



Czy opatrunek gipsowy wpływa na indeks ekspozycji i *dose area product*? Odpowiedź na przykładzie radiografii nadgarstka

Are the plaster cast have influence on exposure index and dose area product value? Based on the wrist radiography

Piotr Nowak¹, Klaudia Murzyn², Ewa Pasięka³

¹ Studenckie Koło Naukowe „Radioaktywni”, Zakład Radiologii, Uniwersytet Medyczny w Białymstoku, ul. M. Skłodowskiej-Curie 24a, 15-276 Białystok, tel.+48 72 887 26 15, e-mail: p.nowak2706@gmail.com

² Studentka Elektroradiologii, I Wydział Lekarki, Warszawski Uniwersytet Medyczny, ul. Żwirki i Wigury 61, 02-091 Warszawa

³ Pełnomocnik ds. systemu zarządzania jakością w radiologii i medycynie nuklearnej, Uniwersytecki Szpital Kliniczny w Białymstoku, ul. M. Skłodowskiej-Curie 24a, 15-276 Białystok, tel.+48 604 175 155, e-mail: ewapass@poczta.onet.pl

Streszczenie

Abstract

Wprowadzenie: Złamania dystalnej części kości promieniowej należą do jednych z najczęstszych urazów kości. W przypadku tego typu urazów podstawnym badaniem obrazowym, ze względu na niski koszt wykonania i ogólną dostępność, jest zdjęcie rentgenowskie. Standardowo radiografię stawu nadgarstkowego wykonuje się w projekcji: tylny-przedniej, skośnej i bocznej. Dodatkowymi badaniami są radiogramy w odchyleniu promieniowym lub łokciowym, a także zdjęcie celowane na kanał nadgarstka oraz kość łódeczkowatą.

Cel: Celem pracy była retrospektywna analiza wartości *dose area product* i indeksu ekspozycji podczas radiografii stawu nadgarstkowego u pacjentów z zastosowanym opatrunkiem gipsowym oraz bez, w zależności od wielkości pola kolimacji rentgenogramu, a także wykorzystanych do diagnostyki parametrów ekspozycji.

Materiały i metody: Analizie retrospektywnej poddano 208 losowo wybranych radiogramów stawu nadgarstkowego wykonanych w Zakładzie Radiologii Uniwersyteckiego Szpitala Klinicznego w Białymstoku aparatem RTG Axiom Aristos firmy Siemens. Badanie obejmowało wartości *dose area product* i indeksu ekspozycji, napięcia anodowego, obciążenia prądowo-czasowego oraz wielkości pól kolimacji. Zebrane dane poddano analizie statystycznej przy użyciu programu Statistica 12,5 oraz MS Excel 2013.

Wyniki: Większą część osób, którym wykonano radiogramy, stanowiły kobiety. W tej grupie średnia wieku wyniosła 63,79 lat, natomiast średnia wieku mężczyzn była równa 47,56 lat. Średnia wielkość pola kolimacji rentgenogramu z grupy objętej badaniem wyniosła 324,17 cm². Przy założeniu, że wartość referencyjna pola kolimacji wynosi 234 cm² (13 x 18 cm), to 160 (72,92%) zdjęć miało pole kolimacji większe od wartości referencyjnej, natomiast przy przyjęciu 432 cm² (18 x 24 cm) jako wartość odniesienia tylko 35 (16,83%) radiogramów było większych od wartości wzorcowej. Wartość współczynnika ekspozycji wyniosła średnio 645,87 z wartością maksymalną równą 2980,00, natomiast najniższa wartość była równa 141,00. Średnia wartość DAP w grupie objętej badaniem wyniosła 0,02 Gy·cm², przy odchyleniu standardowym 0,01 Gy·cm². Największa odnotowana wartość współczynnika DAP wyniosła 0,07 Gy·cm², natomiast najmniejsza 0,01 Gy·cm². Testy statystyczne wykazały korelację między polem powierzchni a DAP na poziomie $r_s = 0,78$ i polem powierzchni a EXI $r_s = 0,19$ oraz między wartością DAP ($p = 0,00$) i EXI ($p = 0,00$) a obecnością opatrunku gipsowego.

Wnioski: W radiografii cyfrowej bezpośredniej (system Siemens) opatrunek gipsowy wpływa w istotny sposób na wartość DAP, zwiększając go średnio o 0,01 Gy·cm² oraz EXI, zmniejszając jego wartość niemal o połowę. Także zwiększenie pola kolimacji powoduje zwiększenie wartości DAP i EXI w radiografii nadgarstka.

Słowa kluczowe: *dose area product*, indeks ekspozycji, nadgarstek, zdjęcie rentgenowskie, opatrunek gipsowy

Introduction: Distal part radial bone fractures are one of the most common types of trauma. The basis of imaging examination of the injury is radiography. The advantages of the X-ray examination are low costs and widespread availability. Standard projections for the wrist are posteroanterior and lateral views. However, there are many ancillary views like a radiograms obtained with radial or ulnar deviation and carpal tunnel.

Aim: The aim of the study is retrospective analysis of dose area product and exposure index during radiography of the wrist. The analysis included value collimation size and exposure parameters depending on whether plaster immobilization was used or not.

Materials and methods: We conduct retrospective analysis of randomly selected 208 radiographs of the wrist. X-ray photos were taken of patients at the Department of Radiology, Medical University Hospital in Białystok, with Axiom Aristos Siemens. The analysis included value of the dose area product, exposure index, tube potential, tube current-time product and collimation field. Statistical analysis was done using Statistica 12.5 and MS Excel 2013.

Results: The most frequently radiographs were taken for women which average age was 63,79 while average age for men was 47,56. The average size of X-ray was 324,17 cm². Assuming that the reference value of the collimation field is 234 cm² (160x160), 160 (72.92%) images had collimation field greater than reference value. On the other hand when reference value is 432 cm² (18 x 24 cm) only 35 (16.83%) of the radiographs were greater. The average exposure index value was 645,87, while the maximum value was 2980,00 and minimum value was 141,00. The average DAP in study group was 0,02 Gy·cm², SD = 0,01 Gy·cm². The largest recorded DAP was 0,07 Gy·cm², while the smallest was 0,01 Gy·cm². Statistic tests showed a significant dependence between collimation field size value and DAP ($r_s = 0,78$), collimation field size value and EXI ($r_s = 0,19$); DAP ($p = 0,00$) and EXI ($p = 0,00$), and presence of plaster cast.

