstki wzrostowej, który przedstawia się jako „przerwa” pomiędzy dwoma obszarami: nasadą i przynasadą (Rys.10.1 i 10.2). Im młodsze dziecko, tym „przerwa” (obszar chrząstki wzrostowej) szersza, aż do zaniku u dziewcząt w wieku od 15 do 16 roku życia, u chłopców zanik obserwowałam około 18 roku życia. Po identyfikacji tego obszaru, ruchem kolistym równolegle do osi kości obrazowałam cały obwód odcinka dalszego przedramienia, szukając zmian w obrysach kości (Rys.10.3, Rys.10.4). W obrazie ultrasonograficznym wyraźnie widać istotę zbitą – korę kości jako wyraźną jasną linię



Rysunek 10.1: Sposób wykonania badania USG dalszego odcinka przedramienia; a – kierunek przesuwania głowicy USG przy badaniu wokół osi przedramienia, b – obraz przedstawia przesuwanie głowicy w trakcie badania w kierunkach proksymalnym i dystalnym.

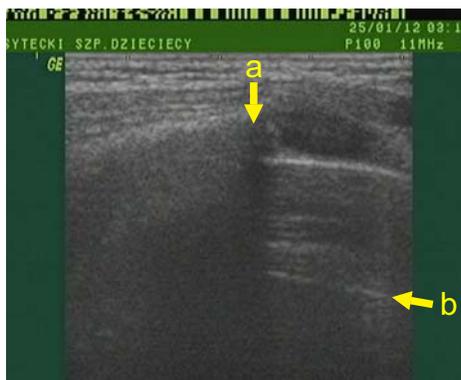
(Rys.10.2). Okostna czy chrzęstna przylega do kości lub chrząstki i jeśli nie jest odwarstwiona nie można jej zidentyfikować. Okostna jest widoczna, jeśli ulegnie odwarstwieniu (Rys.10.5). Przez istotę zbitą fale ultradźwiękowe nie przechodzą, natomiast jeśli dojdzie do przerwania jej ciągłości pojawia się słup fal podobnie jak fal odbitych od ciała obcego, przechodzącej w głąb kości (Rys.10.3). Ponadto, na rysunku widać przerwanie okostnej. Jeśli dochodzi do złamania z przemieszczeniem jedna powierzchnia istoty zbitej jest widoczna, zaś druga może być widoczna niewyraźnie z powodu padania fal ultradźwiękowych pod innym kątem niż prostym (Rys.10.3). Wtedy warto zarejestrować badanie w formie filmu. Obrazy zestawiałam na jednym wydruku



Rysunek 10.2: Obraz ultrasonograficzny prawidłowej kości dziecka. Strzałka żółta wskazuje miejsce chrząstki wzrostowej.

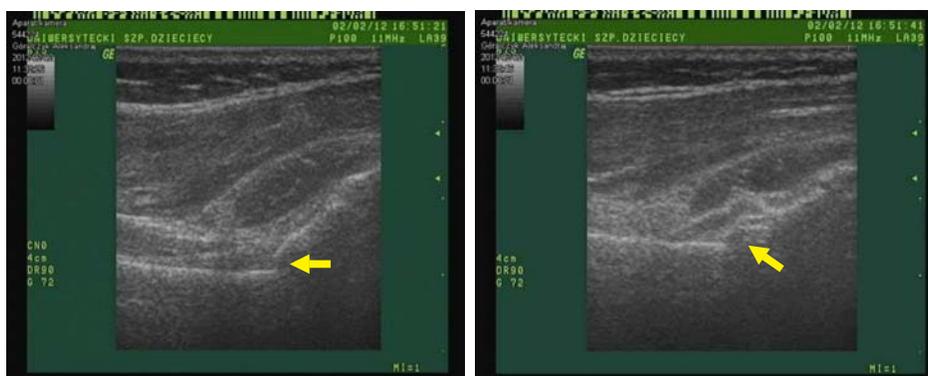
(Rys.10.3) lub w postaci „duo” czyli oba obrazy generowane obok siebie w momencie badania (Rys.10.5). Pozwala to na uwidocznienie zmian zaistniałych w wyniku urazu oraz określenie rodzaju złamania.

W miejscu bolesności, obrzęku, zmiany osi przedramienia zwracamy szczególną uwagę na obraz kości w USG. Zapisujemy obraz badanego obszaru i wykonujemy badanie sy-



Rysunek 10.3: Obraz złamania trzonu kości z przechodzącym słupem fal ultradźwiękowych (strzałka a) i widoczną przeciwległą warstwą istoty zbitiej (strzałka b).

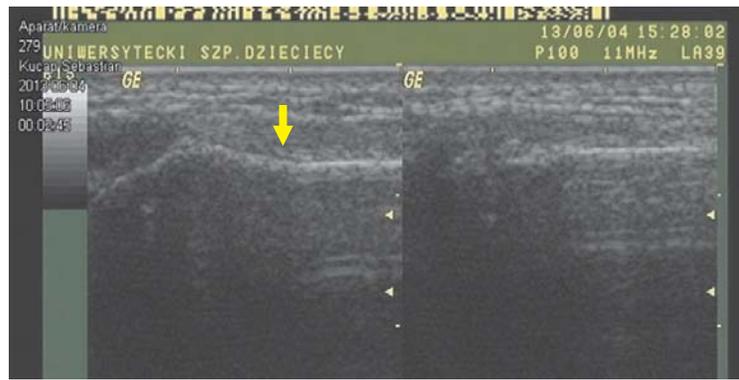
metrycznego obszaru drugiego przedramienia w celu porównania obrazów. Jeśli obrazy zestawimy obok siebie mamy pewność co do występowania drobnych zmian w zakresie kości, jak złamania typu torus, drobne złamania podokostnowe, krwiaki wokół kości, złamanie plastyczne. Złamania pełne z przerwaniem okostnej są bardzo dobrze widoczne (Rys.10.3).



Rysunek 10.4: Obraz ultrasonograficzny złamania wieloodłamowego trzonu kości promieniowej z przechodzącym słupem fal ultradźwiękowych (strzałka żółta). Odwarstwiona okostna zaznaczona jest strzałką.

W celu ustalenia wiarygodności uzyskanego w badaniu obrazu wykonywałam zawsze badanie porównawcze obu kończyn. Ponadto weryfikowałam uzyskane tą drogą wyniki standardowym badaniem rentgenowskim w projekcji przednio-tylnej (a-p) oraz bocznej (l) (Rys.10.6).

U dzieci zdjęcie rentgenowskie obrazuje trzony (*diaphysis*) kości rozszerzające się na końcach w przynasady (*metaphysis*), za nimi wąski obszar niemy radiologicznie- chrząstka wzrostowa- nasadowa (*physis*) i nasada (*epiphysis*) (Rys.10.6). Dawka promieniowania jonizującego na jedną projekcję była od 0,02 do 0,04 mGy. Zbadałam 255 dzieci w wieku od 1 do 18 lat (średnia wieku 7 lat), u których z powodu podejrzenia złamań odcinków dalszych kości przedramienia wykonałam diagnostykę z wykorzysta-



Rysunek 10.5: Obraz porównawczy prawej i lewej kości promieniowej w odcinku dalszym. Po jednej stronie ugięcie kości(strzałka). Po drugiej stronie nie obserwuje się ugięcia. Obrazowanie jest w formie "duo".



Rysunek 10.6: Obraz radiologiczny prawidłowego dalszego odcinka kości przedramienia: a – u niemowlęcia w projekcji bocznej i przednio-tylnej, b – u dziecka kilkuletniego w projekcji bocznej i przednio-tylnej.

niem badania USG i standardowe badania rentgenowskie w projekcjach przednio-tylne i bocznej. W grupie tej było 90 dziewcząt, co stanowi 34% oraz 179 chłopców, co daje 66%. Ze względu na dużą rozpiętość wieku i wynikającą z tego odmienność morfologii analizowanych obrazów, podzieliłam badane dzieci na następujące podgrupy:

Podgrupa I 44 dzieci w wieku od 1 do 5 roku życia, w tym 34 chłopców, co stanowi 77% oraz 10 dziewcząt, co daje 23%.

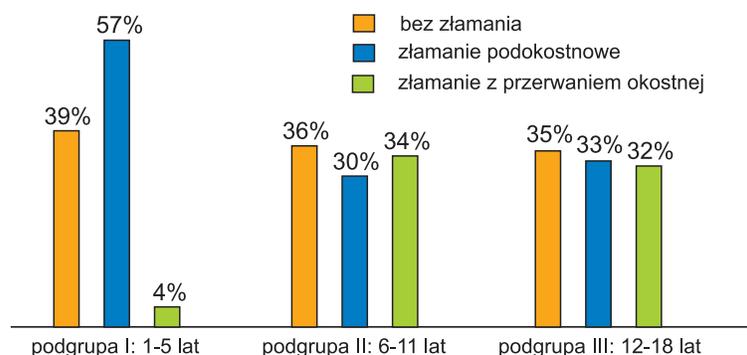
Podgrupa II 125 dzieci w wieku od 6 do 11 roku życia, w tym 83 chłopców, czyli 66% oraz 42 dziewcząt, co daje 34%.

Podgrupa III 86 dzieci w wieku od 12 do 18 roku życia, w tym 52 chłopców, co stanowi 60% oraz 34 dziewcząt, co daje 40%.

Rozdział 11

Wyniki

W badanej populacji dzieci u 83 z nich, czyli u 33% rozpoznałam złamania kości bez przerwania okostnej, u 76 (29%) złamania z przerwaniami ciągłości okostnej. U 98 dzieci czyli 38%, nie stwierdziłam złamania (Rys.11.1). Przeprowadziłam analizę



Rysunek 11.1: Rozkład typów obrażeń odcinków dalszych kości przedramienia w poszczególnych podgrupach dzieci.

urazów w poszczególnych grupach wiekowych. W podgrupie I dzieci do 5 roku życia okostna oraz ochrzęstna są wyjątkowo grube i większość złamań jest bez przerwania okostnej. Spośród 44 dzieci 17 (39%) nie miało złamań, 25 (57%) były złamania podokostnowe i 2 (4%) złamania z przerwaniami okostnej (Rys.11.1).

W podgrupie II w wieku od 6 do 11 lat okostna zastępuje w znacznym stopniu ochrzęstną. Spośród 125 dzieci tej grupy u 48 (36%) nie stwierdziłam złamania, 30 (30%) ze złamaniami podokostnowymi i 47 (34%) ze złamaniami z przerwaniami okostnej. Jest to grupa dzieci o dużej aktywności ruchowej.

Zbadałam 86 dzieci z podgrupy III, nastolatków od 12 do 18 lat. Stwierdziłam u 31 (35%) brak cech złamania, u 28 (33%) złamania podokostnowe i u 27 (32%) złamania z przerwaniami okostnej. Wśród 255 dzieci ze średnią wieku 7 lat było 86 dziewcząt w wieku 2 do 17 lat (średnia 10 lat) oraz 169 chłopców w wieku 1 do 18 lat (średnia 11 lat).

