



UNIwersytet Medyczny
IM. PIASTÓW ŚLĄSKICH WE WROCLAWIU

Katedra i Zakład Radiologii Ogólnej, Zabiegowej i Neuroradiologii

„Całkowita dawka promieniowania a wzrost ryzyka wystąpienia nowotworu wśród pacjentów poddanych diagnostyce, zabiegowi oraz kontroli wewnątrznaczyniowego wszczepienia stentgraftu do aorty”

Arkadiusz Kacała

Rozprawa na stopień doktora nauk medycznych

Promotor:

Prof. dr hab. Jerzy Garcarek

Wrocław, 2020

Spis treści

Wykaz skrótów stosowanych w pracy

Wstęp

1. Aorta człowieka.....	4
1.1. Anatomia aorty.....	4
1.2. Rys historyczny leczenia schorzeń aorty.....	7
1.3. Wewnątrznaczyniowe leczenie chorób aorty.....	8
1.4. Wybrane stentgrafty aortalne.....	11
1.5. Powikłania związane z leczeniem aorty za pomocą stentgraftów.....	13
2. Promieniowanie jonizujące.....	16
2.1. Historia promieniowania jonizującego.....	16
2.2. Powstawanie i rodzaje promieniowania jonizującego.....	17
2.3. Wpływ promieniowania jonizującego na organizm ludzki.....	19
2.4. Dozymetria i ochrona radiologiczna.....	21
2.5. Promieniowanie jonizujące podczas zabiegów endowaskularnych.....	22
3. Cele pracy.....	26
4. Materiał i metoda.....	27
4.1. Zbieranie danych i obliczanie dawek promieniowania	27
4.2. Przeliczenie dawek promieniowania na procentowy wzrost ryzyka rozwoju nowotworu.....	27
4.3. Sprzęt radiologiczny i protokół badań kontrolnych	28
4.4. Analiza statystyczna oraz przedstawienie danych.....	28
4.5. Grupa badana.....	29
4.6. Angiografia tomografii komputerowej przed zabiegiem.....	32

4.7. Zabieg wewnątrznacyniowy wszczepienia stentgraftu do aorty.....	37
5. Wyniki.....	39
5.1. Dawka promieniowania.....	39
5.2. Powikłania.....	43
5.3. Kontrola pooperacyjna.....	46
5.4. Całkowita dawka promieniowania i wzrost ryzyka nowotworu.....	56
6. Dyskusja.....	65
7. Wnioski.....	73
8. Streszczenie.....	75
9. Abstract.....	80
Bibliografia.....	84
Spis rycin.....	97
Spis tabel.....	98

Wykaz skrótów stosowanych w pracy

AA – łuk aorty – aortic arch

AAA – tętniak aorty brzusznej – abdominal aortic aneurysms

AAo – aorta wstępująca – the ascending aorta

ABC – system automatycznej kontroli jasności – automatic brightness control

AEC – system automatycznej kontroli ekspozycji – automatic exposure control

AK – air kerma

ALARA – podanie jak najmniejszej ‘rozsądnej’ dawki promieniowania – as low as reasonably achievable

Angio-tk– angiografia tomografii komputerowej – computed tomography angiography

ARSA – tętnica podobojczykowa błędząca – aberrant right subclavian artery

CCA – tętnica szyjna wspólna – common carotid artery

DAP – dawka powierzchniowa – dose area product

DSA – cyfrowa angiografia subtrakcyjna – digital subtraction angiography

EVAR – naprawa tętniaka aorty brzusznej metodą wewnątrznaczyniową - abdominal endovascular aneurysm repair