Conclusions: In digital radiology (Siemens), plaster cast have a significant influence on DAP, increasing it 0,01 Gy·cm² on average and EXI reduced its value almost by half. The increased surface area of the radiographs causes increased DAP and EXI.

Key words: dose area product, exposure index, wrist, radiography, plaster cast

86

otrzymano / received:

31.01.2018

poprawiono / corrected:

09.02.2018

zaakceptowano / accepted:

08.03.2018



Wprowadzenie

Szkielet ręki jest zbudowany z kości nadgarstka, kości śródręcza i kości palców. Ośmiem kości nadgarstka układa się w dwa szeregi – bliższy i dalszy. Szereg bliższy, licząc od strony promieniowej, tworzą cztery kości: łódeczkowata (*os scaphoideum*), księżycowata (*os lunatum*), trójgraniasta (*os triquetrum*) i grochowata (*os pisiforme*). Natomiast szereg dalszy: kość czworoboczna większa (*os trapezium*), czworoboczna mniejsza (*os trapezoideum*), główkowata (*os capitatum*) i haczykowata (*os hamatum*). Kości nadgarstka otaczają bruzdę nadgarstka tworzącą dno kanału nadgarstka. Kanał nadgarstka po stronie promieniowej odgraniczają kość łódeczkowata i kość czworoboczna większa, natomiast po stronie łokciowej kość grochowata oraz kość haczykowata [1].

Staw promieniowo-nadgarstkowy jest to zespolenie przedramienia z nadgarstkiem. Panewka stawu jest zbudowana z powierzchni nadgarstkowej kości promieniowej i krążka śródstawowego. Główna stawu jest utworzona z trzech kości szeregu bliższego nadgarstka: łódeczkowatej, księżycowatej i trójgraniastej. Jest to staw eliptyczny. Ruch odbywa się w dwóch zakresach: strzałkowym i czołowym [2, 3].

Złamanie dystalnej części kości promieniowej jest jednym z najczęstszych urazów kości. W USA stanowią one około 20% złamań leczonych w trybie dyżurowym. Dotyczą najczęściej dwóch grup chorych – młodych dorastających oraz osób starszych [4]. Ocena radiologiczna dalszego końca kości przedramienia wraz z nadgarstkiem ma duże znaczenie w leczeniu tego typu urazów. Złamaniami tym mogą towarzyszyć inne uszkodzenia, np.: złamanie wyrostka rylcowego kości łokciowej, złamanie kości łódeczkowatej oraz zwłknięcie okołołódeczkowate [5-7]. Złamania dalszej części kości promieniowej są jednymi z najbardziej powszechnych rodzajów urazów, co stanowi około 25% wszystkich złamań w populacji pediatrycznej (dziecięcej), gdzie u osób starszych liczba ta wynosi 18%. Dodatkowo, dystalne złamanie cztery razy częściej opisywane jest u kobiet, zwłaszcza po 35. roku życia, prawdopodobnie ze względu na wzrost obecności osteopenii w tym przedziale wiekowym. Natomiast w późniejszych latach wyższy wskaźnik złamań u kobiet wiąże się z osteoporozą [8, 9].

Upadek na wyciągniętą rękę może prowadzić do złamania kości łódeczkowatej, która jest najbardziej podatną kością na złamanie w nadgarstku. Aktywności, które wiążą się z powtarzającym i długotrwałym obciążeniem kości nadgarstka, takie jak: jazda rowerem, karate, baseball, mogą zwiększać ryzyko neuropatii [10].

W diagnostyce rentgenowskiej standardowo wykonuje się radiogramy stawu nadgarstkowego w projekcji: tylnoprzodniej PA (*posteriori-anterior*), skośnej i bocznej LAT (*lateralis*). Dodatkowymi badaniami są ułożenia w odchyleniu promieniowym lub łokciowym, a także zdjęcia rtg celowane na kanał nadgarstka oraz kość łódeczkowatą i grochowatą [11].

W czasie radiografii dystalnego końca kości przedramienia i nadgarstka należy zachować zasady dobrej praktyki pozycjonowania i zastosować środki ochrony radiologicznej. *Dose area*

product (DAP) jest uznaną metodą szacowania dawki skutecznej. DAP pozwala na ocenę narażenia wynikającego z użycia promieniowania rentgenowskiego w rentgenodiagnostyce klasycznej. *Dose area product* to zaabsorbowana dawka pomnożona przez obszar napromieniony, która jest wyrażona w Gy·cm² [12-14]. W procesie zarządzania dawką należy zwrócić uwagę na jakość wykonywanych radiogramów. W radiografii cyfrowej pomocnym narzędziem jest indeks ekspozycji EXI (*exposure index*). EXI informuje o wielkości ekspozycji w obrazowaniu danego obszaru klinicznego. Indeks nie określa dawki pacjenta, lecz wskazuje, jaka dawka promieniowania dociera do cyfrowego detektora obrazu, stanowiąc wskaźnik jakości radiografii [14, 15].

Cel

Celem pracy jest:

1. Ocena zależności między wartościami pól kolimacji powyżej wartości referencyjnych a DAP i EXI.
2. Retrospektywna analiza wartości DAP i EXI podczas radiografii stawu nadgarstkowego u pacjentów z zastosowanym opatrunkiem gipsowym oraz bez.
3. Ocena częstości stosowania korekty wyjściowych warunków ekspozycji w zależności od stanu klinicznego pacjenta.
4. Ocena wpływu zmiany warunków ekspozycji na wartości DAP i EXI.

Materiały i metody

Analizie retrospektywnej poddano 208 losowo wybranych radiogramów stawu nadgarstkowego wykonanych w dwóch projekcjach (przednio-tylnej oraz bocznej). Połowa zdjęć rentgenowskich wykonana została pacjentom, u których zastosowano opatrunki gipsowe. Wszystkie radiogramy wykonano aparatem RTG Axiom Aristos FX Plus Siemens w Zakładzie Radiologii Uniwersyteckiego Szpitala Klinicznego w Białymstoku w ostatnim kwartale 2016 roku. Analizowane radiografie wykonywano bez użycia kratki przeciwrozproszeniowej, z odległości ognisko-detektor obrazu równej 115 cm oraz z zastosowaniem małego ogniska obrazowania. Badanie obejmowało wartości napięcia anodowego, obciążenia prądowo-czasowego, pola kolimacji oraz współczynnik ekspozycji i *dose area product*.