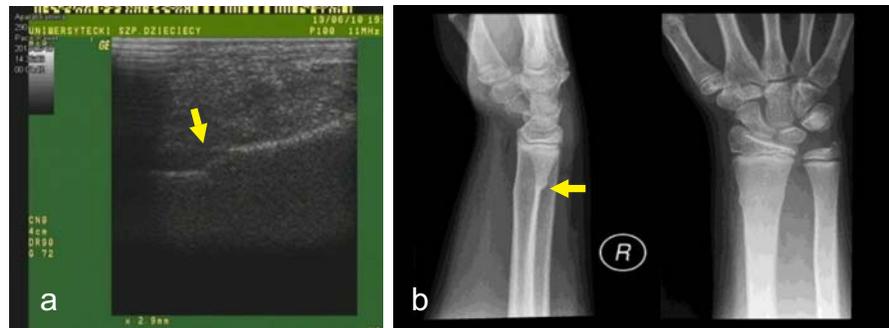
Na podstawie badania ultrasonograficznego urazów kości stwierdziłam trzy charakterystyczne obrazy złamań podokostnowych kości przedramienia [23]:

obraz schodka – na zdjęciu rentgenowskim wykonanym w projekcji przednio-tylnej

złamanie takie jest niewidoczne, jest widoczne tylko w projekcji bocznej w odcinku przynasady dalszej. Obraz „schodka” odpowiada zgnieceniu kości i wgnieceniu części zbitej w gąbczastą oraz wciągnięciu okostnej w obręb szczeliny złamania (Rys.11.2). Jest to złamanie typu torus,

obraz wybrzuszenia okostnej – obraz krwiaka podokostnowego wypuklającego okostną. Jest to złamanie poprzeczne, ale bez przerwania okostnej (zielonej gałązki") (Rys.11.3),

obraz ugiętej osi – złamanie typu plastycznego (Rys.11.4).



Rysunek 11.2: Złamanie podokostnowe typu torus. Obraz schodka (strzałka) w USG (a) oraz porównawczo obraz rentgenowski (b).



Rysunek 11.3: Złamanie podokostnowe typu "zielonej gałązki". Obraz wybrzuszenia (strzałka) w USG (a) oraz porównawczo obraz rentgenowski (b).

Wśród złamań podokostnowych- 83, ogromna większość, bo 80 (98%) dotyczyła tylko kości promieniowej, a zaledwie 3 (2%) złamania były w zakresie obu kości. Wśród złamań z przerwaniem okostnej – 76, 40 (52%) dotyczyło złamań obu kości, a 36 (48%) tylko kości promieniowej. Mechanizm urazu tłumaczy te dane – im większa siła tym większe prawdopodobieństwo złamania obu kości. Są to w większości urazy z podparcia, nie bezpośrednie uderzenie w kość, a więc wynikają z mniejszej siły mechanicznej.



Rysunek 11.4: Obraz ugięcia (strzałka) w USG (a) – złamanie podokostnowe typu złamania kompresyjnego oraz porównawczo obraz rentgenowski (b)(strzałka).

Największa grupa złamań występuje w zakresie przynasad - 153 (60%) pacjentów.



Rysunek 11.5: Obraz przerwania okostnej (strzałka) w USG (a) oraz porównawczo obraz rentgenowski (b).

Okolica chrząstek wzrostowych to 51 (20%) chorych i tak samo trzon – 51 chorych czyli 20%.

Jeśli oś przedramienia była prawidłowa, obraz ultrasonograficzny nie wykazywał zmiany osi kości. W 100 procentach była zgodność z obrazem rentgenowskim, w którym nie stwierdzono również zmiany osi kości. Taka sytuacja była w 107 (42%) przypadkach.

Złamania z przerwaniem okostnej stwierdzono u 29% badanych dzieci (76 dzieci). Wśród nich większość to chłopcy – 66 (90%), dziewcząt było 10 czyli 10%. W 31 (12%) z całej grupy badanej stwierdzono przerwanie okostnej z prawidłową osią kości. Obraz ultrasonograficzny takiego uszkodzenia to przerwanie ciągłości części zbitej kości i widoczny ubytek w ciągłości odwarstwionej okostnej (Rys.11.5). Pozostałe 45 przypadków (17%) miało, oprócz przerwania okostnej, nieprawidłową oś kości. Zgodnie z algorytmem Ackermanna, jeśli oś kości jest nieprawidłowa należy wykonać zdjęcie rentgenowskie. Badanie ultrasonograficzne potwierdziło nam obraz w 100%. Obraz rentgenowski przedstawia większy obszar w czasie jednej projekcji w porównaniu do ultrasonograficznego. Badanie rentgenowskie jest pełniejsze i zgodnie z algorytmem Ackermanna nie możemy w tej sytuacji wykonać samego badania ultrasonograficznego, jako zamykającego proces diagnostyczny. W sytuacji dużego obrzęku, dużej deformacji

kończyny lub złamania otwartego nie wykonywałam badania USG zgodnie z algorytmem Ackermanna. Badanie USG tylko wydłużyło by proces diagnostyczny, a i tak była konieczność wykonania zdjęcia rtg.



Rysunek 11.6: Obraz złuszczenia typu Salter-Harris I (strzałka czerwona). Obraz przedstawia szerszy obszar bezechowy – rozerwana chrząstka wzrostowa.

Złuszczenia, czyli urazy chrząstek nasadowych w grupie dzieci badanych stwierdziłam u 20 (8%) z całej grupy badanej dzieci. Typ I Salter-Harris w obrazowaniu USG wymaga badania symetrycznych okolic, aby uwidocznić różnice w szerokości obszaru, który zajmuje chrząstka wzrostowa. W USG jest to obszar bezechowy. Jeśli dojdzie do rozerwania, ta przestrzeń powinna być szersza. Obrazowanie symetrycznych obszarów anatomicznych, pomiary tych obszarów mogą dać nam odpowiedź. Wykonując badanie rentgenowskie najczęściej diagnoza jest wątpliwa, aby była pewniejsza należy wykonać badanie rentgenowskie drugiej kończyny, przez co oczywiście narażamy dziecko na dodatkowe dawki promieniowania X. Tak więc badanie ultrasonograficzne ma ewidentną przewagę nad rentgenowskim. Złuszczenie typu I wystąpiło u 5 (0,2%) pacjentów (Rys.11.6).

Złuszczenie wg Salter- Harris typu II stwierdzono w 46 przypadkach (18%), a rysunek 11.7 przedstawia obraz porównawczy z badania radiograficznego i ultrasonograficznego w sytuacji złuszczenia z przemieszczeniem w tym typie. U żadnego pacjenta



Rysunek 11.7: Złuszczenia typu Salter-Harris II nasady dalszej kości promieniowej. Obraz radiograficzny (A). Strzałką zaznaczyłam miejsce złuszczenia i obraz USG (B,C), gdzie również strzałką zaznaczyłam miejsce złuszczenia. Obraz rentgenowski pełniej obrazuje typ złamania i jest konieczny do postawienia prawidłowego rozpoznania oraz podjęcia decyzji o sposobie leczenia.

nie wystąpiło złuszczenie typu III, IV i V.

Zgodnie z algorytmem Ackermanna operacyjna repozycja złamań z przemieszczeniem powinna być wykonywana pod kontrolą radiologiczną.

Na podstawie literatury [24, 25, 26, 27] w repozycjach prostych postanowiłam zastosować ultrasonografię. Repozycje proste wymagają podania znieczulenia nasiękowego w szczelinę złamania. Stosując fluoroskopię można zobrazować szczelinę złamania i igłę, którą podajemy lek anestetyczny, na przykład 2% roztwór Lignokainy. Niestety związane jest to z narażeniem lekarza oraz chorego na promieniowanie jonizujące. Obrazując, jak na rysunku 11.8, szczelinę złamania pod USG można precyzyjnie podać anestetyk. Tor przechodzenia igły i samą podaż leku można uwidocznnić w ultrasonografii. Jest to autorska modyfikacja znieczulenia nasiękowego szczeliny złamania pod kontrolą USG. Zamkniętych repozycji kości przedramion wykonuje się w naszym ośrodku około 400 na rok. Możemy zatem nastawiać złamanie wykorzystując obrazowanie ultrasono-



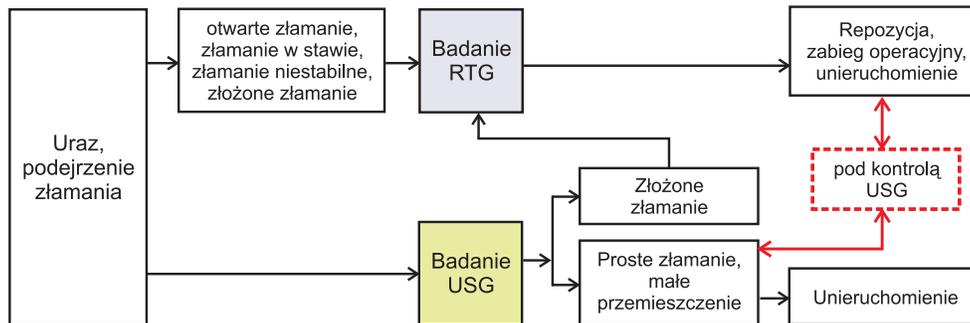
Rysunek 11.8: Repozycja złamania przynasady dalszej kości promieniowej pod kontrolą USG z podaniem anestetyku. Po prawej obraz repozycji, w środku obraz z iniekcji anestetyku w okolicę szczeliny złamania (strzałka wskazuje przekrój igły) i po lewej obraz po repozycji.

graficzne [24, 25, 26, 27, 28]. Przed repozycją obrazuję dokładnie miejsce złamania i oceniam kąt przemieszczenia, następnie w okolicę szczeliny złamania nadal pod kontrolą USG podaję anestetyk (Rys.11.8). Nastawiam i oceniam ultrasonograficznie stan po repozycji. Przy jednoznacznym obrazie ultrasonograficznym nie wykonuję zdjęcia rentgenowskiego po repozycji. Zakładam opatrunek gipsowy okrężny i po 5 dniach wykonuję zdjęcie rentgenowskie oceniając stabilność repozycji. Tym sposobem unikam wykonania 2 zdjęć po repozycji i naświetlania pacjenta i lekarza w trakcie przeprowadzanej repozycji. Wykonałam 10 repozycji pod kontrolą USG, w tym 7 z podaniem anestetyku pod kontrolą USG.

Złamania wieloodłamowe, z dużym przemieszczeniem, czyli takim, że nie ma możliwości w badaniu ultrasonograficznym uwidocznienia dokładnego zakresu przemieszczenia (Rys.10.4) wymaga diagnostyki rentgenowskiej. Jest to sytuacja, kiedy na przykład zostaną złamane obydwie kości z przemieszczeniem. Wtedy repozycja wymaga obrazo-

wania radiologicznego -- fluoroskopii, lub repozycji operacyjnej z odsłonięciem szczelin złamania.

Wobec przyjętego sposobu diagnozowania złamań dalszego odcinka kości przedramienia w analizowanych grupach dzieci, zaproponowałam autorską modyfikację algorytmu wg. Ackermanna z uwzględnieniem stosowania USG w trakcie repozycji (Rys.11.9).