IMH – krwiak śródścienny – intramural hematoma

LIH – system zatrzymania ostatniego otrzymanego obrazu – last image hold

LSA – lewa tętnica podobojczykowa – left subclavian artery

PUM – penetrujące owrzodzenie miażdżycowe – penetrating atherosclerotic ulcer

TAA – tętniak aorty piersiowej – thoracic aorta aneurysm

Wstęp

1. Aorta człowieka

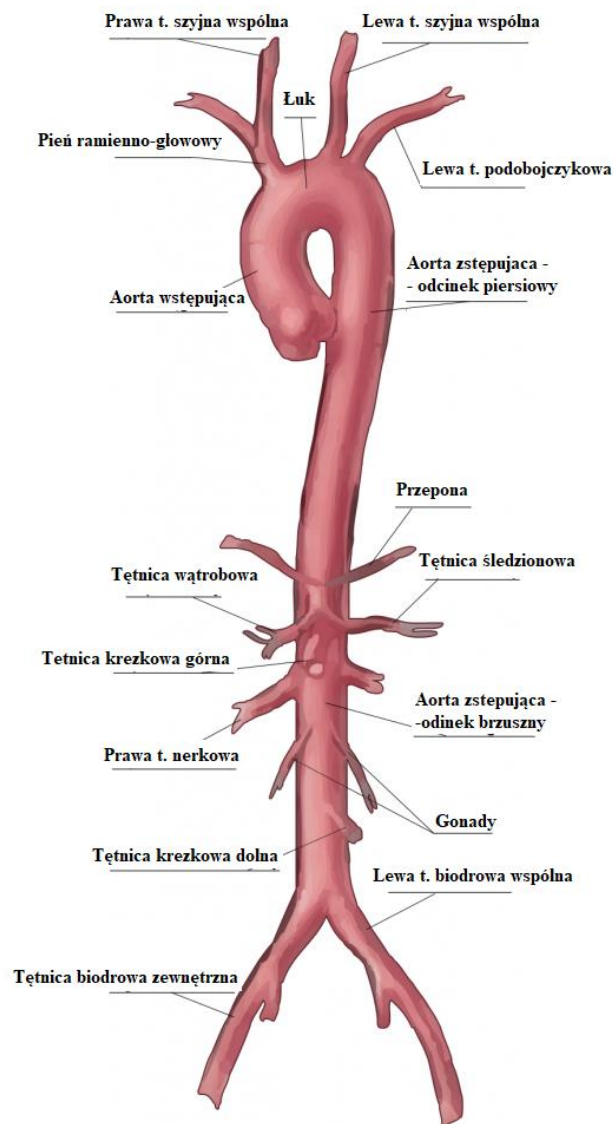
1.1. Anatomia aorty

Aorta jest główną tętnicą krążenia systemowego. Według prawidłowej anatomii człowieka aorta odchodzi z lewej komory serca, a u jej ujścia znajduje się zastawka, której nadrzędną funkcją jest prewencja cofania się krwi do komory, podczas fazy rozkurczowej. Ściana naczynia zbudowana jest z błony wewnętrznej, środkowej i zewnętrznej. Aortę można podzielić na trzy segmenty, a mianowicie na aortę wstępującą, łuk aorty oraz aortę zstępującą. W przebiegu aorty zstępującej wyróżnia się odcinek piersiowy oraz brzuszny [1], [2].

Aorta wstępująca (ang. ascending aorta – AAO) położona jest całościowo w części osierdzia. Ponad aortą wstępującą, a dokładniej nad miejscem, w którym łączą się blaszki ścienna i trzewna osierdzia, położony jest łuk aorty (ang. arch of the aorta – AA). Łuk aorty położony jest w śródpiersiu, poczynając od części położonej na prawo od płaszczyzny pośrodkowej. Zazwyczaj (u ok. 65% populacji) od łuku aorty od prawej do lewej strony odchodzi pień ramiennie-główny. W dalszej części odchodzą kolejno tętnica szyjna wspólna (ang. common carotid artery – CCA) oraz lewa tętnica podobojczykowa (ang. left subclavian artery – LSA) [3].

Należy dodać, iż istnieje wiele wariantów anatomicznych odejścia wyżej wymienionych naczyń. Do przykładowych odmian anatomicznych należą anomalie rozwojowe stanowiące tak zwany pierścień aorty i należą do nich: tętnica podobojczykowa błądząca (ang. aberrant right subclavian artery – ARSA), w przypadku gdy odejście prawej tętnicy podobojczykowej znajduje się w początkowym odcinku aorty piersiowej (ang. thoracic aorta – TA), prawostronny łuk aorty, podwójny łuk aorty, hipoplazja łuku aorty, tętnica błądząca prawa/lewa, uchylek Kommerella czy ring naczyniowy. Należy wspomnieć także o koarktacji odcinków aorty, czyli odcinkowych zwężeniach naczynia, np. zwężeniu cieśni aorty (ang. aortic isthmus) [4].

Pierwszym odcinkiem aorty zstępującej jest aorta piersiowa. W dalszym odcinku od aorty piersiowej odchodzą tętnice międzyżebrowe tylne, tętnice przeponowe górne, gałęzie śródpiersiowe, oskrzelowe, przełykowe oraz osierdziowe. W tylnej części aorty piersiowej znajduje się żyła nieparzysta krótka, a w przedniej przełyk i splot przełykowy. W stronę prawą odchodzi żyła nieparzysta. W dalszej części pojawia się odcinek brzuszny, od którego odchodzą gałęzie zaopatrujące naczynia trzewne. Do naczyń tych należą: pień trzewny, tętnica kręzkowa górna, tętnica kręgowa dolna i tętnice nerkowe. Dalej znajdują się odejścia tętnic biodrowych wspólnych [2], [3].



Rycina 1. Anatomia aorty

Aortę można podzielić także w umowny sposób, ze względu na umieszczenie stentgraftów podczas zabiegów. Autorem podziału dokonanego w 2000 roku był Balm. W 2002 roku nastąpiła modyfikacja jego klasyfikacji podziału aorty dokonana przez Ishimaru i Criado. Podane podziały są ważne ze względu na odpowiednie określenie miejsca lądowania stentgraftu (ang. landing zone), czyli umieszczenia proksymalnej części stentgraftu w odpowiednim miejscu.

Aortę podzielono na 4 strefy:

- Strefa 0 – aorta wstępująca oraz wszystkie gałęzie łuku,
- Strefa 1 – łuk aorty z pominięciem pnia ramiennie-głowego,
- Strefa 2 – łuk aorty z pominięciem pnia ramiennie-głowego oraz lewej tętnicy szyjnej wspólnej,
- Strefa 3 – początkowy odcinek aorty zstępującej,
- Strefa 4 – dalsza część aorty zstępującej [5], [6].

Criado wprowadził dodatkowy podział z uwzględnieniem stref trzewnych aorty, gdzie strefa trzewna dzieli aortę brzuszną oraz tylny odcinek dTA na 4 następujące strefy:

- V0 – odejście tętnic do nerek,
- V1 – odejście tętnicy kręzkowej górnej oraz odcinek sięgający proksymalnego ujścia tętnicy nerkowej,
- V2 – odejście pnia trzewnego do proksymalnej granicy tętnicy kręzkowej górnej,
- V3 – odcinek aorty zstępującej pomiędzy trzonem kręgu Th9 a ostium pnia trzewnego [7].