Pomiar wielkości pól kolimacji radiogramów wykonano przy użyciu stacji przeglądowej. Na podstawie uzyskanych wartości długości i szerokości wyliczone zostały pola powierzchni. Uzyskane wartości porównano z wartościami referencyjnymi I = 234 cm² (13 x 18 cm) i II = 432 cm² (18 x 24 cm) [16, 17].

Zebrane w ten sposób dane poddano analizie statystycznej przy użyciu programów Statistica 12.5 oraz MS Excel 2013. Ocenę zgodności rozkładu analizowanych cech z krzywą Gaussa dokonano przy użyciu testu Shapiro-Wilka. Przy analizie zmiennych nominalnych przyjmujących tylko dwie wartości wykonano testy U-Manna-Whitneya lub t-Studenta w zależności od normalności rozkładu w przypadku, gdy zmiennych grupujących było więcej



niż dwie; w zależności od rozkładu użyto testu Kruskala-Wallis lub jednoczynnikową analizę wariancji (ANOVA). Do oceny powiązania dwóch zmiennych ilościowych wyznaczono współczynnik korelacji rang Spermana.

Wyniki

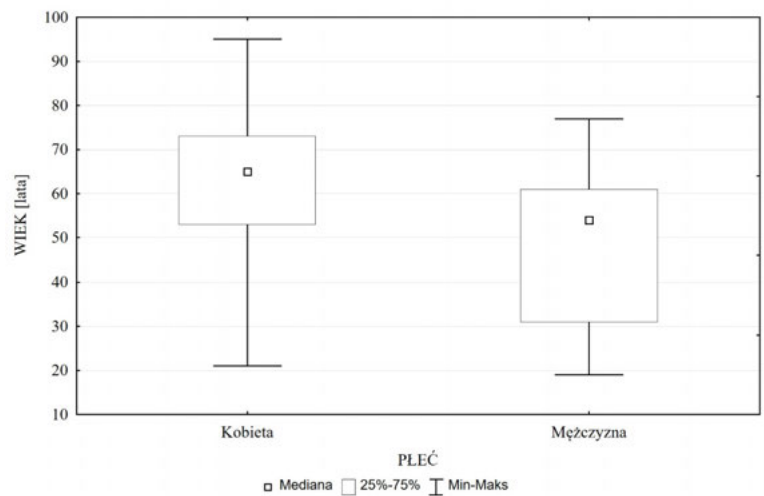
Większość zdjęć rentgenowskich wykonano kobietom – 138 (66,35%). Średnia wieku kobiet wynosiła 63,79 lat, natomiast mężczyźni 47,56 lat (Rys. 1).

Szerokość analizowanych zdjęć rentgenowskich wyniosła średnio 14,55 cm, długość 21,91 cm, natomiast pole powierzchni 324,17 cm². Szczegółowe dane dotyczące wymiarów radiogramów z uwzględnieniem projekcji przedstawiono w tabeli 1.

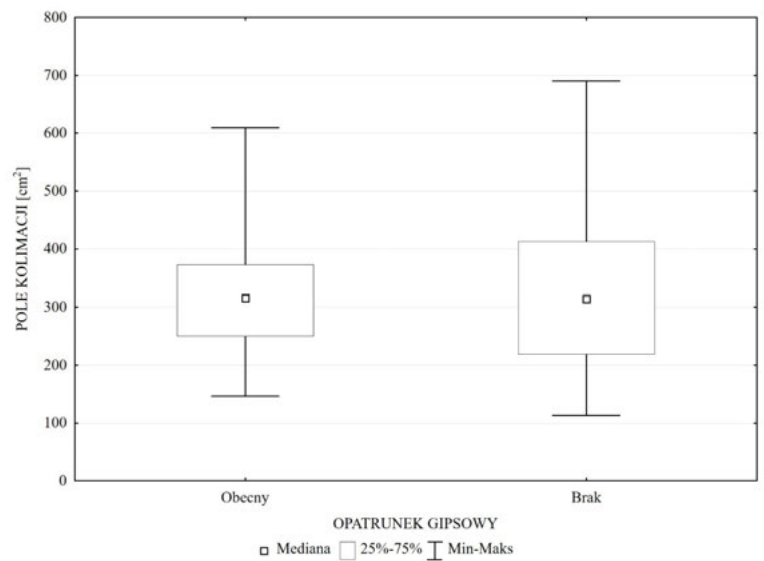
Przy założeniu, że wartość referencyjna pola kolimacji wynosi 234 cm² (13 x 18 cm), to 160 (72,92%) zdjęć rentgenowskich miało pole kolimacji większe od wartości referencyjnej, długość 128 (60,57%) radiogramów, a szerokość 173 (83,17%). W przypadku drugiej wartości referencyjnej, tj. 432 cm² (18 x 24 cm), w 35 (16,83%) przypadkach wartość referencyjna pola kolimacji została przekroczona, w zakresie długości 38 (18,27%), a szerokości 32 (15, 38%) rentgenogramów.

Wartość odchylenia standardowego wielkości pola kolimacji radiogramów wykonanych pacjentom, u których zastosowano stabilizację przy użyciu opatrunku gipsowego, wyniosła 96,82 cm², natomiast w przypadku zdjęć wykonanych osobom, u których tego typu unieruchomienia nie użyto, wyniosła 134,11 cm². Średnia wartość pola kolimacji w pierwszej grupie pacjentów wyniosła 318,40 cm², natomiast w drugiej 329,95 cm². Test U-Manna Whitneya nie wykazał istotności statystycznej między obiema porównywanymi grupami (p = 0,91). Porównanie wielkości pól kolimacji u pacjentów, u których nie zastosowano i zastosowano unieruchomienie przy pomocy opatrunku gipsowego, przedstawiono na rysunku 2.

Wartość współczynnika ekspozycji wyniosła średnio 645,87 z wartością maksymalną równą 2980,00, natomiast najniższa wartość była równa 141,00. Szczegółowe dane wartości EXI z uwzględnieniem wielkości pól kolimacji przedstawiono na



Rys. 1 Miary rozkładu wieku analizowanej populacji z uwzględnieniem płci
Źródło: Opracowanie własne.