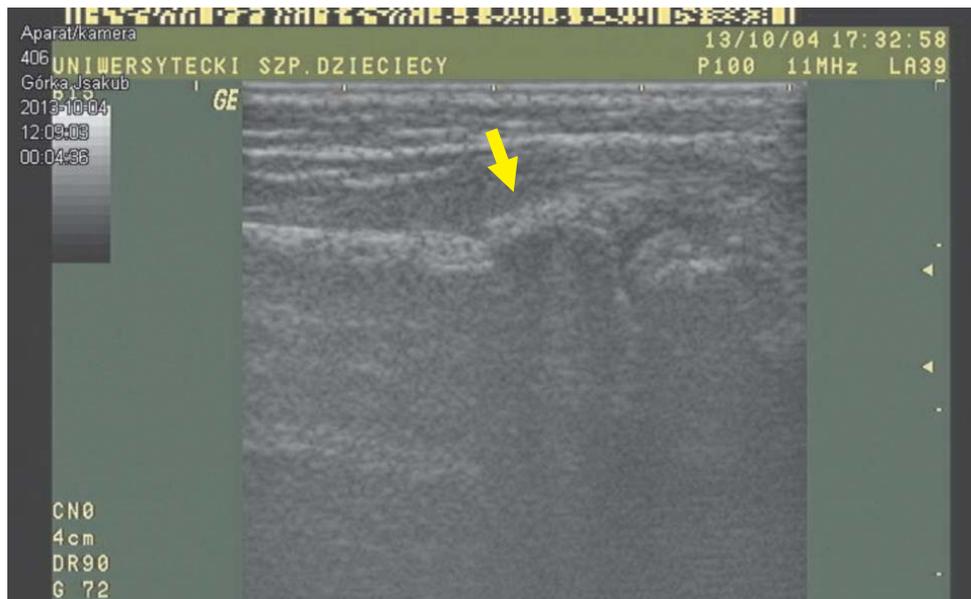
Rysunek 11.9: Algorytm Ackermanna z modyfikacją własną uwzględniająca zastosowanie USG w repozycjach złamań.

11.1 Przykłady kliniczne

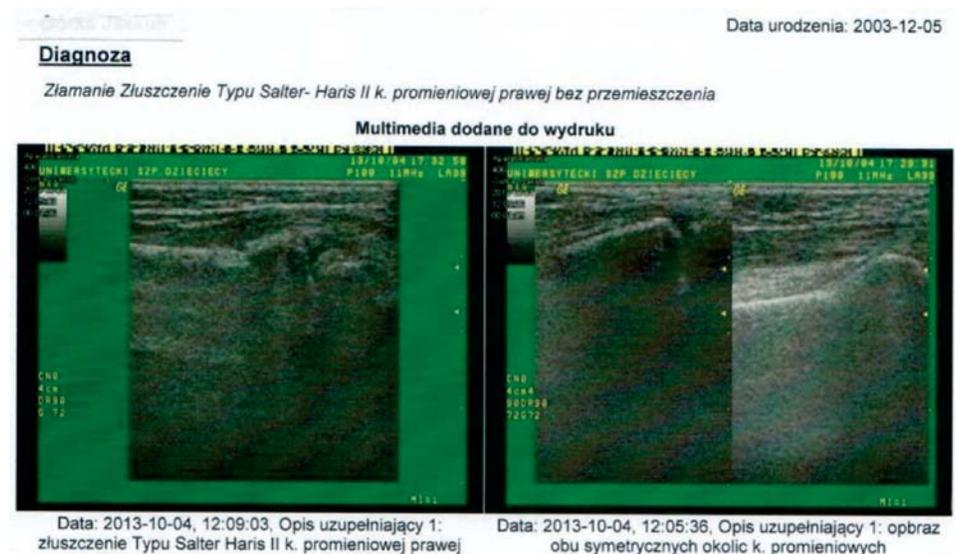
Przedstawiam trzy przypadki kliniczne celem zobrazowania zastosowania algorytmu Ackermanna z moją modyfikacją w praktyce klinicznej.

Przykład 1

Chłopiec 10 letni na lekcji wychowania fizycznego grał z kolegami w piłkę nożną. Był bramkarzem. Broniąc bramki przed mocnym strzałem, doznał urazu okolicy stawu nadgarstkowo – promieniowego. Doszło do bardzo silnego wygięcia ręki prawej w kierunku grzbietowym. Po tym urazie chłopiec jeszcze bronił bramki, ale łapanie piłki było bolesne. W spoczynku dolegliwości bólowe nie występowały. Wrócił do domu i następnego dnia rano zauważył niewielki obrzęk w okolicy nasady dalszej kości promieniowej. Zgłosił się z mamą do Szpitalnego Oddziału Ratunkowego bez jakiegokolwiek unieruchomienia. Badając dziecko, stwierdziłam nieznaczny obrzęk w okolicy przynasady dalszej kości promieniowej prawej i bolesność uciskową. Oś kończyny była prawidłowa. Chłopiec poruszał ręką w stawie nadgarstkowo – promieniowym, ale precyzyjne ruchy jak ubieranie się oraz podnoszenie przedmiotów były powodem dolegliwości bólowych. Najpierw wykonałam badanie ultrasonograficzne głowicą liniową o częstotliwości fal 11 MHz. Zbadałam okolicę z obrażeniem i symetryczną okolicę zdrowej kończyny górnej. Zapisałam obraz w formie „duo”. Stwierdziłam złamanie podokostnowe niepełne, bez zmiany osi przedramienia o typie „schodka”. Ustawiając głowicę pod różnymi kątami w stosunku do powierzchni kości uwidoczniałam szczelinę złamania skośną, sięgającą do chrząstki wzrostowej, co pozwoliło postawić rozpoznanie złuszczenia typu Salter-Harris II (Rys.11.10). Wykonane badanie rentgenowskie potwierdziło złuszczenie typu Salter – Harris II (Rys.11.12).



Rysunek 11.10: Obraz USG złamania typu Salter Harris II bez przemieszczenia u pacjenta 1.



Rysunek 11.11: Wydruk wyniku badania ultrasonograficznego pacjenta 1 z wykorzystaniem oprogramowania IRIS.

Zgodnie z algorytmem Ackermanna w sytuacji niewielkiego obrzęku i prawidłowej osi przedramienia oraz złamania poza obszarem stawu badanie rentgenowskie nie musi być wykonane. Założyłam szynę gipsową przedramienną na okres 3 tygodni. Zaleciłam obserwację ukrwienia palców i noszenia chorej kończyny na temblaku. Postępowanie zgodne z algorytmem Ackermanna wykluczyłoby konieczność wykonania 2 zdjęć rentgenowskich, a wydruk obrazu ultrasonograficznego z komentarzem stanowiłby jedyny zapis obrazowania złamania (Rys.11.10).



Rysunek 11.12: Obraz badania rentgenowskiego pacjenta 1.



Rysunek 11.13: Obraz USG z niewielkim ugięciem osi kości promieniowych u pacjenta 2.

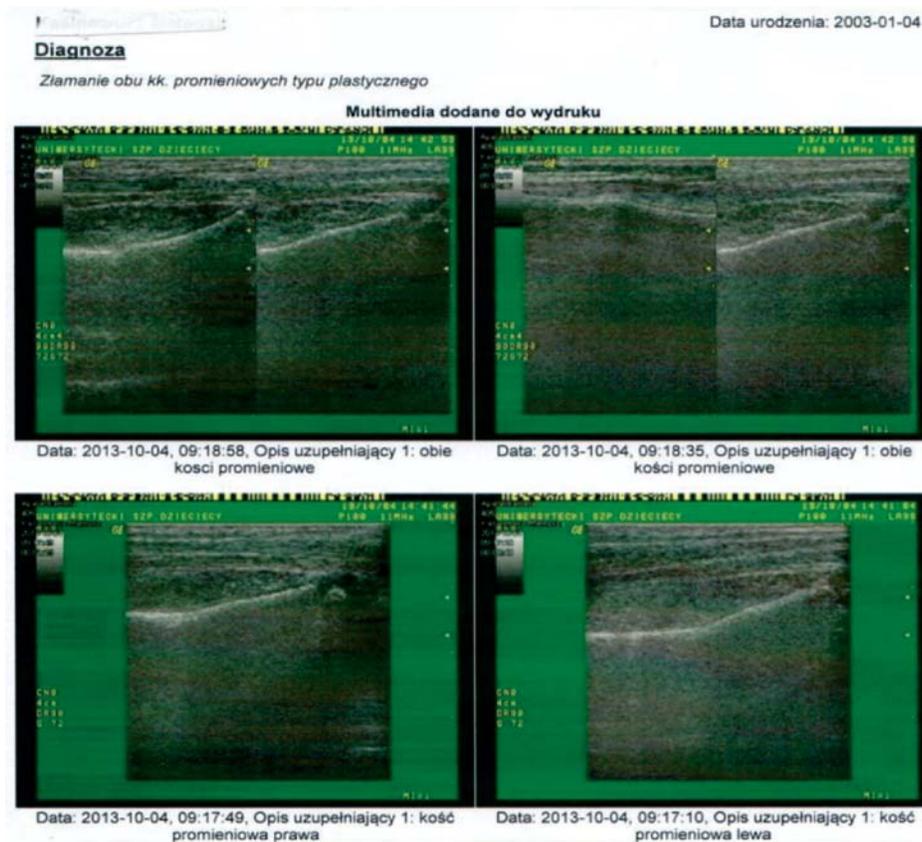
Przykład 2

Chłopiec 11 letni jechał do szkoły na hulajnodze i przewrócił się. Ratując się przed urazem głowy, podparł się oburącz i doznał urazu obu przedramion. Po urazie odprowadził hulajnogę do domu, jednak skarżył się na bolesność w okolicach dalszych odcinków obu przedramion. Ubieranie się, podnoszenie ciężkiego przedmiotu powodowało u niego silne dolegliwości bólowe. W spoczynku miejsca obrzęknięte nie powodowały dolegliwości bólowych. Zgłosił się z mamą do Szpitalnego Oddziału Ratunkowego około 2 godziny po urazie. Nie miał zastosowanego żadnego unieruchomienia, ani okładu z lodu. Badając dziecko, stwierdziłam prawidłowe osi obu przedramion, obrzęk w okolicach przynasad dalszych obu kości promieniowych. Zgodnie z algorytmem Ackermanna wykonałam USG okolic obrzękniętych i stwierdziłam po prawej i po lewej złamania podokostnowe typu ugięcie obu kości promieniowych, nieco większe po prawej (Rys.11.13). Ugięcie było widoczne na powierzchni dłoniowej dalszego odcinka trzonu, na powierzchni grzbietowej były drobne złamania podokostnowe typu wybrzuszenia, co świadczyło o złamaniu poprzecznym trzonu typu „zielonej gałązki” bez przemieszczenia. Rysunki 11.13 i 11.14 obrazują tę sytuację. Obraz ultrasonogra-

ficzny jest typowy dla złamania, ale nie mamy możliwości wykonania obrazowania porównawczego, gdyż obie kości promieniowe uległy złamaniu. Zgodnie z algorytmem Ackermanna (oś prawidłowa, niewielki obrzęk) możemy poprzestać na badaniu ultrasonograficznym i zastosować unieruchomienie. Wykonałam zdjęcia rentgenowskie potwierdzające to złamania.

Założyłam szyny gipsowe przedramienne oraz temblaki na okres 3 tygodni. W sytuacji opisywanej można było zaoszczędzić pacjentowi wykonania 4 zdjęć rentgenowskich.

Obraz ultrasonograficzny wraz z komentarzem wydrukowałam, co stanowi dokument potwierdzający obrazowanie złamania i rodzaj złamania (Rys.11.14). Wydruk obrazów USG złamań kości promieniowych u pacjenta 2.