Juszkat et al. w 2011 roku podzielili strefę 2 na dwa odcinki:

- odcinek 2a – lewa tętnica podobojczykowa przykryta całkowicie,
- odcinek 2b – lewa tętnica podobojczykowa przykryta częściowo [8].

Zasady dotyczące odpowiedniego ulokowania proksymalnej części stentgraftu zostały przedstawione podczas Tokyo Consensus w 2004 roku. Podczas spotkania określono m.in.:

- kluczowe informacje na temat długości oraz krzywizny łuku aorty,
- minimalna dł. szyi powinna wynosić 20 mm (wzdłuż krzywizny łuku),
- oversizing protezy nieprzekraczający 10-15%,
- ryzyko przecieku wzrasta przy średnicy aorty większej niż 38-40 mm [9].

1.2. Rys historyczny leczenia schorzeń aorty

Pierwszą wzmianką na temat choroby aorty było opisanie przypadku rozwarstwienia aorty u króla Anglii, Grzegorza II w 1761 roku. Jednakże próbę zabiegu otwartego w przypadku rozwarstwienia odnotowano dopiero w 1935 roku i zabieg nie zakończył się sukcesem. Pierwszy zabieg rozwarstwienia aorty, który zakończył się pomyślnie został wykonany przez DeBakey'a w 1955 roku [10], [11].

Do około 1990 roku leczenie chirurgiczne pacjentów ze schorzeniami aorty było jedynym rozwiązaniem [10]. Procedura wewnątrznacyniowego leczenia aorty za pomocą stentgraftu została przeprowadzona po raz pierwszy w 1987 roku. Jako pierwszy stentgraftem posłużył się chirurg pochodzenia ukraińskiego, Nicholas Volodos, który podjął się leczenia pourazowego uszkodzenia aorty piersiowej. W roku 1990 doktor Parodi wraz z zespołem wykonał zabieg zaopatrzenia tętniaka aorty brzusznej z użyciem stentgraftu. Zabieg został przeprowadzony w Buenos Aires. Publikacje na ten temat ujrzały światło dzienne w 1991 roku. W 1994 roku po raz pierwszy wszczepiono oraz opisano zastosowanie protezy rozwidlonej. Od tego momentu prace nad rozwojem stentgraftów znacznie przyspieszyły, a za prekursorów leczenia uznaje się dr. Parodiego, dr. Volodosa i dr. Dake'a [12], [13]. Pierwszy zabieg z użyciem stentgrfatu w Polsce został przeprowadzony w 1998 roku w Lublinie przez Małgorzatę Szczerbo-Trojanowską.

Rozwój technik wewnątrznacyniowych był związany z poszerzeniem wskazań do zabiegów. Pacjenci leczeni wcześniej chirurgicznie lub odrzucani, ze względu na zbyt duże ryzyko zabiegu, mogli zostać poddani procedurom wewnątrznacyniowym [14]–[16]. W 1996 roku znane były doniesienia o leczeniu chorych z tętniakami aorty piersiowej, brzusznej, tętniakami rzekomymi czy przetokami żylna-tętnicznymi. Pierwszy zabieg naprawczy aorty piersiowej (ang. thoracic endovascular aortic repair – TEVAR) został opisany przez Dake'a w 1999 roku [17].

Aby sprostać przypadkom niekwalifikującym się do jednego rodzaju leczenia, zaczęto rozwijać sposób leczenia będący połączeniem leczenia otwartego z metodami wewnątrznacyniowymi. Zabiegi leczenia tętniaków piersiowo-brzusznych będące połączeniem obu metod to tzw. zabiegi hybrydowe. Po raz pierwszy zabiegu połączenia dwóch metod podjął się Quinones-Baldrich w 1999 roku [18].

1.3. Wewnątrznacyniowe leczenie chorób aorty

Zabiegi na aorcie wykonywane są klasyczną metodą chirurgiczną oraz wewnątrznacyniowo. Leczenie chirurgiczne jest jednak bardziej inwazyjne dla pacjenta, co związane jest z wykonaniem torakotomii lub sternotomii – w przypadku zabiegu na aorcie piersiowej oraz zmiany pozycji trzewi, laparotomii i rozpreparowania przestrzeni zaotrzewnowej – w przypadku zabiegu na aorcie brzusznej. W obu przypadkach stosuje się zaciski na aorcie. Większość osób z chorobami aorty obciążona jest chorobami towarzyszącymi, co dodatkowo utrudnia wykonanie zabiegu chirurgicznego [15], [19]. Śmiertelność oraz ryzyko wystąpienia powikłań przy operacji otwartej jest znacznie wyższe niż przy procedurze wykonanej drogą wewnątrznacyniową [20].

Stentgrafty są przeznaczone do leczenia następujących chorób aorty: tętniak aorty piersiowo-brzusznej, w tym tętniaki prawdziwe, rzekome oraz jatrogenne; ostre zespoły aortalne, w tym rozwarstwienia aorty (ostre oraz przewlekłe); ostry krwiak śródścienny aorty, drążący wrzód aorty, pourazowe uszkodzenie aorty, penetrujące owrzodzenie miażdżycowe aorty, zwężenie oraz zamknięcie aorty [21].