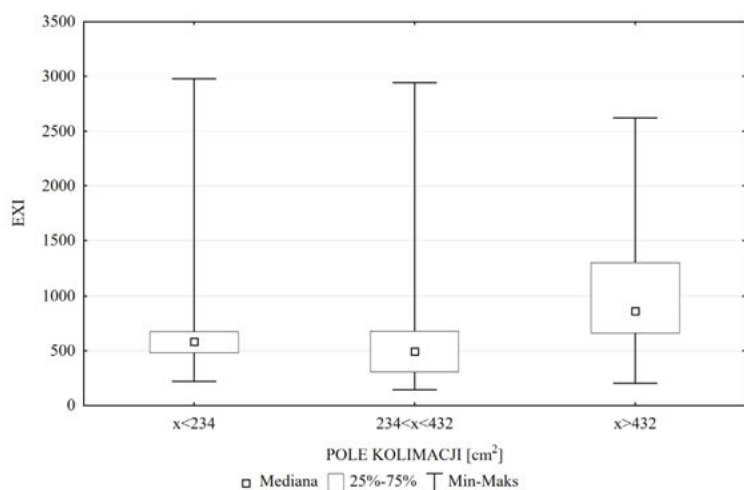


Rys. 2 Miary rozkładu wartości pola kolimacji w grupie pacjentów, u których zastosowano opatrunek gipsowy i takiej formy stabilizacji nie wykorzystano
Źródło: Opracowanie własne.

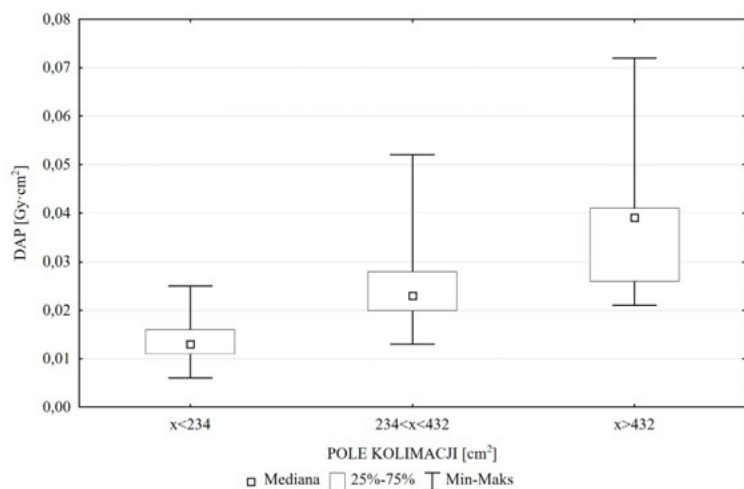
Tabela 1 Liczbowa analiza rozkładu wartości długości, szerokości i pól powierzchni badanych radiogramów z uwzględnieniem projekcji

Miara rozkładu	\bar{X}	Mo	Liczebność mody	Min.	Max.	SD	Q1	Me	Q2
Projekcja przednio-tylna									
Długość [cm]	14,51	Wielokr.	2	8,58	24,93	3,18	12,16	14,21	16,30
Szerokość [cm]	21,84	23,26	6	11,17	31,16	4,10	18,42	23,08	23,73
Pole [cm ²]	321,53	Wielokr.	1	117,17	640,45	103,80	244,77	321,66	391,77
Projekcja boczna									
Długość [cm]	14,57	Wielokr.	2	7,08	27,25	4,45	11,67	13,64	16,00
Szerokość [cm]	21,98	23,23	8	12,78	30,76	3,32	19,34	23,14	23,26
Pole [cm ²]	326,82	540,79	2	112,71	690,24	129,00	234,44	309,25	378,60
Bez podziału na projekcje									
Długość [cm]	14,55	Wielokr.	3	7,08	27,25	3,86	11,90	14,01	16,10
Szerokość [cm]	21,91	23,26	10	11,17	31,16	3,72	18,77	23,11	23,28
Pole [cm ²]	324,17	Wielokr.	2	112,71	244,05	116,83	244,05	315,78	383,75

Źródło: Opracowanie własne.



Rys. 3 Wykres ramka wąsy wartości EXI a wielkość pola kolimacji radiogramów
Źródło: Opracowanie własne.



Rys. 4 Wykres ramka wąsy wartości DAP a wielkość pola kolimacji radiogramów
Źródło: Opracowanie własne.

rysunku 3. Test korelacji rang Spermiana wykazał dodatnią korelację między polem powierzchni a EXI ($r_s = 0,19$).

Średnia wartość DAP w grupie objętej badaniem wyniosła $0,02 \text{ Gy}\cdot\text{cm}^2$, przy odchyleniu standardowym $0,01 \text{ Gy}\cdot\text{cm}^2$. Największa odnotowana wartość współczynnika DAP wyniosła $0,07 \text{ Gy}\cdot\text{cm}^2$, natomiast najmniejsza $0,01 \text{ Gy}\cdot\text{cm}^2$. Szczegółowe dane dotyczące rozkładu wartości współczynnika DAP w zależności od wielkości pola kolimacji przedstawiono na rysunku 4. Test korelacji rang Spermiana wykazał dodatnią korelację między polem powierzchni a DAP ($r_s = 0,78$).

Wartość napięcia anodowego, przy którym wykonywano radiogramy objęte badaniem, mieściła się w przedziale od 52 do 68 kV, ze średnią równą $55,63 \text{ kV}$. Wartość modalna była równa 52 kV i wystąpiła 72 (34,61%) razy, odchylenie standardowe analizowanej zmiennej wyniosło $3,95 \text{ kV}$. W większości przypadków 82 (78,85%) zdjęć rentgenowskich pacjentów, u których zastosowano opatrunek gipsowy, wartość napięcia anodowego była wyższa od wartości modalnej w całej analizowanej grupie. Częstość dokonywania zmiany wartości wyjściowego napięcia

anodowego równego 52 kV w zależności od rodzaju stabilizacji przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2 Tabela licznosci wystąpienia wartości napięcia anodowego niższego, równego i wyższego wartości wyjściowej w zależności od rodzaju stabilizacji

Zastosowane unieruchomienie	Napięcie anodowe [kV]		
	< 52	52	> 52
Bez stabilizacji chirurgicznej, opatrunku gipsowego i szyny unieruchamiającej	0	45	49
Opatrunek gipsowy i stabilizacja chirurgiczna	0	5	19
Szyna ortopedyczna i stabilizacja chirurgiczna	0	1	1
Wyłącznie opatrunek gipsowy	0	17	63
Wyłącznie stabilizacja chirurgiczna	0	4	4
Razem	0	72	136

Źródło: Opracowanie własne.