Rysunek 11.14: Wydruk obrazów USG złamań kości promieniowych u pacjenta 2 z wykorzystaniem oprogramowania IRIS.

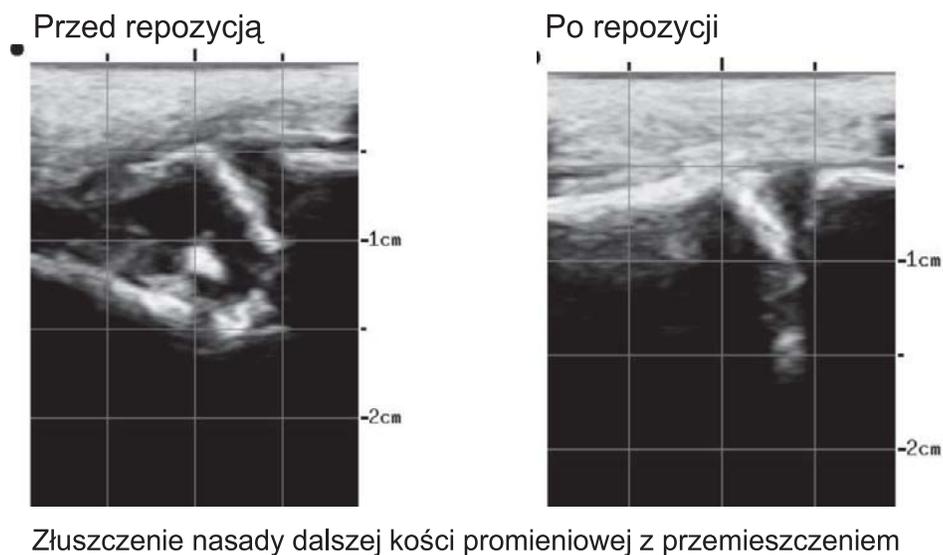
Przykład 3

Chłopiec 12 letni jadąc na rowerze, wpadł do dziury na ścieżce rowerowej i przewrócił się. Doznał urazu dalszego odcinka przedramienia lewego. Nie stracił przytomności. Pomocy udzielił mu kolega, później prowadząc jego rower. Chłopiec zgłaszał silne dolegliwości bólowe w miejscu urazu i natychmiast pojawił się obrzęk. Stwierdzono nieprawidłowe obrysy okolicy nasady dalszej kości promieniowej lewej. Występował silny, nie ustępujący nawet w spoczynku, ból. Na okolicę obrzękniętą zastosowano okład z lodu

i założono kończynę na temblak. Po 3 godzinach od wypadku, wraz z mamą, zgłosił się do Szpitalnego Oddziału Ratunkowego. Ze względu na duży obrzęk i nieprawidłową oś przedramienia wykonałam wstępnie dwa zdjęcia rentgenowskie przedramienia lewego: przednio–tylne i boczne (Rys.11.15). Stwierdziłam złamanie o typie złuszczenia Salter–Harris I z przemieszczeniem odłamka odcinka dalszego o 1 cm w kierunku grzbietowym. Wykonałam badanie ultrasonograficzne obrazując miejsce przemieszczenia odłamków i potwierdziłam przemieszczenie odłamków o 1 cm (Rys.11.16). W ultrasonografii widać drobny fragment kostny przytwierdzony do chrząstki wzrostowej, tak więc jest to złuszczenie typu Salter–Harris II. Pod kontrolą USG w szczelinę złamania podałam 2% roztwór Lignokainy, wstępnie schładzając chlorkiem etylu miejsce nakłucia skóry igłą. Zastosowałam trakcję, a następnie manualnie nastawiłam złamanie. Kontrola ultrasonograficzna potwierdziła prawidłowe ustawienie odłamków (Rys.11.16).



Rysunek 11.15: Zdjęcia rentgenowskie pacjenta 3 z obrazem złuszczenia z przemieszczeniem nasad dalszych kości promieniowej lewej typu Salter-Harris I.



Rysunek 11.16: Obraz USG złuszczenia Salter Harris II u pacjenta 3 przed repozycją i po repozycji.



Rysunek 11.17: Obraz rentgenowski przedstawia stan po repozycji złamania i po założeniu opatrunku gipsowego okrężnego u pacjenta 3.

Postąpiłam zgodnie z modyfikacją własną algorytmu Ackermanna, czyli zastosowałam obrazowanie ultrasonograficzne w procesie repozycji. Dzięki ultrasonograficznemu obrazowaniu nie wykonywałam repozycji we fluoroskopii ochraniając personel przed promieniowaniem X oraz zmniejszając dawki promieniowania rentgenowskiego u dziecka. Również precyzyjnie pod kontrolą USG podałam anestetyk w szczelinę złamania.

Rozdział 12

Dyskusja

Pierwsze badania USG układu szkieletowego z powodu podejrzenia złamania w zakresie odcinków dalszych przedramion bez złamań w zakresie stawów i bez złamań z przemieszczeniem ewidentnym klinicznie zostały opisane przez Williamsona i współpracowników i dotyczyły wyselekcjonowanej grupy 26 dzieci w wieku 2-17 lat [29]. Williamson opisuje obraz przerwania okostnej, natomiast nie opisał obrazów dla innych typów złamań u dzieci. Trzy charakterystyczne obrazy złamań podokostnowych: typu torus, krwiaka podokostnowego i złamań plastycznych opisałam w artykule w *Chirurgii Polskiej* [23].

Cross opublikował dane epidemiologiczne, z których wynika, że 30% urazów u dzieci dotyczy urazów dystalnej części kości promieniowej i łokciowej, 40% to różne okolice całej kończyny górnej. W USA rocznie notuje się 28 milionów wizyt dzieci w SOR; 11 milionów to urazy, 4 miliony to urazy ortopedyczne czyli układu szkieletowo-mięśniowego, w tym około 1,2 miliona to urazy odcinka dalszego przedramienia [30]. W SOR Uniwersyteckiego Szpitala Dziecięcego w Krakowie, w ciągu roku notuje się 27 000 wizyt chorych dzieci, z czego 9000 z powodu urazów ortopedycznych, z tego 250 pacjentów z urazami dalszego odcinka przedramienia.

Te dane skłoniły mnie do wyciągnięcia wniosku, że dalszy odcinek przedramienia może być modelowym obszarem do opracowania metod wprowadzenia ultrasonografii jako przesiewowego badania w urazach ortopedycznych u dzieci. Obrazy urazów dalszego odcinka przedramienia będą modelowymi obrazami dla różnych typów złamań i urazów tkanek miękkich.

Weinberg, Cho i współpracownicy podkreślają, że badanie żeber lub obojczyka jest trudne, mimo dobrej dostępności kości badanej, z powodu ugięcia kości i właśnie zbyt cienkiej warstwy tkanek miękkich wokół kości [31, 32]. Badanie stawów z powodu ich skomplikowanej budowy przestrzennej też jest trudne. Weinberg przypomina, że brytyjscy radiolodzy, jako pierwsi opisali sposób obrazowania złamań przedramion u dzieci przy pomocy USG. Określił nową nazwę FASTER-FAST plus extremity and respiratory evaluation-rozszerzone, celowane badanie ultrasonograficzne w urazach.

Ultrasonograficzny atlas anatomii mięśniowo-szkieletowej M. Bradley'a i P. O'Donnell'a nie przedstawia obrazów kości, lecz skupia się na anatomii tkanek miękkich i budowie stawów tylko u dorosłych [4]. Tak więc opracowanie modelowych obrazów kości, jeszcze z uwzględnieniem zmienności zależnej od wieku pacjenta, jest bardzo pomocne w pra-

widłowym wykonywaniu badania USG w przypadku urazu u dzieci. Takie opracowanie zawiera moja praca.

Od 2009 roku zainteresowałam się diagnostyką ultrasonograficzną w złamaniach. Pierwsze doniesienia przedstawiłam w kwietniu 2010 roku w Montpellier (Francja) w ramach wymiany międzynarodowej Erasmus. Wtedy prezentacją „Ultrasound imaging of the forearm fractures in children” dzieliłam się własnymi doświadczeniami z chirurgami dziecięcymi i ortopedami z Centre Hospitalier Universitaire de Montpellier. Rozgorzała tam dyskusja, nad tym kto jest odpowiedzialny za diagnostykę obrazową złamań- lekarz leczący czy radiolog. Widząc nowatorstwo w podejściu do zagadnienia diagnostyki ultrasonograficznej w urazach kończyn kontynuowałam badania. W międzyczasie kompletowałam zestaw komputerowy do tworzenia bazy danych oraz lepszego dokumentowania obrazów za pomocą wydruku drukarką laserową o gęstej ziarnistości wydruku

Wyniki cząstkowe mojej pracy prezentowałam na Sympozjum Sekcji Medycyny Ratunkowej Polskiego Towarzystwa we Wrocławiu w 2010 roku, następnie na Sympozjum Krajowym Polskiego Towarzystwa Chirurgów Dziecięcych w Serwach w 2012 roku i na Europejskim Kongresie Medycyny Ratunkowej w Karpaczu w 2013 roku.

Odcinek dalszy obu kości przedramion jest najczęstszą lokalizacją urazów, jak też najczęstszą lokalizacją złamań u dzieci. W procesie diagnostycznym natrafiamy u dzieci na pewne problemy jak:

- kłopoty w komunikacji z dzieckiem,
- nieprecyzyjną lokalizacją bólu przez dziecko,
- niejasną historią urazu.

W sytuacji małego obrzęku i prawidłowej osi przedramienia nie jesteśmy pewni, czy mamy do czynienia ze stłuczeniem, czy też z drobnym, niepełnym złamaniem. Często badanie rentgenowskie staje się badaniem przesiewowym.

Analizując wyniki badań i doniesienia wielu autorów, algorytm wg Ackermanna powinien być szeroko stosowany u dzieci, gdyż w sytuacjach wątpliwych co do złamania, stosuje się ultrasonografię w miejsce zdjęć rentgenowskich, jako badanie przesiewowe [21, 22, 23]. Autorzy podkreślają pewne trudności w samym procesie badania ultrasonograficznego dzieci, ja obserwowałam również te problemy [31, 33]. Są to:

- duża ruchliwość dziecka,
- często brak współpracy z powodu wieku dziecka lub strachu przed badaniem,
- małe rozmiary kości w wieku do 5 lat,
- kości leżą bardzo powierzchownie.

Badanie u dziecka siedzącego na kolanach opiekuna rozpoczynamy od strony symetrycznej zdrowej. Oswajamy dziecko z tym sposobem badania. Warto nałożyć grubą warstwę żelu, lub wykonać badanie w kąpieli wodnej, aby badanie było mniej bolesne [33]. Jeśli dziecko słabo współpracuje, wykonujemy zapis filmowy badania.

Istnieją też tak zwane złamania ukryte, czyli złamania, których nie zauważa się w badaniach rentgenowskich, zaś są widoczne w badaniach ultrasonograficznych [32, 34, 35]. W USG zauważa się pewne cechy drobnych uszkodzeń–złamań kości pod postacią:

- odwarstwienia okostnej z płynem pod okostną,
- ugięcia kory kości,
- drobne przerwanie w ciągłości okostnej,
- drobny fragment kostny odwarstwiony,
- obecność krwiaka.