Jednym z najczęstszych schorzeń leczonych za pomocą stentgraftów są tętniaki aorty piersiowej i brzusznej. Tętniaki piersiowo-brzuszne są rzadsze i definiują się jako poszerzenia światła naczynia o ponad 50% w stosunku do prawidłowych naczyń. Tętniaki można podzielić pod względem ich morfologii, etiologii czy histologii. Wyróżnia się m.in. tętniaki workowate, stanowiące ok. 10% wszystkich tętniaków aorty oraz tętniaki wrzecionowate (ok. 85%). Większość przypadków to tętniaki prawdziwe, podczas gdy reszta to tętniaki rzekome i jatrogenne [22]. Do powodów poszerzania się aorty i powstawania tętniaków zalicza się miażdżycę, zmiany zapalne oraz zwyrodnieniowe ściany naczynia, a także genetyczne zaburzenia w syntezie kolagenu [23], [24]. Ok. 15-20% tętniaków aorty to tętniaki powstające na skutek urazu. Zdecydowana większość tętniaków urazowych (ok. 85%) pojawia się na pograniczu łuku z aortą zstępującą. W przypadku AA jest to odcinek zadwunastniczy i zatrzustkowy [25].

Tętniaki aorty brzusznej (ang. abdominal aortic aneurysms – AAA) występują o wiele częściej niż tętniaki aorty piersiowej (ang. thoracic aorta aneurysm – TAA). Częstość występowania AAA w populacji szacuje się na ok. 4-7% u mężczyzn w wieku powyżej 65 lat oraz u 1-2% kobiet. Stosunek powstawania tętniaków u mężczyzn i kobiet szacuje się na 7:1

[22]. Ryzyko pęknięcia tętniaka w przypadku aorty brzusznej to 6,6% rocznie, gdy rozmiar tętniaka nie przekracza 5 cm. Ryzyko to wzrasta diametralnie w przypadku większych tętniaków i jest szacowane na ok. 25% przy rozmiarze tętniaka ok. 8 cm [26]. Tętniaka AAA rozpoznaje się, gdy wartość graniczna aorty brzusznej przekracza 30 mm, odcinka wstępującego 50-55 mm, a odcinka zstępującego 40 mm [27].

Tętniaki aorty piersiowej pojawiają się u 5-10 na 100 000 osób rocznie, w tym 60% w aorcie wstępującej, około 35% w odcinku zstępującym i ok. 10% na łuku aorty. Ryzyko pęknięcia lub rozwarstwienia naczynia sięga 2% rocznie w przypadku tętniaków nieprzekraczających 5 cm; ok. 3%, gdy tętniak ma 5-7 cm oraz ok. 7% rocznie, jeżeli tętniak ma wymiar większy niż 6 cm [28]. Tętniaka TA rozpoznaje się, gdy wymiar graniczny przekracza 35-40 mm [27].

Do zabiegów z użyciem stentgraftów kwalifikują się również ostre zespoły aortalne, takie jak rozwarstwienie aorty (ang. aortic dissection), drążący wrzód miażdżycowy (ang. penetrating atherosclerotic ulcer – PAU) oraz krwiak śródścienny (ang. intramural hematoma – IMH). Krewiak śródścienny powstaje w wyniku pęknięcia błony wewnętrznej. Tętniak rozwarstwiający może powstać na skutek krwawienia śródściennego lub pęknięcia błony wewnętrznej. Drążący wrzód miażdżycowy jest miejscem początkowym rozwarstwienia. Może być również miejscem inicjującym IMH. Dane wskazują, iż ok. 75% ostrego zespołu aortalnego to rozwarstwienia, ok. 20% stanowi IMH, a pozostały procent PAU [29].

Do chwili obecnej powstały dwie stosowane klasyfikacje rozwarstwień aorty – klasyfikacja wg DeBakey'a oraz wg Stanforda. DeBakey przedstawił klasyfikację rozwarstwień aorty w 1965 roku. Głównym kryterium podziału było miejsce powstania rozwarstwienia oraz jego rozległość. Można wyróżnić trzy typy rozwarstwień, gdzie typ I zakłada, iż początek rozwarstwienia znajduje się w aorcie wstępującej, zajmuje łuk aorty, część piersiową i brzuszna. Typ II ma początek w aorcie wstępującej, a koniec na wysokości pnia ramienno-głowego. Typ III rozpoczyna się w aorcie zstępującej i można podzielić go dalej na dwa podtypy – podtyp IIIa, obejmujący aortę piersiową oraz podtyp III b, obejmujący aortę piersiową i brzuszna. Podział rozwarstwień aorty wg Stanforda wyróżnia typ A, który rozpoczyna się w aorcie wstępującej i odnosi się do typu I i II wg klasyfikacji DeBakey'a oraz typ B, w którym początek rozwarstwienia odnotowuje się w aorcie zstępującej, poniżej tętnicy podobojczykowej lewej (ang. left subclavian artery – LSA), co przekłada się na stopień IIIa i IIIb wg DeBakey'a [30], [31].