Wartość współczynnika prądowo-czasowego w badanej grupie wyniosła średnio $2,93 \text{ mAs}$ i mieściła się w przedziale od $2,62$ do $8,13 \text{ mAs}$. Odchylenie standardowe analizowanej zmiennej wyniosło $0,68 \text{ mAs}$. Wyjściową wartością obciążenia prądowo-czasowego, przy którym wykonywano radiogramy, było $2,93 \text{ mAs}$. Częstość dokonywania zmiany wartości wyjściowego obciążenia prądowo-czasowego w zależności od rodzaju stabilizacji przedstawiono w tabeli 3.

Tabela 3 Tabela licznosci wystąpienia wartości obciążenia prądowo-czasowego niższego, równego i wyższego wartości wyjściowej w zależności od rodzaju stabilizacji

Zastosowane unieruchomienie	Obciążenie prądowo-czasowe [mAs]		
	< 2,93	2,93	> 2,93
Bez stabilizacji chirurgicznej, opatrunku gipsowego i szyny unieruchamiającej	46	48	0
Opatrunek gipsowy i stabilizacja chirurgiczna	10	1	13
Szyna ortopedyczna i stabilizacja chirurgiczna	1	1	0
Wyłącznie opatrunek gipsowy	32	16	32
Wyłącznie stabilizacja chirurgiczna	5	3	0
Wyłącznie szyna	0	0	0
Razem	94	69	45

Źródło: Opracowanie własne.

Test U Manna-Whitneya wykazał zależność między wartością współczynnika DAP ($p = 0,00$) i EXI ($p = 0,00$) a obecnością opatrunku gipsowego. Miary rozkładu wartości DAP i EXI w zależności od obecności i braku opatrunku gipsowego przedstawiono na rysunkach 5, 6. Średnia wartość DAP radiografii kończyny w opatrunku gipsowym jest nieco wyższa niż radiografii bez stabilizacji zewnętrznej. Wykazano znaczny spadek wartości indeksu ekspozycji w przypadku zdjęć rentgenowskich w opatrunku gipsowym. Analizę wartości DAP i EXI u pacjentów z zastosowaniem opatrunku gipsowego i bez przedstawiono w tabeli 4.

Test korelacji rang Spermiana wykazał zależność między napięciem anodowym a wartością DAP ($r_s = 0,31$) oraz wartością obciążenia prądowo-czasowego i DAP ($r_s = 0,41$). Brak jest zależności między wartością współczynnika EXI a napięciem anodowym oraz obciążeniem prądowo-czasowym ($r_s = 0,04$).



Tabela 4 Miary rozkładu statystycznego wartości współczynnika DAP i EXI radiografii z i bez opatrunku gipsowego

Miara rozkładu Zmienna	\bar{X}	Mo	Liczebność mody	Min.	Max.	SD	Q1	Me	Q2
Zdjęcia pacjentów bez opatrunku gipsowego									
DAP [Gy·cm ²]	0,02	0,02	8	0,01	0,05	0,01	0,01	0,02	0,03
EXI	813,49	766,00	2	319,00	2620,00	368,63	568,50	687,00	984,00
Zdjęcia pacjentów z zastosowaniem opatrunku gipsowego									
DAP [Gy·cm ²]	0,03	0,03	10	0,01	0,07	0,01	0,02	0,02	0,04
EXI	478,25	Wielkr.	2	141,00	2980,00	415,24	258,00	397,50	557,50

Źródło: Opracowanie własne.

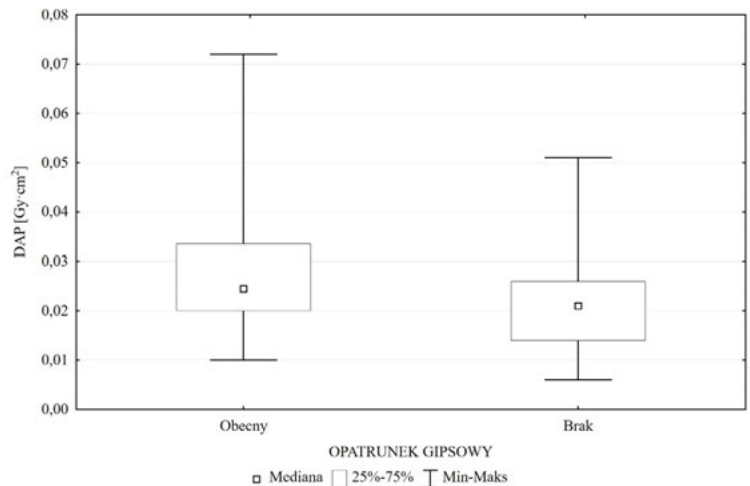
Dyskusja

Według E.K. Shin i J.B. Jupiter złamanie dalszego końca kości przedramienia dotyczy czterokrotnie częściej starszych kobiet [18]. Większą część badanej grupy stanowiły kobiety, których średnia wieku była statystycznie wyższa niż mężczyzn. U kobiet w wieku pomenopauzalnym występuje osteoporoza inwolucyjna na typu pierwszego będąca konsekwencją utraty tkanki kostnej uwarunkowanej ustaniem funkcji endokrynnych jajników [19]. Nasilenie utraty masy kostnej rozpoczyna się na ok. 2-3 lata przed ostatnią miesiączką, a zmniejszenie tempa tej utraty następuje 3-4 lata po menopauzie [20]. Według Amerykańskiego Narodowego Instytutu Zdrowia osteoporoza to choroba szkieletu charakteryzująca się zwiększonym ryzykiem złamania kości w następstwie zmniejszenia ich odporności mechanicznej [21]. Innym typem osteoporozy dotykającej najczęściej osoby starsze jest osteoporoza inwolucyjna drugiego typu, główną jej przyczyną jest zmniejszona aktywność osteoblastów oraz niedobory witaminy D₃ [19].