Złamania te określiłam jako niepełne, podokostnowe. W moim materiale nie obserwowałam tak zwanych złamań ukrytych, czyli widocznych tylko w USG. Wynikać to może z bardzo dobrego obrazowania rentgenowskiego cyfrowego. Uważam, że szczelina złamania jest niewidoczna w USG jeśli fale ultradźwiękowe przebiegają równolegle do szczeliny, analogiczna sytuacja dotyczy zdjęć rentgenowskich, jeśli promieniowanie rentgenowskie również przebiega równolegle do szczeliny złamania. Badając okolicę bolesną pod różnymi kątami i w kilku kierunkach unikamy tej sytuacji. Stwierdziłam, że ustawienie głowicy równolegle do osi długiej kości i poruszanie nią wokół obwodu i wzdłuż osi kości pozwala najlepiej oceniać ją pod kątem złamania.

W złamaniach ukrytych, czyli widocznych tylko w USG, Berger i współautorzy po 2-3 tygodniach od urazu wykonywali zdjęcia rentgenowskie powtórnie, aby stwierdzić, czy są jakieś zmiany w budowie kości wynikające z gojenia złamania i je znajdowali: nawarstwienie okostnej lub zagęszczenia we wnętrzu kości [20]. Widzą oni miejsce USG w detekcji złamań ukrytych, a nie w badaniu przesiewowym, rozpoczynającym diagnostykę, jak np. w algorytmie wg Ackermanna. Zalecają w wątpliwych obrazach rentgenowskich badanie ultrasonograficznie, a nie odwrotnie. Z takim podejściem, zgodnie za Ackermannem, nie zgadzam się.

Wielu lekarzy podkreśla ogromną ilość zdjęć rentgenowskich wykonywanych u dzieci, dodatkowo niektórzy lekarze wykonują zdjęcia obejmujące całą kończynę. Ta sytuacja dotyczy szczególnie małych dzieci, gdzie często wywiad jest niepewny, a klinicznie objawy urazu trudne do zauważenia (obserwuje się czasami tylko oszczędzanie kończyny) [36, 37].

W publikacjach na temat zastosowania USG w diagnostyce złamań u dzieci pisze się tylko o miejscu złamań, objawach złamania, natomiast nie używa się w ogóle standardowych klasyfikacji radiologicznych złamań [11, 26, 27, 30, 34, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49].

Wykonałam 10 repozycji pod kontrolą USG, wszystkie z powodzeniem. Inni autorzy podkreślają również efektywność repozycji pod kontrolą USG [21, 24, 25, 26, 27, 28]. Chinnock stosował repozycję złamań przedramion pod kontrolą USG u 47 pacjentów pediatrycznych i dorosłych, stwierdził, że 75% wymagało tylko jednego manewru. Porównywał grupę chorych, u których wykonano repozycję bez USG – 57% repozycji wymagało więcej niż jednego manewru. Uważa więc, że USG pozwala na precyzyjne

i mniej traumatyczne zabiegi repozycji kości w zakresie przedramienia. Inni autorzy twierdzą, że wykonując repozycję kości pod USG, znacznie zredukowano konieczność stosowania fluoroskopii. Moje doświadczenie jest zbyt małe, aby wyciągnąć takie wnioski.

Zauważono, że jeśli aparat ultrasonograficzny ma wzmocnienie konturów (jak w aparatach dedykowanych badaniom naczyń), to identyfikacja okostnej jest łatwiejsza, a stąd łatwiej nastawiać złamanie [26, 28].

Weinberg uważa, że USG jest idealne dla ośrodków z limitowanym dostępem do aparatów rentgenowskich (np. z powodu braku dostępu do energii elektrycznej, z powodów finansowych), gdyż są to aparaty tańsze, nie wymagają specjalnych pomieszczeń i mogą nawet pracować na bateriach słonecznych [42]. Cross podkreśla, że dla SOR najlepszy jest aparat USG mobilny, nie jest tak istotna jakość obrazu [30]. USG jest szczególnie przydatne u dzieci z powodu cienkiej warstwy tkanki tłuszczowej i przez to dobrej rozdzielczości obrazu. Spostrzeżenia autorów potwierdziłam w moich badaniach. Zgadzam się, że mobilność aparatu oraz dodatkowe opcje pozwalające na lepsze obrazowanie podskórnie leżących struktur są przydatne w diagnostyce złamań u dzieci.

Uważam, że USG jest idealne do badań przesiewowych w urazach różnych okolic ciała. Przykład daje wojsko amerykańskie, gdzie przenośne USG (przenoszone na plecach) zastępuje przenośne aparaty rentgenowskie ze względu na 100% czułość i 94% specyficzność w diagnostyce obrazowej. Marshburn i współautorzy opisuje wszystkie zalety aparatu USG przydatne do pracy w armii. Najważniejsze to możliwość przeniesienia go w plecaku, łatwość obsługi, możliwość stosowania baterii, brak szkodliwości przez wyeliminowanie promieni jonizujących [40]. Vasios opisuje szczegółowo zastosowanie USG w warunkach wojennych, do oceny urazów kości w celu podjęcia decyzji o przewiezieniu żołnierza do polowego szpitala wojskowego [14]. Wprowadzono program operacyjny SOLCUS – Special Operators Level Clinical Ultrasound. Żołnierz obsługujący wojskowe przenośne USG nie jest lekarzem. Dzięki takiej taktyce zapobiega się niepotrzebnym ewakuacjom żołnierzy z baz wojskowych. Autor podkreśla też bezpieczeństwo stosowania przenośnych aparatów rentgenowskich, gdzie można rozregulować dawki promieniowania powodując przekroczenie dawek dopuszczalnych. Są to uwagi odnoszące się również do sytuacji działań ratowniczych w warunkach zdarzeń masowych.

Barata podkreśla skracanie czasu diagnostyki złamań wymagających repozycji w warunkach SOR – zasada „złotej godziny” [42]. Nasze obserwacje całkowicie zgadzają się z powyższymi stwierdzeniami.

Berger przedstawia wykorzystanie rezonansu magnetycznego do detekcji złamań w obrębie stawów nie wykrytych w badaniu radiologicznym [20]. Badanie RM urazów kości w warunkach ratunkowych jest nieprzydatne. Dzieci dodatkowo wymagają sedacji w trakcie takiego badania.

Powstała konieczność prowadzenia szkoleń. W USA trzy firmy stworzyły szkoły nauczania USG w urazach układu mięśniowo-szkoleniowego, udoskonalając algorytmy nauczania. Wykorzystując 30-minutowe filmy z obrazowaniem USG oraz 30 minut osobistego wykonania badania. W tak krótkim czasie można nauczyć się USG w urazach poszczególnych kości. Zaleca się ciągłą naukę i trening, począwszy od studentów.

Ja, w ramach zajęć z ratownictwa pediatricznego dla studentów medycyny i ratownictwa, prowadzę regularne kursy z podstaw FAST. Natomiast rezydentów ratownictwa medycznego wprowadzam w FASTER, głównie w zakresie złamań kości przedramion. Zgadza się z publikacjami na temat ultrasonografii w ratownictwie, że badanie powinien wykonywać lekarz ratownictwa, nie radiolog [33, 50].

Haddad-Zebouni podsumowuje wiedzę z roku 2008 na temat stosowania USG w urazach kości i zadaje pytanie: dlaczego mimo tak ewidentnej korzyści ze stosowania USG, ta technika jest tak słabo rozpowszechniona? Odpowiedzi nie znajduje [43]. Moje spostrzeżenia pozwalają mi wysnuć kilka wniosków na powyższy temat:

- postęp w diagnostyce rentgenowskiej cyfrowej pozwala na bardzo dokładne obrazowanie najdrobniejszych złamań,
- obraz ultrasonograficzny jest wycinkowy,
- często podnosi się zależność obrazowania ultrasonograficznego od osoby wykonującej,
- mało osób z doświadczeniem w obsłudze aparatów ultrasonograficznych,
- w SOR pracują lekarze z różnych oddziałów, z różnym zasobem wiedzy,
- brak czasu na ćwiczenie i naukę obsługi aparatów USG,
- małe obeznanie z różnymi aparatami USG.

W podręczniku traumatologii układu szkieletowego: Green NE, Swiontkowski MF. „Skeletal trauma in children”, nie ma nawet wzmianki na temat diagnostyki ultrasonograficznej urazów kości u dzieci [4].

Co zrobić, aby zmienić tę sytuację? Haddad-Zebouni wskazuje kilka rad, twierdząc między innymi, że w SOR powinien być lekarz przewodnik zajmujący się wprowadzeniem USG do diagnostyki. Dobrze jest stworzyć grupę wsparcia, w której znalazłby się ekspert radiolog, a dodatkowo proponuje zachęcać rezydentów do korzystania z USG. Ważne jest, aby zaczynać od 1 lub 2 celów, na przykład od dostępu naczyniowego, potem konsekwentnie wprowadzać nowe.

Jeśli postanowimy wprowadzić USG szeroko do kliniki SOR, należy zapytać eksperta radiologa o typ urządzenia ultrasonograficznego najodpowiedniejszego do naszych potrzeb. Argumentem potwierdzającym konieczność zakupu sprzętu USG nie jest fakt, iż to badanie jest tańsze, ale precyzyjniejsze. Niebagatelną rolę, autor przypisuje również wizerunkowi szpitala. Okazuje się, że pacjenci zdecydowanie wyżej oceniają szpital, jeśli stosuje on diagnostykę USG. Wraz z opanowaniem przez lekarzy techniki badania USG, pojawią się wymierne korzyści finansowe. W efekcie autor ocenia, że minimum czasu pracy, aby wprowadzić USG do badań rutynowych w oddziale ratunkowym to 3 lata. Zachęca do prowadzenia badań naukowych z wykorzystaniem USG, aby poszerzyć wiedzę ogólną, ale także, aby pozyskać dodatkowe fundusze z grantów naukowych. W działaniach nie należy pomijać jednak współpracy z radiologią, która służyć może szczególnego rodzaju doświadczeniem. Warto włączyć się w tworzenie systemu sieci radiologicznej szpitala, aby przysyłać obrazy do bazy danych. Pacjentowi

najlepiej wydawać wideoklipy na płytach DVD lub wydruki, zaś dane zapisywać w bazie komputerowej oddziału.

Wprowadziłam wszystkie powyższe zalecenia i wymiernym sukcesem jest zaangażowanie rezydentów w diagnostykę przypadków nagłych w SOR, co znacznie przyspieszyło cały proces diagnostyczno-leczniczy. Dodatkowym atutem stało się przeszkolenie 3 lekarzy chirurgów dziecięcych w zakresie ultrasonografii pediatrycznej, dzięki czemu z roku na rok zastosowanie USG jest coraz szersze. Rodzice chorych dzieci nigdy nie sprzeciwili się wykonaniu badania ultrasonograficznego, gdyż sami są przekonani o jego braku szkodliwości i możliwości precyzyjnej diagnostyki przyczyn dolegliwości u dzieci. Pozyskany grant stał się wsparciem pozwalającym płynnie realizować zamierzone cele, czyli rozwój ultrasonografii w ratownictwie pediatrycznym.