Tabela 1. Klasyfikacja rozwarstwień aorty

Klasyfikacja wg DeBakey'a		Klasyfikacja wg Stanforda	
Typ	Opis	Typ	Opis
I	początek rozwarstwienia znajduje się w aorcie wstępującej, zajmuje łuk aorty, część piersiową i brzuszna	A	rozpoczyna się w aorcie wstępującej i odnosi się do typu I i II wg DeBakey'a
II	początek w aorcie wstępującej, a koniec na wysokości pnia ramienno-głowego	B	początek rozwarstwienia odnotowuje się w aorcie zstępującej, poniżej tętnicy podobojczykowej lewej (typ IIIa i IIIb wg DeBakey'a)
III	rozpoczyna się w aorcie zstępującej		
IIIa	obejmuje aortę piersiową		
IIIb	obejmuje aortę piersiową i brzuszna		

Kolejnym wskazaniem do zabiegu z użyciem stentgraftu w obrębie aorty jest uraz aorty piersiowej. Jego najczęstszą lokalizacją jest cień aorty. Śmiertelność związana z nieleczoną zmianą pourazową wynosi ok. 30% w ciągu pierwszych kilku godzin. Śmiertelność nieleczonej zmiany po 24 godzinach od momentu powstania wynosi ok. 50%. Ryzyko śmiertelności w przypadku zabiegów wewnątrznacyniowych jest równe ok. 7%. Należy wspomnieć, iż ryzyko w przypadku zabiegów chirurgicznych tych samych patologii wynosi dwa razy więcej (ok. 15%) [32], [33].

Leczenie wewnątrznacyniowe z użyciem stentgraftu wykorzystywane jest także w przypadku koarktacji aorty. Pomimo iż schorzenie diagnozowane jest często w okresie dziecięcym, powinno być leczone w późniejszych latach, ze względu na niewielki rozmiar naczyń u dzieci [34]. Odnotowuje się wysoki wskaźnik sukcesywnych zabiegów koarktacji aorty z użyciem stentgraftów, sięgający ok. 90% [35]. Współczynnik śmiertelności wynosi ok. 2-3% [36].

1.4. Wybrane stentgrafty aortalne

Stentgrafty mają kształt rurki, utkane są z poliestru, czasami z dodatkiem politetrafluoroetyleny i mocowane do rusztowania wykonanego z nitinolu. Materiał do rusztowania mocowany jest za pomocą kleju i szwów. Główną funkcją rusztowania jest zapewnienie odpowiedniego przylegania urządzenia do ściany naczynia oraz stanowienie podpory dla materiałowej części stentgraftu. Dodatkowo niektóre stentgrafty posiadają haczyki mające na celu zapobieganie dystalnemu przemieszczaniu się urządzenia. Urządzenia zróżnicowane są pod względem rozmiarów i długości w celu odpowiedniego indywidualnego dobrania sprzętu do konkretnego pacjenta. Istnieje możliwość zamówienia stentgraftów o niestandardowych wymiarach (stentgrafty branzowane, fenestrowane), lecz wymagają one dłuższego czasu oczekiwania na wyprodukowanie i wiążą się z większymi kosztami. Poniżej znajduje się krótkie przedstawienie wybranych stentgraftów przeznaczonych do leczenia schorzeń aortalnych wraz z ich parametrami [37]–[39].

Jednym z podstawowych wytycznych oceny aorty do założenia protezy jest szyja tętniaka oraz „strefa lądowania”. Długość szyi powinna wynosić przynajmniej 15 mm, a jej szerokość maksymalnie 40 mm. Wytyczne te związane są z warunkami technicznymi stentgraftów (33). Konieczne jest zwrócenie uwagi na odcinek zmieniony oraz odcinki położone poniżej i powyżej zmiany. Konieczna jest także ocena skrzeplin i stopnia zwężenia naczynia. Zmiany miażdżycowe mogą utrudnić wprowadzenie stentgraftu, a te, które zwężają światło naczynia do <7 mm mogą uniemożliwić jego wprowadzenie. Zagięcie szyi $<60^\circ$ nie wpływa istotnie na wynik techniczny zabiegu oraz wyniki odległe. Większe problemy odnotowuje się w przypadku zagięcia szyi $>60^\circ$, szczególnie w kwestii zagięcia szyi pod kątem $>90^\circ$ [40], [41][42].

Stentgrafty AorFix (Lombard Medical) oraz Zenith Flex (Cook) zostały wprowadzone na rynek w 1999 roku i dedykowane są leczeniu schorzeń aorty brzusznej. AorFix wykonany jest z poliestru i nitinolu, Zenith Flex z poliestru i stali nierdzewnej. Stentgraft AorFix posiada oznakowanie CE dla 90° zagięcia szyi, a wskazana minimalna długość szyi to 20 mm. Średnica systemu wprowadzającego to 22F, a zakres rozmiaru wynosi 24-31 mm. Posiada odsłonięty dystalny koniec stentu. W przypadku Zenith Flex odcinek proksymalny stentu jest