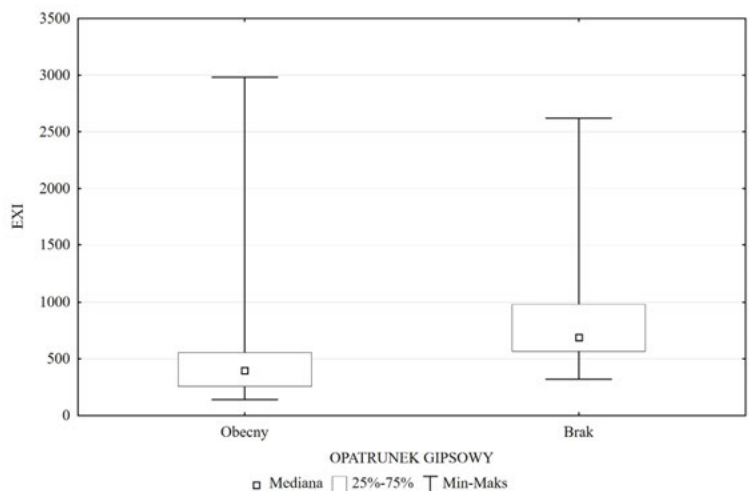
Najczęstszymi przyczynami bólu w obrębie nadgarstka oprócz zmian urazowych są: zespół cieśni nadgarstka, zmiany zwyrodnieniowe (idiopatyczne, pourazowe oraz pozapalne), zapalenia oraz martwice aseptyczne kości tódeczkowatej oraz księżycowatej [22]. Zespół cieśni nadgarstka to stan chorobowy powstały w wyniku ucisku nerwu pośrodkowego (*nervus medianus*) w kanale nadgarstka [23]. Zespół cieśni nadgarstka występuje przeważnie u kobiet około 50. roku życia, dolegliwości dotyczą przeważnie ręki dominującej, w około 10% przypadków występują obustronnie [24]. W analizowanym materiale nie uwzględniono przyczyn wykonania radiografii.

Standardowo zdjęcia stawu nadgarstkowego wykonuje się w projekcji tylnoprzodniej, bocznej oraz skośnej. Radiogramy w projekcji tylnoprzodniej i bocznej stanowiły przedmiot analizy. Należy pamiętać, że istnieje szereg dodatkowych – rzadziej wykonywanych projekcji, które mogą w pewnych sytuacjach klinicznych wnieść więcej informacji niż klasyczne pozycjonowanie [25].

Dostosowywanie pola wiązki pierwotnej do wielkości obrazowanego obszaru anatomicznego stanowi jedną z metod ochrony radiologicznej. Podczas analizy materiału autorzy przyjęli dwie wartości pola kolimacji podawane w literaturze jako wzorcowe (234 cm² oraz 432 cm²) [16, 17]. Pierwszą z nich przekroczyło 72,92% zdjęć, natomiast drugą 16,82%. Nie wykazano istotnej



Rys. 5 Wykres ramka wąsy DAP a obecność opatrunku gipsowego na radiogramie
Źródło: Opracowanie własne.



Rys. 6 Wykres ramka wąsy EXI a obecność opatrunku gipsowego na radiogramie
Źródło: Opracowanie własne.

różnicy wielkości pól kolimacji u pacjentów bez i z opatrunkiem gipsowym. Ustawa Prawo atomowe wskazuje, że właściwe badanie i leczenie przy użyciu promieniowania jonizującego wymaga optymalizacji ochrony radiologicznej pacjenta przed jego niepożądanym działaniem [26]. Zwiększenie pola kolimacji nie tylko powoduje zwiększenie dawki otrzymanej przez pacjenta, ale powoduje zwiększenie ilości promieniowania rozproszonego, które powoduje pogorszenie jakości otrzymanego radiogramu [27].



Analiza zebranego materiału wykazała istotny związek między opatrunkiem gipsowym a wartością współczynnika ekspozycji. Ten typ stabilizacji zewnętrznej stanowi dodatkową przeszkodę na drodze promieniowania do detektora obrazu. W przypadku aparatu rtg firmy Siemens niska wartość EXI odpowiada niskiej dawce docierającej do detektora [14]. Wartość indeksu ekspozycji w systemach firmy Siemens obliczana jest jako średnia wartość piksela w obszarze zainteresowania zdefiniowanym jako środkowa część obrazu, przy podziale radiogramu na dziewięć części (3×3) [28]. Butler i wsp. w analizie wartości indeksu ekspozycji w czterech zakresach klinicznych przy użyciu trzech różnych aparatów rentgenowskich wykazali, że największą spójnością otrzymanych danych cechowały się radiogramy uzyskane w technice cyfrowej bezpośredniej. W przypadku pośredniej radiografii odchylenia indeksu w badanym zakresie klinicznym sięgały nawet 30% [29].

L. Lança i A. Silva ustalili średnią wartość współczynnika ekspozycji zdjęć rentgenowskich stawu nadgarstkowego bez zastosowanego opatrunku gipsowego na poziomie 2,21 przy odchyleniu standardowym równym 0,25, natomiast w radiografii z opatrunkiem gipsowym na poziomie 2,69 przy odchyleniu standardowym równym 0,10 [30]. Analiza zebranego przez nas materiału wykazała odwrotną zależność – statystycznie wyższe średnie wartości EXI uzyskano w grupie zdjęć wykonanych pacjentom, u których nie zastosowano opatrunku gipsowego. Analiza L. Lança i A. Silva dotyczyła obrazowania cyfrowego firmy Agfa, stąd też wynika różnica w uzyskanych przez nas wynikach. W przypadku tego typu systemu indeks ekspozycji (I_{gM}) obliczany jest jako odchylenie logarytmu środkowej wartości poziomu ekspozycji (skala szarości) w wyznaczonym obszarze zainteresowania od oczekiwanej wartości [28, 31].

W analizowanym materiale *dose area product* w radiografii wykonanej pacjentom, u których nie zastosowano opatrunku gipsowego, był nieco niższy niż w radiografii z opatrunkiem ($0,02 \text{ Gy}\cdot\text{cm}^2$ vs. $0,03 \text{ Gy}\cdot\text{cm}^2$). D. Hart, B.F. Wall na podstawie analizy około 3 milionów radiogramów przedramienia, nadgarstka i dłoni ustalili średnią wartość DAP na poziomie $0,04 \text{ Gy}\cdot\text{cm}^2$ [32]. Różnice mogą wynikać z różnych wartości parametrów obrazowania, pola kolimacji i zastosowanych sposobów stabilizacji wewnętrznych i zewnętrznych.