Policy Statement ACEP w USA prezentował w 2001 pierwsze wytyczne do stosowania USG w SOR [10]. Na 2008 rok ACEP przedstawia z kolei nowe wytyczne (*emergency ultrasound guidelines scope of practice*), zaprezentowane na rysunku 12.1. Wytyczne

| STANY CHOROBOWE | | PROCEDURY MEDYCZNE |
|---|---|--|
| Uszkodzenia urazowe organizmu człowieka | | Zabiegi ratujące życie |
| Reanimacja i resuscytacja | Choroby układu moczowego | Diagnostyka różnych stanów Chorobowych |
| Choroby układu krążenia | Uszkodzenia urazowe i zmiany chorobowe tkanek miękkich | Zabiegi diagnostyczne i lecznicze pod kontrolą USG |
| Ciąża i jej patologia | Zakrzepica żył głębokich | Identyfikacja objawów lub charakterystycznych cech choroby |
| Choroby wątroby i dróg żółciowych | Uszkodzenia urazowe i choroby w obrębie klatki piersiowej | Monitorowanie postępów leczenia |
| Zabiegi diagnostyczne i lecznicze wykonywane pod kontrolą USG | | |

Rysunek 12.1: Wytyczne ACEP 2009 do stosowania USG w Oddziałach Medycyny Ratunkowej.

ACEP dzielimy na dwie grupy: stany chorobowe i procedury medyczne. Stany chorobowe nagle wymagają szybkiej i precyzyjnej diagnozy, aby włączyć odpowiednie leczenie w "złotej godzinie". Przyłózkowe, mobilne USG w sposób niepodważalny ułatwia te działania. Mówimy tu o ostrych chorobach układu krążenia, ciąży, uszkodzeniach urazowych narządów, zakrzepicach i innych stanach chorobowych przedstawionych na Rys.12.1. Procedury medyczne w ratownictwie wykorzystujące USG to implantacja cewników naczyniowych, nakłucie jam ciała, monitorowanie postępów leczenia i inne opisane na Rys.12.1.

Stwierdzono, że diagnostyka USG szybciej rozwija się w biedniejszych krajach, gdyż dostęp do aparatów USG jest większy z racji ich stosunkowo niskiej ceny. W USA rozwój diagnostyki USG rozpoczął się dzięki armii [14].

Hegenbarth opisuje pierwsze użycie USG w urazach już w 1971 roku [15]. Podkreśla też zastosowanie USG w innych sytuacjach zdarzających się w SOR: ciąża, wgłobienie jelit, zapalenie wyrostka robaczkowego, kamica nerkowa i pęcherzyka żółciowego, zwężenie przerostowe odźwiernika, zapalenie stawu biodrowego u dzieci. Podkreśla, że u dzieci lista wskazań do wykonania USG w SOR nie jest jeszcze sprecyzowana jak

u dorosłych. Autor podkreśla celowość wykonywania tych badań u kobiet w ciąży i dzieci, jako szczególnie objętych ochroną radiologiczną.

Powyższe uwagi są oczywiste i z własnego doświadczenia wiem, że przykładowo diagnostyka przyczyn tak zwanej „ostrej moszny” dzięki USG pozwoliła na zaniechanie wykonywania zabiegu operacyjnego w sytuacjach braku ewidentnych ultrasonograficznych cech skrętu jądra.

Wrażliwość na promieniowanie jest zmienna osobniczo, stąd prawdziwe szkodliwe dawki promieni jonizujących nie są znane. Każda sytuacja, gdzie można zastąpić badanie rentgenowskie badaniem USG powinna mieć miejsce. Brenner i współautorzy podkreślają ten problem [7]. Trzeba tu wspomnieć o zespole Nijmegen, gdzie, ze względu na łamliwość chromosomów można wygenerować choroby nowotworowe nawet małymi dawkami promieniowania jonizującego [7]. Zanotowano więcej przypadków raka piersi u kobiet, które do 20 roku życia miały liczne badania rentgenowskie klatki piersiowej (średnia 25 ekspozycji – dawka na piersi - 108 mSv) [8]. Wiadomą powszechnie sprawą jest, że w polu objętym radioterapią jest zwiększone ryzyko pojawienia się nowotworów wtórnych – mięsaków [7, 8, 9].

Stowarzyszenie ochrony radiologicznej – The Society for Radiological Protection – ALARA (*As Low As Reasonably Achievable*), które pracuje nad zmniejszeniem ekspozycji ludzi na promienie X, szczególnie wspiera szerokie stosowanie ultrasonografii [8, 9]. Zastosowanie ultrasonografii w diagnostyce złamań odcinka dalszego kości przedramienia u dzieci jest jednym z aspektów zmniejszenia narażenia dzieci i personelu medycznego na działanie promieniowania jonizującego. Ponadto stosowanie USG w zabiegach repozycji wpływa na większą precyzję zabiegów. Rozszerzanie stosowania ultrasonografii w ratownictwie i traumatologii wpływa na szybsze, bardziej precyzyjne działanie i oczywiście ogranicza narażenie na promienie X.

Rozdział 13

Wnioski

W badanych trzech podgrupach wiekowych: do 5 lat, od 6 do 11 lat oraz przedział wieku 12-18 lat urazy odcinka dalszego przedramion należą do częstych, w związku z tym może być to modelowy obszar do badań przydatności USG w diagnostyce złamań. W badanej grupie 255 dzieci stwierdziłam u 1/3 brak uszkodzenia kości, 1/3 złamania drobne, podokostnowe bez przemieszczenia i tylko 1/3 były złamania z przerwaniem okostnej i/lub z przemieszczeniem. Potwierdziłam 100% zgodność obrazowania USG z obrazowaniem rentgenowskim w każdej grupie wiekowej. Badanie USG ma jednak pewien poważny minus, a mianowicie obejmuje mały obszar w trakcie jednego przyłożenia głowicy. Nie ma możliwości zobrazowania jednoczasowego całego obszaru w którym spodziewamy się złamania. Musimy wykonać analizę kilku zdjęć wykonując badania głowicą w minimum 2 płaszczyznach – wokół osi przedramienia oraz wzdłuż osi przedramienia. Pomocne jest badanie symetrycznego obszaru drugiego zdrowego przedramienia i zestawianie obrazów. Aby stwierdzić uszkodzenie kości przedstawiłam w pracy model zdrowej kości z charakterystycznym obrazem chrząstek wzrostowych oraz trzonu i nasad dalszych kości przedramienia.

Odpowiedzi na postawione w założeniach pracy pytania są następujące:

ad1 Obrażenia kości typu stłuczenia czyli brak złamania stanowią oczywiście sytuację, kiedy badanie USG powinno być badaniem ostatecznym, zamykającym proces diagnostyczny. Z powodzeniem badanie ultrasonograficzne może być badaniem przesiewowym w poszukiwaniu złamań kości. W drobnych złamaniach podokostnowych, gdzie przedstawiłam 3 charakterystyczne obrazy: schodka, wybrzuszenia i ugięcia, badanie USG wydaje się być wystarczającym do postawienia rozpoznania i włączenia odpowiedniego trybu leczenia, czyli unieruchomienia w szynie gipsowej na okres 3 tygodni. Złamania podokostnowe z niewielkim przemieszczeniem kątowym w zależności od wieku chorego mogą wymagać repozycji i tu obrazowanie USG w trakcie repozycji jest wystarczające. Natomiast za Ackermannem nie jest konieczne wykonywanie zdjęć rentgenowskich. Złamania z przerwaniem okostnej i z przemieszczeniem ze względu na złożoność obszaru przemieszczenia wstępnie wymagają diagnostyki rentgenowskiej, co potwierdza algorytm Ackermanna. Natomiast proces repozycji może być z użyciem fluoroskopii lub USG.

W prostych repozycjach USG jest pomocne do identyfikacji szczeliny złamania i miejsca iniekcji leków znieczulających miejsce złamania. Jeśli złamanie jest jednopoziomowe to użycie USG może być wystarczające do oceny skuteczności repozycji. W wykonanych przeze mnie repozycjach z użyciem USG obraz był jednoznaczny. Niemniej nie podejmowałam się repozycji pod kontrolą USG jeśli planowane było stosowanie repozycji otwartej lub użycia drutów Kirschnera czy prętów śródszpikowych. Stosując USG do diagnostyki obrażeń dalszego odcinka przedramion u dzieci według schematu Ackermanna 2/3 dzieci nie wymaga badania rentgenowskiego. 1/3 pozostałych dzieci z poważniejszymi obrażeniami, czyli złamaniami z przerwaniami okostnej lub z przemieszczeniem odłamów może mieć zmniejszone narażenie na promienie jonizujące przez stosowanie USG w procesie repozycji.

- ad2** W każdym przypadku zdjęcie rentgenowskie było zgodne z badaniem USG. W niektórych przypadkach USG precyzyjniej ukazywało obszar złamania, jednak w złamaniach skomplikowanych USG było tylko badaniem potwierdzającym złamanie, nie ukazywało w sposób jednoznaczny rozmiarów złamania. Stosując zasadę Ackermanna umieszczamy diagnostykę ultrasonograficzną we właściwym dla niej miejscu.
- ad3** W złamaniach z niewielkim przemieszczeniem stosowałam z powodzeniem USG do monitorowania procedury repozycji zachowawczej. W każdym przypadku USG było pomocne przy znieczuleniu nasiękowym szczeliny złamania oraz w szybkiej ocenie skuteczności repozycji. USG może być stosowane w repozycjach zamkniętych co wprowadza do algorytmu Ackermanna autorska modyfikacja.

Badanie ultrasonograficzne powinno być wykonywane przez lekarza, który bada dziecko i decyduje o sposobie leczenia, a więc lekarza Szpitalnego Oddziału Ratunkowego.

Ucząc się obrazowania ultrasonograficznego w urazach dalszego odcinka kości przedramienia należy zapoznać się z obrazem ultrasonograficznym prawidłowym, który przedstawiam w pracy. Ten obraz jest bazą do nauki obrazów typowych dla różnych typów złamań. Obrazowanie ultrasonograficzne jest pewne jeśli stosuje się procedurę medyczną badania diagnostycznego zaprezentowaną w pracy.

Jedynie badania wielośrodkowe spowodują poszerzenie zakresu stosowania USG w diagnostyce i leczeniu złamań dalszych odcinków przedramion. Badania zakrojone na szeroką skalę spowodują opracowanie nowych zasad diagnostyki i leczenia z użyciem nieszkodliwych fal ultradźwiękowych [51, 52].

Streszczenie

Technika obrazowania ultrasonograficznego ma stałe miejsce w wielu działach medycyny, w tym w pediatrii i medycynie ratunkowej. Medycyna ratunkowa posługuje się procedurą FASTER (extended Focused Assessment with Sonography in Trauma plus extremities and respiratory evaluation), gdzie wykonuje się pobieżnej oceny układu kostnego pod kątem złamań oprócz standardowego badania USG w poszukiwaniu obrażeń narządów jamy brzusznej i klatki piersiowej. W diagnostyce urazów układu kostnego nadal podstawowym narzędziem diagnostycznym jest zdjęcie rentgenowskie.