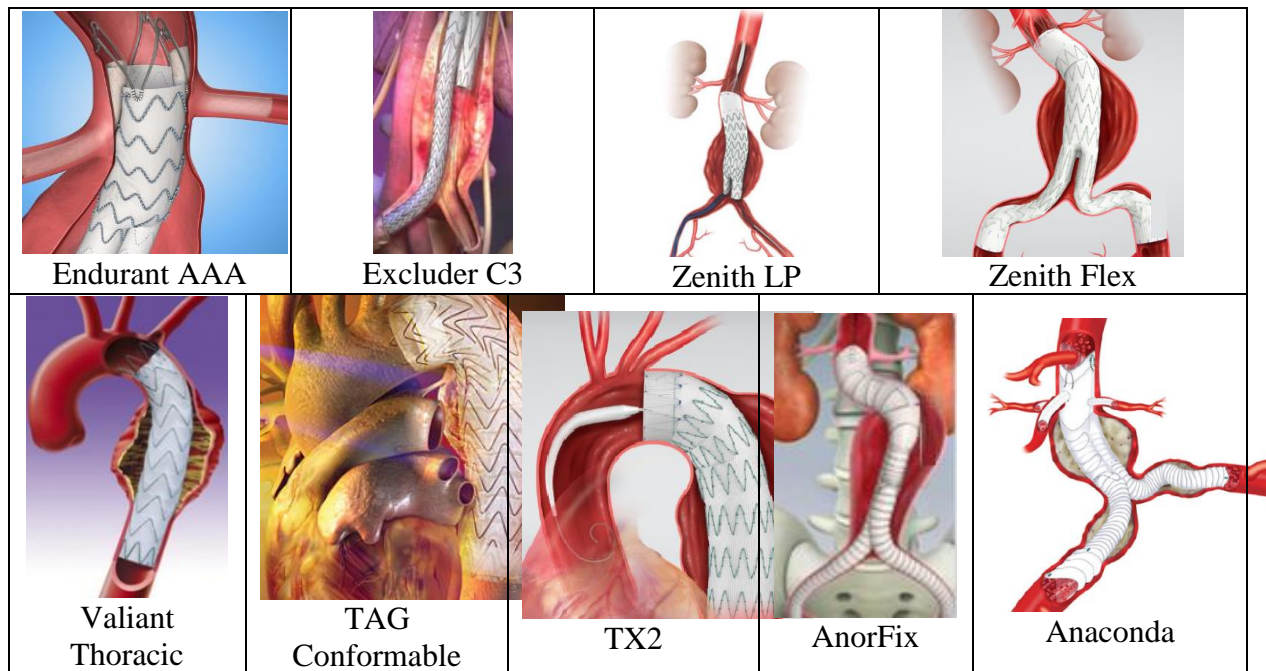
odsłonięty, minimalna długość szyi wynosi 15 mm, maksymalny kąt szyi 60°, a zakres rozmiarów stentu to 22-36 mm [43], [44].

W 2007 roku na rynek wypuszczono stentgraft Anaconda (VascuTek Terumo), przeznaczony do leczenia chorób aorty brzusznej, poliestrowo-nitinolowy, wyposażony w haczyki na proksymalnym pierścieniowym stencie. Wskazana minimalna długość szyi to 15 mm, śr. systemu wprowadzającego wynosi 20-23 mm, a zakres rozmiarów waha się między 21-34 mm. Dodatkowo stentgraft umożliwia dużą repozycję, ze względu na swój system rozprężający oraz posiada magnetyczny system kaniulacji [45].

W 2009 roku na rynku pojawiły się stentgrafty do leczenia aorty piersiowej – Valiant Thoracic (Medtronic), TX2 (Cook) oraz TAG Conformable (Gore). Valiant Thoracic wykonany jest z poliestru i nitinolu, proksymalny odcinek stentu jest odsłonięty, nie posiada haczyków, minimalna długość szyi wynosi 15 mm, maksymalny kąt szyi 60°, średnica systemu wprowadzającego 22-25 F, a zakres rozmiarów wynosi 22-46 mm. Valiant Thoracic jest wyposażony w system wprowadzający z objęciem wierzchołka graftu. TX2 wykonany jest z poliestru i stali nierdzewnej, posiada haczyki na proksymalnym pierścieniowym stencie oraz na odsłoniętym stencie dystalnym. Minimalna wskazana długość szyi wynosi 20 mm, średnica systemu wprowadzającego 20-22F, a zakres rozmiarów stentu to 22-42 mm. TX2 posiada 2-komorowy oraz 3-częściowy system wprowadzający. TAG Comfortable wykonany jest z ePTFE i nitinolu, nie posiada haczyków, minimalna wskazana długość szyi to 20 mm, śr. systemu wprowadzającego to 18-24 F, rozmiary wynoszą 21-45 mm [39], [46], [47].

Od 2010 roku na rynku funkcjonują Excluder C3 (Gore) oraz Zenith LP (Cook), które zostały przeznaczone do leczenia osób z chorobami aorty brzusznej. Excluder C3 wykonany jest z ePTFE i nitinolu, nie posiada odsłoniętych końców stentu, ale posiada haczyki na przednim pierścieniowym stencie. Wskazana min. dł. szyi wynosi 15 mm, maksymalny kąt szyi 60°, średnica systemu wprowadzającego 18-20F, a zakres rozmiarów wynosi 23-31 mm. Zenith LP to poliestrowo-nitinolowy stentgraft posiadający haczyki na przednim pierścieniowym stencie, ma odsłonięty proksymalny odcinek stentu, minimalna wskazana długość szyi wynosi 15 mm, maksymalny kąt szyi 60°, średnica systemu wprowadzającego 16F, a zakres rozmiarów stentu to 22-36 mm [39], [48], [49].

Od 2012 roku dopuszczony jest do użytku Endurant AAA (Medtronic), przeznaczony do zabiegów chorób aorty brzusznej. Jest to poliestrowo-nitinolowy stent posiadający haczyki na przednim odsłoniętym stencie, minimalna wskazana długość szyi wynosi 10 mm, maksymalny kąt szyi 60°, średnica systemu wprowadzającego 18-20F, a zakres rozmiarów stentu to 23-36 mm [50].