W radiografii nadgarstka zalecana jest technika promieniowania miękkich, aby uwidocznić różnice w pochłanianiu promieniowania przez tkanki o różnej efektywnej liczbie atomowej [32]. Zgodnie z zapisami w procedurze wzorcowej napięcie anodowe w radiografii nadgarstka to zakres 45-55 kV [34]. W podręcznikach do nauki radiografii wartości te są wyższe i wynoszą 55-65 kV [35], a nawet 65-70 kV [36]. W programie narządowym, który wykorzystano do wykonania radiografii analizowanych radiogramów napięcie anodowe wynosiło 52 kV.

Część zdjęć rentgenowskich z grupy z opatrunkiem gipsowym została wykonana z korektą warunków ekspozycyjnych w stosunku do wyjściowych. Najczęściej dokonywano zmian do wyższych ustawień napięcia anodowego. W takiej sytuacji, wraz ze wzrostem potencjału elektrycznego przyspieszającego elektrony

w lampie rentgenowskiej wzrasta penetracja promieniowania rentgenowskiego, a kontrastowość obrazu maleje [37, 38].


Zmiana parametrów obrazowania w przypadku radiografii nadgarstka w opatrunku gipsowym nie powinna być przypadkowa. W literaturze można znaleźć zalecenie, że w sytuacji badania kończyny górnej wzrost napięcia anodowego powinien wynosić 10-15% lub wartość obciążenia czasowo-prądowego należy podwoić [39, 40]. Fauber zwraca uwagę, że brak jest standaryzacji wykonywania badań w danym zakresie klinicznym z uwzględnieniem rodzaju i grubości (liczby warstw) opatrunku [41]. W przypadku zastosowania opatrunku mieszanego gips-włókno szklane należy zwiększyć obciążenie czasowo-prądowe o 50%. Natomiast przy jednorodnych opatrunkach z włókien lub szyn próżniowych do unieruchomienia procedurę można wykonać bez korekty parametrów obrazowania [39].

W systemach CR Agfa dwukrotne podniesienie wartości obciążenia czasowo-prądowego lub wzrost napięcia anodowego o 15 skutkuje podniesieniem indeksu ekspozycji o 0,3 [38]. Informację tę trudno odnieść do wartości indeksu ekspozycji używanych w radiografii wykonywanej przy użyciu aparatu rentgenowskiego Siemens. Seibert i Morin zauważają, że ze względu na wyraźne różnice w sposobie określania i wyrażania indeksu ekspozycji przez różnych producentów sprzętu do radiografii cyfrowej, pojawiło się swego rodzaju zamieszanie wśród elektroradiologów, radiologów i fizyków medycznych [15]. Stąd koncepcja ujednoczenia sposobu wyliczania i prezentacji indeksu, aby wprowadzić indeks ekspozycji docelowej (*target exposure index*, EIT) dla każdego rodzaju radiografii oraz określenie indeksu odchylenia (*deviation index*, DI), jako informacji zwrotnej dotyczącej oceny techniki radiografii i jakości obrazu [28]. Każde narzędzie weryfikacji odrzuceń radiogramów, które pozwala na doskonalenie, powinno być wdrożone i stosowane w codziennej praktyce osób wykonujących radiografię.

Wnioski

1. Znaczna część radiogramów nadgarstka wykonana została przy polach kolimacji większych niż wartości wzorcowe. Nie wykazano związku pomiędzy opatrunkiem gipsowym a polem kolimacji.
2. W radiografii cyfrowej bezpośredniej (Siemens), podczas radiografii nadgarstka w opatrunku gipsowym średnia wartość *dose area product* była nieznacznie wyższa niż podczas badań wykonanych osobom, u których nie zastosowano tego typu unieruchomienia. Obecność opatrunku gipsowego istotnie wpływa na wartość indeksu ekspozycji, zmniejszając jego wartość niemal o połowę.
3. Podczas radiografii nadgarstka z opatrunkiem gipsowym najczęściej dokonywano korekty napięcia anodowego. Elektroradiolodzy wybierali wyższe wartości niż przypisane w programie narządowym.
4. Zmiana wartości napięcia anodowego i obciążenia prądowo-czasowego oraz pola kolimacji wpływa na wartość DAP.



5. W radiografii cyfrowej bezpośredniej (Siemens), wykazano dodatnią korelację między indeksem ekspozycji a wielkością pola kolimacji radiogramu. W analizowanym materiale zmiana wartości napięcia anodowego i obciążenia prądowo-czasowego nie wpłynęła na wartość EXI. 