Celem pracy była ocena skuteczności diagnostyki ultrasonograficznej w urazach odcinka dalszego przedramienia u dzieci w porównaniu z obrazowaniem rentgenowskim wykonywanych w Szpitalnym Oddziale Ratunkowym (SOR). Jeśli USG jest metodą równoważną to w jakich sytuacjach, w jaki sposób należy wykonywać to badanie? Jakie są cechy ultrasonograficzne kości prawidłowej i ze złamaniem w różnych grupach wiekowych? Ważnym aspektem jest forma zapisu obrazu i informacja dla innych lekarzy biorących udział w leczeniu oraz pożądane cechy aparatu ultrasonograficznego korzystne w diagnostyce złamań. Istotną sprawą jest pytanie o sposób nauki diagnostyki ultrasonograficznej układu kostnego studentów medycyny, ratownictwa medycznego oraz rezydentów medycyny ratunkowej, chirurgii czy ortopedii, gdyż jest to narzędzie lekarzy SOR, a nie radiologów. Stosując zasady ochrony radiologicznej istotnym zagadnieniem jest czy znamieny procent dzieci uniknie narażenia na promieniowanie jonizujące.

Wykonałam badania u 255 dzieci, dzieci te podzieliłam na 3 podgrupy: I podgrupa - od 1 do 5 roku życia - 44 dzieci, podgrupa II- od 6 do 11 roku życia - 125 dzieci oraz podgrupa III - od 12 do 18 roku życia - 86 nastolatków. W sumie stwierdziłam u 32% dzieci złamanie z przerwaniami okostnej, u 33% złamania podokostnowe i aż 35% dzieci bez cech złamania. Przeanalizowałam wyniki pod kątem zastosowania algorytmu wg Ackermanna, gdzie w wybranych sytuacjach urazowych kończyn stosuje się USG lub zdjęcie rentgenowskie. Wprowadziłam modyfikację algorytmu uwzględniającą repozycję zamknięte pod kontrolą USG.

Potwierdziłam w 100% zgodność obrazowania ultrasonograficznego z obrazowaniem rentgenowskim. Algorytm Ackermanna można z powodzeniem zastosować do diagnostyki urazów odcinka dalszego kości przedramienia. Korzystając z własnej komputerowej bazy danych, w sposób jednoznaczny opisałam cechy ultrasonograficzne kości

bez złamania i ze złamaniem z uwzględnieniem wieku dzieci. Zapisu dokonywałam w formie płyt DVD lub wydruku na drukarce o rozdzielczości optycznej 1200 dpi. 67% dzieci z urazami dalszego odcinka przedramienia nie wymaga zdjęcia rentgenowskiego, a ponad to grupa dzieci poddawanych zabiegom repozycji manualnej ma zmniejszone narażenie na promieniowanie jonizujące przez włączenie do zabiegu ultrasonografii. Nauka stosowania USG w urazach kości wymaga przede wszystkim pewności uczącego się, że to co widzi jest złamaniem. Już prawie 100 letnia historia powszechnego stosowania rtg do diagnostyki złamań wymaga cierplivej pracy nad zmianą taktyki i współpracy wielośrodkowej aby zamieniać ją na metody nieszkodliwe dla zdrowia.

W przyszłości szeroko zakrojone wielośrodkowe badania nad stosowaniem USG w urazach układu kostnego na pewno doprowadzą do eliminacji promieniowania jonizującego ze zbyt powszechnego stosowania. Działania grup naukowców eliminujących promieniowanie rentgenowskie z medycyny takich jak ALARA już są widoczne.

Summary

The technique of ultrasonographic imaging enjoys a permanent place in numerous medical specialties, including pediatrics and emergency medicine. Emergency medicine employs the FASTER procedure (Focused Assessment with Sonography in Trauma plus extremities and respiratory evaluation), where, in addition to standard ultrasound examination searching for injuries involving the abdominal and thoracic cavity, a cursory assessment of the skeletal system is performed to detect possible fractures. In diagnostic management of the skeletal system, the basic diagnostics tool continues to be a rentgenogram.

The objective of the dissertation was to evaluate the effectiveness of ultrasonographic diagnostic management in injuries of the distal forearm in children as compared to X-ray imaging performed in the Emergency Department (ED). If ultrasonography is an equivalent method to X-ray, in what situations and in what way should the examination be performed? What ultrasonographic properties characterize normal and fractured bones in various age groups? An important aspect is the form of image recording and providing information for other physicians participating in the therapeutic process, as well as desired properties of an ultrasonographic unit that would be beneficial in fracture diagnosing. A significant issue is the question addressing the method of teaching ultrasonographic diagnostic management of the skeletal system to students of medicine and emergency medicine, as well as to residents in emergency medicine, surgery or orthopedics, since the tool belongs to ER physicians rather than to radiologists. When we adhere to principles of radiation protection, an important problem is whether a significant percentage of children will avoid exposure to ionizing radiation.

I examined 255 children, whom I divided into three subgroups: Subgroup I - between 1 and 5 years of age - 44 children, Subgroup II- between 6 and 11 years of age - 125 children, and Subgroup III- between 12 and 18 years of age - 86 adolescents. In total, I found fractures with periosteum rupture in 32% of the children, subperiosteal fractures in 33% of the subjects and no fractures in as many as 35% of the children. I analyzed the results from the perspective of employing the Ackermann's algorithm, where in selected extremity-involving trauma situations, ultrasonography or X-ray imaging is performed. I modified the algorithm to include ultrasound-controlled closed repositioning.

I confirmed the 100% conformity of ultrasonographic imaging and X-ray imaging.

The Ackermann's algorithm may be successfully employed in diagnostic management of injuries of the distal forearm. Using the computer database I developed, I unambiguously described ultrasonographic properties of bones without and with fractures, taking into consideration the age of children. Data were recorded on DVDs or printed using a 1200 dpi printer. Sixty-seven percent of children with injuries of the distal forearm did not require X-rays; moreover, the group of children subjected to manual reposition was characterized by a decreased exposure to ionizing radiation due to the procedure including ultrasonography. Learning to use ultrasound in bone injuries predominantly requires from a student a certainty that what he sees is a fracture.

The almost one hundred-year old history of a common use of X-ray in diagnostics management of fractures calls for patience to change the established practice and multi-center cooperation in replacing the said practice with methods that are not detrimental to health.

In the future, extensive multi-center investigations on using ultrasonography in skeletal system injuries will most assuredly lead to elimination of ionizing radiation from excessively common employment. The activities of research groups, such as ALARA, aiming at elimination of X-radiation from medicine are already apparent.

Bibliografia

- [1] Bochenek A., Reicher M., *Anatomia Człowieka Tom I*, PZWN 1968, 422-433, 463-467, 767-797.
- [2] Green N.E., Swiontkowski M.F., *Skeletal trauma in children*, 4-th ed. Saunders, Philadelphia (2009).
- [3] Muzeum Przyrodnicze UMK w Toruniu,
[http://www.mp.umk.pl/%3Ftag%3Dmuzeum – przyrodnicze – umk](http://www.mp.umk.pl/%3Ftag%3Dmuzeum%20przyrodnicze%20umk).
- [4] Bradley M., O'Donnell P., *Ultrasonograficzny atlas anatomii mięśniowo - szkieletowej*, Cambridge University Press 2002.
- [5] Pruszyński B., *Zastosowanie rentgenodiagnostyki w medycynie: diagnostyka uszkodzeń układu kostnego, układu krążenia, przewodu pokarmowego oraz schorzeń płuc, diagnostyka tomograficzna całego ciała*, Radiologia, PZWL, Warszawa., 45-56 (1999).
- [6] Siegel M., *Ultrasonografia pediatryczna*, Medipage Warszawa (2012).
- [7] Brenner D.J., Doll R., Goodhead D.T., Hall E.J., Land C.E., Little J.B., Lubin J.H., Preston D.L., Preston R.J., Puskin J.S., Ron E., Sachs R.K., Samet J.M., Setlow R.B., Zaider M., *Cancer risks attributable to low doses of ionizing radiation: Assessing what we really know*, Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A. **100**, 13761-13766 (2003).
- [8] Alzen G., Benz-Bohm G., *Radiation protection in pediatric radiology*, Dtsch. Arztebl. Int. **108**, 407-14 (2011).
- [9] Foucart J.M., Felizardo R., Pizelle C., *Radiation Protection in Orthodontics: relevant data*, Orthod. Fr. **83**, 3-10 (2012).
- [10] American College of Emergency Physician, *Policy Statement: Emergency Ultrasound Guidelines*, Annal of Emergency Medicine **53**, 550-570 (2009).
- [11] Wechselberg K., *Studies on diagnosis and prognosis of clavicle fractures at birth.*, Med. Monatsschr. **23**, 498-504 (1972).
- [12] Dulchavsky S.A., Henry S.E., Moed B.R., Diebel L.N., Marshburn T., Hamilton D.R., Logan J., Krikpatrick A.W., and Williams D.R., *Advanced ultrasonic*

- diagnosis of extremity trauma; the FASTER examination*, J. Trauma **53**, 28-32 (2002).
- [13] Markowitz J.E., Hwang J.Q., Moore C.L., *Development and validation of a web-based assessment tool for the extended focused assessment with sonography in trauma examination*, J. Ultrasound Med. **30**, 371-375 (2011).
- [14] Vasios W.N., Hubler D.A., Lopez R.A., Morgan A.R., *Fracture detection in a combat theater: four cases comparing ultrasound to conventional radiography*, J. Spec. Oper. Med. **10**, 11-52 (2010).
- [15] Hegenbarth M.A., *Bedside ultrasound in the pediatric emergency department. Basic Skill or Passing Fancy?*, Clin. Ped. Emer. Med. **51**, 2010-2016 (2004).
- [16] Grechenig W., Clement H.G., Fellingner M., Seggl W., *Scope and limitations of ultrasonography in the documentation of fractures - an experimental study*, Arch. Orthop. Trauma Surg. **117**, 368-371 (1998).
- [17] Hubner U., Schlicht W., Outzen S., Barthel M., and Halsband H., *Ultrasound in the diagnosis of fractures in children*, J. Bone Joint Surg. Br. **82**, 1170-1173 (2000).
- [18] Durston W., Swartzentruber R., *Ultrasound guided reduction of pediatric forearm fractures in the ED*. Am J Emerg Med. **18**, 72-77 (2000).
- [19] T. Pięciak, *Analiza odkształceń i predkości odkształceń mięśnia sercowego na podstawie obrazów rezonansu magnetycznego*, praca dyplomowa, Akademia Górniczo - Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, Wydział Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Elektroniki, Kraków (2010).
- [20] Berger P.E., Ofstein R.A., Jackson D.W., Morrison D.S., Silvino N., Amador R., *MRI demonstration of radiographically occult fractures: what have we been missing?*, Radiographics **9**, 407-436 (1989).
- [21] Ackermann O., Liedgens P., Eckert K., Chelangattucherry E., Husain B., and Ruchholtz S., *Ultrasound diagnosis of forearm fractures in children: a prospective multicenter study*, Unfallchirurg. **112**, 706-711 (2009).
- [22] Eckert K., Ackermann O., Schweiger B., Radloff E., Liedgens P., *Ultrasound as a viable alternative to standard X-rays for the diagnosis of distal forearm fractures in children*, Z. Orthop. Unfall. **150**, 409-14 (2012).
- [23] Dzierżęga M., Chmiel D., Olipra W., Sułko J., *Diagnostyka ultrasonograficzna w złamaniach podokostnowych kości przedramienia u dzieci*, Chirurgia Polska **13**, 107-111 (2011).
- [24] Chen L., Kim Y., Moore C.L., *Diagnosis and guided reduction of forearm fractures in children using bedside ultrasound*, Pediatr. Emerg. Care. **23**, 528-531 (2007).