Rycina 2. Wybrane stentgrafty aortalne

1.5. Powikłania związane z leczeniem aorty za pomocą stentgraftów

Podczas leczenia schorzeń aorty za pomocą stentgraftu może dojść do nieodpowiedniego ułożenia protezy, migracji stentgraftu, niedrożności urządzenia, zakrzepicy stentgraftu, złamania stentgraftu, zwężenia światła, przecieku krwi do worka tętniaka (ang. endoleak), udaru mózgu lub rdzenia kręgowego [51]. Podczas badań kontrolnych po wszczepieniu protezy należy ocenić lokalizację stentgraftu oraz jego rozprężenie, zwrócić uwagę na zagięcia protezy oraz integralność modułów, zwracając uwagę czy nie doszło do rozejścia się części stentgraftu lub jego złamania.

W przypadku niewystarczającego przylegania protezy do ściany aorty, jeżeli proksymalna część urządzenia jest zbyt krótka lub z powodu wzrostu ciśnienia podczas rozprężania urządzenia, siła działająca na tylną część protezy może doprowadzić do jej przemieszczenia. Na skutek tego działania może dojść do zagięcia lub złamania protezy, wytworzenia się zakrzepu, niedrożności, powstania przecieku czy zatorowości. Migrację urządzeń odnotowuje się u 1-2% chorych. W zależności od nasilenia powikłania wskazane może być wzmocnienie urządzenia za pomocą innej protezy, przedłużenie stentgraftu lub jej usunięcie [52], [53].

Do udaru mózgu na skutek zabiegu w obrębie aorty dochodzi u 4-6,7% pacjentów. U 0% do 3% chorych dochodzi do przemijającego/stałego udaru rdzenia kręgowego [54], [55].

Do przecieku dochodzi u 15% do 29% chorych leczonych za pomocą stentgraftu w obrębie aorty. Klasyfikacja przecieków wyróżnia pięć typów oraz kilka podtypów powikłań, ze względu na ich lokalizację oraz miejsce, z którego krew napływa do worka tętniaka. Typ pierwszy opisuje przecieki spowodowane nieodpowiednim dopasowaniem stentgraftu do ściany naczynia. Typ I można podzielić dalej na trzy podtypy, gdzie podtyp IA to przeciek proksymalny, powstały w miejscu, w którym stentgraft przylega do ściany naczynia powyżej tętniaka; podtyp IB to przeciek dystalny, powstały w miejscu, w którym stentgraft przylega do ściany naczynia poniżej tętniaka; podtyp IC to przeciek wywodzący się z okludera tętnicy biodrowej (okluder = stentgraft pokrywany, który służy do zamknięcia tętnicy biodrowej). Typ II charakteryzuje przecieki spowodowane wstecznym napływem krwi do worka tętniaka z tętnic krążenia obocznego, wyróżniając podtyp IIA – związany z tętnicą kręzkową dolną i podtyp IIB – związany z tętnicą lędźwiową. Typ III definiuje się jako przecieki wywołane urządzeniem embolizacyjnym (stentgraftem). Podtyp IIIA wyróżnia przecieki wywołane przerwaniem części stentgraftu, a typ IIIB przecieki związane z uszkodzeniem materiału stentgraftu. Typ IV przecieku spowodowany jest porowatością materiału stentgraftu, a typ V jest powiązany z powiększaniem się tętniaka bez odnotowanego przecieku, nazywany również endotension [56], [57].

Należy podkreślić, iż w pierwszych miesiącach po zabiegu, na skutek samodopięcia urządzenia oraz odpowiedniego ułożenia stentgraftu w naczyniu, często dochodzi do samoistnego wyleczenia przecieku. W przypadku konieczności interwencji, w najczęstszych

przypadkach dokłada się wybraną część stentgraftu lub dopręża się urządzenie przy użyciu balonu [58], [59].

Tabela 2. Klasyfikacja przecieków

Klasyfikacja przecieków	
Typ I	Przeciek spowodowany nieodpowiednim dopasowaniem stentgraftu do ściany naczynia
Typ IA	Przeciek proksymalny, w miejscu, w którym stentgraft przylega do ściany naczynia powyżej tętniaka
Typ IB	Przeciek dystalny, w miejscu, w którym stentgraft przylega do ściany naczynia poniżej tętniaka
Typ IC	Przeciek wywodzący się z okludera tętnicy biodrowej
Typ II	Przeciek spowodowany wstecznym napływem krwi do worka tętniaka z tętnic krążenia obocznego
Typ IIA	Z tętnicy kręzkowej dolnej
Typ IIB	Z tętnicy lędźwiowej
Typ III	Przecieki związane z urządzeniem (stentgraftem)
Typ IIIA	Przeciek wywołany przerwaniem części stentgraftu
Typ IIIB	Przeciek związany z uszkodzeniem materiału stentgraftu
Typ IV	Przeciek spowodowany porowatością materiału stentgraftu
Typ V or endotension	Przeciek powiązany z powiększaniem się tętniaka bez odnotowanego przecieku

2. Promieniowanie jonizujące

2.1. Historia promieniowania jonizującego

Promienienie rentgenowskie zostało odkryte przez Wilhelma Roentgena w listopadzie 1895 roku. Prace nad odkryciem promieniowania odbywały się na lampie mającej kształt cylindra. Naukowiec sprawdzał przenikliwość promieniowania testując je na różnych materiałach. W 1895 roku Roentgen wykonał zdjęcie rentgenowskie dłoni swojej żony, Berty. Jak się okazało, promienie przenikały m.in. papier oraz tkankę ludzką. Nazwane przez Roentgena promienie x stały się podstawą prężnego rozwoju technologii, w tym szczególnie medycyny. Za odkrycie promieniowania fizyk otrzymał Nagrodę Nobla w 1901 roku [60], [61], [62], [63].