Literatura

1. F. Paulsen, J. Waschke: *Atlas anatomii człowieka Sobotta*, 1, Elsevier Urban&Partner, Wrocław 2012.
2. A. Bochenek, M. Reicher: *Anatomia człowieka*, PZWL, Warszawa 2007.
3. J. Sokotowska-Pituchowa: *Anatomia człowieka*, PZWL, Warszawa 2006.
4. B. Kordasiewicz: *Leczenie złamań końca dalszego kości promieniowej*, Postępy Nauk Medycznych, 6(20), 2007, 248-256.
5. C.W.A. Pfirrmann: *Imaging of the wrist*, [w:] J. Hodler, Ch.L. Zollhofer, G.K. Von Schulthess (red.): *Musculoskeletal diseases 2009-2012*, Springer, Mediolan 2009, 28-32.
6. T.Sz. Gaździk: *Ortopedia i traumatologia*, T. 1-2, PZWL, Warszawa 2010.
7. M. Zanetti, L.A. Gilula, H.A. Jacob, J. Hodler: *Palmar tilt of the distal radius: influence of off-lateral projection initial observations*, Radiology, 220(3), 2001, 594-600.
8. K.W. Nellans, E. Kowalski, K.C. Chung: *The epidemiology of distal radius fractures*, Hand Clin, 28(2), 2012, 113-125.
9. J.M. Adkinson, A.M. Soltys, N.F. Miller, S.M. Eid, R.X. Murphy Jr.: *Determinants of distal radius fracture management in polytrauma patients*, Hand, 8(4), 2013, 382-386.
10. R. Shebab, M.H. Mirabelli: *Evaluation and diagnosis of wrist pain: a case-based approach*, Am Fam Physician, 87(8), 2013, 568-573.
11. R.A. Loreda, D.G. Sorge, L. Colonel, G. Garcia: *Radiographic evaluation of the wrist: a vanishing art*, Semin. Roentgenol., 40(3), 2005, 249-298.
12. E.L. Nickoloff, Z.F. Lu, A.K. Dutta, J.C. So: *Radiation dose descriptors: BERT, COD, DAP, and other strange creatures*, RadioGraphics, 28, 2008, 1439-1450.
13. W. Huda: *Kerma-Area Product in diagnostic radiology*, AJR, 203:W565-W569, 2014. DOI: 10.2214/AJR.14.12513.
14. M. Czerżyńska, E. Pasieka, S. Jakubowska, U. Łebkowska: *Wpływ materiału endoprotezy stawu biodrowego na wartość indeksu ekspozycji i DAP*, Inżynier i Fizyk Medyczny, 3(4), 2014, 199-203.
15. J.A. Seibert, R.L. Morion: *The standardized exposure index for digital radiography: an opportunity for optimization of radiation dose to the pediatric population*, Pediatric Radiology 41(5), 2011, 573-581.
16. W. Trojanowski: *Technika konwencjonalnych badań radiologicznych*, [w:] B. Pruszyński (red.): *Diagnostyka obrazowa. Podstawy teoretyczne i metodyka badań*, PZWL, Warszawa 2014, 197-320.
17. B.W. Long, J. Hall Rollins, B.J. Smith: *Merrill's Atlas of radiographic positioning and procedures*, T. 1, Elsevier Mosby, St. Louis 2016.
18. E.K. Shin, J.B. Jupiter: *Current concepts in the management of distal radius fractures*, Acta. Chir. Orthop. Traumatol. Cech., 74(4), 2007, 233-246.
19. M. Janiszewska, T. Kulik, M. Dziedzic, D. Żołnierczuk-Kieliszek, A. Barańska: *Osteoporoza jako problem społeczny- patogeneza, objawy i czynniki ryzyka osteoporozy pomenopauzalnej*, Probl Hig Epidemiol, 96(1), 2015, 106-114.
20. J. Tkaczuk-Włach, M. Sobstyl, G. Jakiel: *Osteoporoza – obraz kliniczny, czynniki ryzyka i diagnostyka*, Przegląd Menopauzalny, 2, 2010, 113-117.
21. P. Głuszko, R. Lorenc: *Osteoporoza pierwotna i wtórna. Wskazówki postępowania dla reumatologów*, Reumatologia, 50(5), 2012, 370-377.
22. B. Pruszyński (red.): *Wskazania do badań obrazowych*, PZWL, Warszawa, 2011.
23. T. Makowiec-Dąbrowska, H. Sińczuk-Walczak, Z.W. Józwiak, P. Krawczyk-Adamus: *Sposób wykonywania pracy jako czynnik ryzyka zespołu cieśni nadgarstka*, Medycyna Pracy, 58(4), 2007, 361-372.
24. J. Biernawska, A. Niemczyk, K. Pierzchała: *Udział czynników zawodowych i pozazawodowych w etiopatogenezie zespołu cieśni nadgarstka*, Medycyna Pracy, 56(2), 2005, 131-137.
25. A. Stewart Whitley, Ch. Sloane, G. Hoadley, A.D. Moore: *Clark's positioning in radiography*, CRC Press, Londyn 2005.
26. *Ustawa z dnia 29 listopada 2000 r. Prawo atomowe* (t. jedn. Dz.U. 2017.576).
27. K.L. Bontrager, J.P. Lampighano: *Pozycjonowanie w radiografii klasycznej dla techników elektroradiologii*, Elsevier Urban&Partner, Warszawa 2015.
28. S.J. Shepard, J. Wang (red.): *An exposure indicator for digital radiography: AAPM Task Group 116 (Executive Summary)*, Med. Phys, 36(7), 2009, 2898-2914.
29. M.L. Butler, L. Rainford, J. Last, P.C. Brennan: *Are exposure index values consistent in clinical practice? A multi-manufacturer investigation*, Radiat Prot Dosimetry, 139(1-3), 2010, 371-374. DOI: 10.1093/rpd/ncq094.
30. L. Lança, A. Silva: *Evaluation of exposure index (IgM) in orthopaedic radiography*, Radiat Prot Dosimetry, 129(1-3), 2008, 112-118.
31. D. Oborska-Kumasyńska: *Cyfrowe systemy obrazowania w rentgenodiagnostyce. Cz. II – kontrola parametrów obrazowania*, Acta Bio-Optica et Informatica Medica, 2(17), 2011, 97-105.
32. D. Hart, B.F. Wall: *Radiation exposure of the UK population from medical and dental X-ray examinations*, NRPB-W4, National Radiological Protection Board, 2002.
33. R. Schmitt, U. Lanz: *Diagnostic imaging of the hand*, Thieme, Stuttgart-New York 2008.
34. *Obwieszczenie Ministra Zdrowia z dnia 10 listopada 2015 r. w sprawie ogłoszenia wykazu wzorcowych procedur radiologicznych z zakresu radiologii – diagnostyki obrazowej i radiologii zabiegowej* (Dz. Urz. Min. Zdrow. 2015.78).
35. J.S. Greathouse, A.M. Adler, R.R. Carlton: *Principles of radiographic positioning and procedures pocket guide*, Cengage Learning, Stamford 2015.
36. K.M. Martensen: *Radiographic image analysis*, Elsevier Saunders, St. Louis 2015.
37. B.W. Long, E.D. Frank, R.A. Ehrlich: *Workbook and licensure exam prep for radiography essentials for limited practice*, Elsevier Saunders, St. Louis 2013.
38. H. Owczarek: *Systemy CR w praktyce medycznej*, Inżynier i Fizyk Medyczny, 4(1), 2012, 175-180.
39. Q.B. Carroll: *Radiography in the digital age: physics – exposure – radiation – biology*, Charles Thomas Publisher, Springfield 2014.
40. N. Johnson: *Upper limb*, [w:] K.L. Bontrager, J. Lampighano: *Textbook of radiographic positioning and related anatomy*, Elsevier MOSBY, St. Louis 2014, 125-172.
41. T.L. Fauber: *Radiographic imaging and exposure*, Elsevier, St. Louis 2017.