- [25] Wong C., Su-Yin A., Ng K., *Ultrasound as an aid for reduction of pediatric forearm fractures*, Int. J. Emerg. Med. **1**, 267-271 (2008).
- [26] Patel D., Blumberg B., Stephen M., Crain E., Ellen F., *Utility of bedside ultrasonography in identifying fractures and guiding fracture reduction in children*, Pediatr. Emerg. Care. **25**, 805-810 (2009).
- [27] Chinnock B., Khaletskiy A., Kuo K., Hendey G.W., *Ultrasound-guided reduction of distal forearm fractures by emergency physicians*, Ann. Emerg. Med. **52**, 422-426 (2008).
- [28] Chern T.C., Jou I.M., Lai K.A., Yang C.Y., Yeh S.H., Cheng S.C., *Sonography for monitoring closed reduction of displaced extra - articular distal radial fractures*, J. Bone Joint Surg. Am. **84-A**, 194-203 (2002).
- [29] Williamson D., Watura R., and Cobby M., *Ultrasound imaging of forearm fractures in children: a viable alternative?*, J. Accid. Emerg. Med. **17**, 22-24 (2000).
- [30] Cross K.P., Warkentine F.H., Kim I.K., Gracely E., Paul R.I., *Bedside ultrasound diagnosis of clavicle fractures in the pediatric emergency department*, Acad. Emerg. Med. **17**, 687-693 (2010).
- [31] Weinberg E.R., Tunik M.G., Tsung J.W., *Accuracy of clinician-performed point-of-care ultrasound for the diagnosis of fractures in children and young adults*, Injury **23**, 528-531 (2010).
- [32] Cho K.H., Lee S.M., Lee Y.H., Suh K.J., *Ultrasound diagnosis of either an occult or missed fracture of an extremity in pediatric-aged children*, Korean J. Radiol. **11**, 84-94 (2010).
- [33] Kim I.K., Cross K., Horowitz R., and Warkentine F., *Eight Secrets to Implementing Bedside Ultrasonography in Pediatric Emergency Medicine*, Clin. Ped. Emerg. Med. **12**, 65-72 (2011).
- [34] Graif M., Stahl-Kent V., Ben-Ami T., Strauss S., Amit Y., Itzchak Y., *Sonographic detection of occult bone fractures*, Pediatr. Radiol. **18**, 383-385 (1988).
- [35] Simanovsky N., Lamdan R., Hiller N., Simanovsky N., *Sonographic detection of radiographically occult fractures in pediatric ankle and wrist injuries*, J. Pediatr. Orthop. **29**, 142-145 (2009).
- [36] Moritz J.D., Hoffmann B., Meuser S.H., Sehr D.H., Caliebe A., Heller M., *Is ultrasound equal to X-ray in pediatric fracture diagnosis?*, Rofo **182**, 706-714 (2010).
- [37] Carson S., Woolridge D.P., Colletti J., Kilgore K., *Pediatric upper extremity injuries*, Pediatr. Clin. North Am. **53**, 41-67 (2006).
- [38] Moritz J.D., Berthold L.D., Soenksen S.F., Alzen G.F., *Ultrasound in diagnosis of fractures in children: unnecessary harassment or useful addition to X-ray?*, Ultraschall Med. **29**, 267-274 (2008).

- [39] Platz E., Goldflam K., Mennicke M., Parisini E., Christ M., and Hohenstein C., *Comparison of Web-versus classroom-based basic ultrasonographic and EFAST training in 2 European hospitals*, Ann. Emerg. Med. **56**, 660-667 (2010).
- [40] Marshburn T.H., Legome E., Sargsyan A., Li S.M., Noble V.A., Dulchavsky S.A., Sims C., Robinson D., *Goal - directed ultrasound in the detection of long bone fractures*, J. Trauma **57**, 329-332 (2004).
- [41] Banal, F., *Ultrasound ability in early diagnosis of stress fracture of metatarsal bone*, Ann. Rheum. Dis. **65**, 977-978 (2006).
- [42] Barata I., Gong J., Suppiah A., Kapoor M., Shekher M., Siciliano G., et al., *The utility of bedside ultrasonography in identifying fractures in the emergency department*, Ann Emerg Med. **52**, 60 (2008).
- [43] Haddad-Zebouni S., Abi Khalil S., Roukos S., Menassa-Moussa L., Smayra T., Aoun N., Ghossain M., *Limb fractures: ultrasound imaging feature*, J. Radiol. **89**, 557-563 (2008).
- [44] Beltrame V., Stramare R., Rebellato N., Angelini F., Frigo A.C., Rubaltelli L.C., *Sonographic evaluation of bone fractures: a reliable alternative in clinical practice?*, Imaging **36**, 203-208 (2012).
- [45] Blankstein A. et al., *Fracture of the clavicle in the newborn - detection and follow-up by sonography*, Akt. Traumatol. **31**, 27-29 (2001)
- [46] Brooks A.J. et al., *Handheld ultrasound diagnosis of extremity fractures*, J. R. Army Med. Corps **150**, 78 (2004).
- [47] Giardanbo R. et al., *Phalangeal ultrasonography in forearm fracture discrimination*, Biomed. Pharmacother **56**, 332-338 (2002).
- [48] Katz R., Landman J., Dulitzky F. et al., *Fracture of the clavicle in the newborn. An ultrasound diagnosis*, J. Ultrasound Med. **7**, 21-23 (1988).
- [49] Tayal V.S., Antoniazzi J.M., Pariyadath M., *Prospective evaluation of ultrasound for detection of hand fractures by emergency physicians*, Ann. Emerg. Med. **46**, 80 (2005).
- [50] Cohen J.S., Teach S.J., Chapman J.I., *Bedside ultrasound education in pediatric emergency medicine fellowship programs in the United States*, Pediatr. Emerg. Care **28**, 845-850 (2012).
- [51] Mayr J.M., Grechenig W., Höllwarth M.E., *Musculoskeletal ultrasound*, Pediatric Trauma **30**, 150-160 (2004).
- [52] Lyon M., Blaivas M., *Evaluation of extremity trauma with sonography*, J. Ultrasound Med. **22**, 625-630 (2003).

Spis rysunków

| | | |
|------|--|----|
| 2.1 | Schemat budowy kości długiej w okresie aktywności wzrostowej – rycina własna. | 5 |
| 3.1 | Schemat budowy kości przedramienia - za pozwoleniem Muzeum Przyrodniczego Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu [3]. | 6 |
| 6.1 | Typy złamań kości z uszkodzeniem chrząstki wzrostowej według klasyfikacji Salter- Harris - rycina własna. Czerwonymi liniami zaznaczono szczelinę złamania. | 16 |
| 8.1 | Algorytm wg Ackermanna postępowania diagnostycznego w uszkodzeniach kości z wykorzystaniem diagnostyki USG [21, 22]. | 25 |
| 10.1 | Sposób wykonania badania USG dalszego odcinka przedramienia; a – kierunek przesuwania głowicy USG przy badaniu wokół osi przedramienia, b – obraz przedstawia przesuwanie głowicy w trakcie badania w kierunkach proksymalnym i dystalnym. | 29 |
| 10.2 | Obraz ultrasonograficzny prawidłowej kości dziecka. Strzałka żółta wskazuje miejsce chrząstki wzrostowej. | 29 |
| 10.3 | Obraz złamania trzonu kości z przechodzącym słupem fal ultradźwiękowych (strzałka a) i widoczną przeciwległą warstwą istoty zbitą (strzałka b). | 30 |
| 10.4 | Obraz ultrasonograficzny złamania wieloodłamowego trzonu kości promieniowej z przechodzącym słupem fal ultradźwiękowych (strzałka żółta). Odwarstwiona okostna zaznaczona jest strzałką. | 30 |
| 10.5 | Obraz porównawczy prawej i lewej kości promieniowej w odcinku dalszym. Po jednej stronie ugięcie kości (strzałka). Po drugiej stronie nie obserwuje się ugięcia. Obrazowanie jest w formie "duo". | 31 |
| 10.6 | Obraz radiologiczny prawidłowego dalszego odcinka kości przedramienia: a – u niemowlęcia w projekcji bocznej i przednio-tylnej, b – u dziecka kilkuletniego w projekcji bocznej i przednio-tylnej. | 31 |
| 11.1 | Rozkład typów obrażeń odcinków dalszych kości przedramienia w poszczególnych podgrupach dzieci. | 32 |
| 11.2 | Złamanie podokostnowe typu torus. Obraz schodka (strzałka) w USG (a) oraz porównawczo obraz rentgenowski (b). | 33 |
| 11.3 | Złamanie podokostnowe typu "zielonej gałązki". Obraz wybrzuszenia (strzałka) w USG (a) oraz porównawczo obraz rentgenowski (b). | 33 |

| | | |
|-------|---|----|
| 11.4 | Obraz ugięcia (strzałka) w USG (a) – złamanie podokostnowe typu złamania kompresyjnego oraz porównawczo obraz rentgenowski (b)(strzałka). | 34 |
| 11.5 | Obraz przerwania okostnej (strzałka) w USG (a) oraz porównawczo obraz rentgenowski (b). | 34 |
| 11.6 | Obraz złuszczenia typu Salter-Harris I (strzałka czerwona). Obraz przedstawia szerszy obszar bezechowy – rozerwana chrząstka wzrostowa. | 35 |
| 11.7 | Złuszczenia typu Salter-Harris II nasady dalszej kości promieniowej. Obraz radiograficzny (A). Strzałką zaznaczyłam miejsce złuszczenia i obraz USG (B,C), gdzie również strzałką zaznaczyłam miejsce złuszczenia. Obraz rentgenowski pełniej obrazuje typ złamania i jest konieczny do postawienia prawidłowego rozpoznania oraz podjęcia decyzji o sposobie leczenia. | 35 |
| 11.8 | Repozycja złamania przynasady dalszej kości promieniowej pod kontrola USG z podaniem anestetyku. Po prawej obraz repozycji, w środku obraz z iniekcji anestetyku w okolicę szczeliny złamania(strzałka wskazuje przekrój igły) i po lewej obraz po repozycji. | 36 |
| 11.9 | Algorytm Ackermanna z modyfikacją własną uwzględniająca zastosowanie USG w repozycjach złamań. | 37 |
| 11.10 | Obraz USG złamania typu Salter Harris II bez przemieszczenia u pacjenta 1. | 38 |
| 11.11 | Wydruk wyniku badania ultrasonograficznego pacjenta 1 z wykorzystaniem oprogramowania IRIS. | 38 |
| 11.12 | Obraz badania rentgenowskiego pacjenta 1. | 39 |
| 11.13 | Obraz USG z niewielkim ugięciem osi kości promieniowych u pacjenta 2. . . | 39 |
| 11.14 | Wydruk obrazów USG złamań kości promieniowych u pacjenta 2 z wykorzystaniem oprogramowania IRIS. | 40 |
| 11.15 | Zdjęcia rentgenowskie pacjenta 3 z obrazem złuszczenia z przemieszczeniem nasad dalszych kości promieniowej lewej typu Salter-Harris I. | 41 |
| 11.16 | Obraz USG złuszczenia Salter Harris II u pacjenta 3 przed repozycją i po repozycji. | 41 |
| 11.17 | Obraz rentgenowski przedstawia stan po repozycji złamania i po założeniu opatrunku gipsowego okrężnego u pacjenta 3. | 42 |
| 12.1 | Wytyczne ACEP 2009 do stosowania USG w Oddziałach Medycyny Ratunkowej. | 48 |