Rok po odkryciu promieniowania przez Roentgena (1896), francuski fizyk Henri Becquerel odkrył nowy rodzaj promieniowania. Promieniowanie to emitowane było przez siarczany uranylowo-potasowy. Jak się później okazało, było to promieniowanie typu beta. Maria Skłodowska-Curie oraz Piotr Curie prowadzili wnikliwe badania nad istniejącymi rodzajami promieniowaniami. Współpraca małżeństwa Curie z francuskim chemikiem Paulem Villardem doprowadziła do odkrycia w 1900 roku promieni nazwanych w późniejszym okresie promieniami gamma. Zjawiska emisji promieniotwórczej przez niektóre pierwiastki, np. uran nazwano radioaktywnością. W roku 1903 Maria Skłodowska-Curie wraz z Henrim Becquerelem dostali Nagrodę Nobla za dokonania naukowe w dziedzinie promieniotwórczości. Brytyjski fizyk Ernest Rutherford przedstawił budowę atomu oraz potwierdził obecność jądra atomowego, za co w 1908 roku otrzymał Nagrodę Nobla [64], [65], [66].

Jednymi z największych osiągnięć było sprawdzanie efektów działania promieniowania na ludzkim organizmie. Zaczęto wykorzystywać to zjawisko w diagnostyce oraz leczeniu nowotworów złośliwych. Kilka lat później, w 1911 roku Maria Skłodowska-Curie została ponownie zdobywczynią Nagrody Nobla za odkrycie promieniotwórczego pierwiastka polonu. Doszło także do odkrycia promieniowania neutronowego przez angielskiego fizyka Jamesa Chadwicka. Niedługo później Frédéric Joliot-Curie wraz

z żoną przedstawili zjawisko nazwane sztuczną promieniotwórczością. W roku 1942 niemieccy chemicy zapoczątkowali dziedzinę zwaną energetyką jądrową, która miała początek w odkryciu zależności rozpadu jądra uranu [67], [68].

Na podstawie posiadanej wiedzy zaczęto konstruować lampy wykorzystujące promienie rentgenowskie. Jednym z pierwszych znanych producentów lamp rentgenowskich był William Crook, angielski fizyk, który wprowadził do użytku lampy katodowe oraz lampy z zimną katodą. Pierwsze lampy jonowe zawierały w środku gaz, którego ciśnienie oraz objętość wpływały na pracę oraz wydajność urządzenia. Poziom gazu był bardzo istotny, ponieważ nieodpowiednie parametry, związane z utrzymaniem próżni, skutkowały brakiem wydzielania promieniowania X. W 1986 roku powstała pierwsza lampa rentgenowska, która posiadała regulowaną próżnię, a od roku 1900 używano próżni samoregulujących. Coolidge przedstawił w 1913 r. właściwą lampę rentgenowską. Bazując na modelu lampy Coolidge kolejne lampy były udoskonalane. W 1918 roku F.O.R. Goetze opatentował spiralę liniową i wyposażył lampę w dwa ogniska optyczne. W 1929 roku firma Philips wprowadziła na rynek lampy z anodą wirującą, które znalazły zastosowanie m.in. w badaniach TK [69].

W 1971 roku świat ujrzał pierwszy aparat do badań tomografii komputerowej, przedstawiony przez Godfreya Hounsfielda. Urządzenie wykorzystywało wzór Allana Cormacka do pochłaniania promieniowania w tkankach, którego jednostką pomiaru jest jednostka Hounsfielda. Helikalny aparat TK zaczął być używany w roku 1989, a aparat 2-rzędowy w 1991 roku. Rok później wykonano angiografię TK. W 1998 roku pojawił się czterorzędowy aparat TK [70], [71].

2.2. Powstawanie i rodzaje promieniowania jonizującego

Promieniowanie jonizujące można zdefiniować jako energię, która dostarczana jest w formie fal elektromagnetycznych lub strumienia, zdolną do jonizowania materii. Fale te nazywane są fotonami. Promieniowanie powstaje w wyniku rozpadu i rozszczepienia jąder atomowych oraz utraty energii ich cząstek. W skład elektrycznie obojętnego atomu wchodzi jądro atomowe składające się z nukleonów, czyli dodatnio naładowanych protonów i neutronów o ładunku neutralnym. Poza jądrem znajdują się elektrony o ładunku ujemnym. Ładunek elementarny protonu jest równy ładunkowi elektronu. Elektrony znajdują się na

orbitach elektronowych, oznaczonych K, L, M, N. Na skutek nagłego oddawania energii kinetycznej poprzez elektrony dochodzi do powstania promieniowania rentgenowskiego. Elektrony znajdujące się na wyższych orbitach zostają łatwiej oderwane, ze względu na niższą energię wiązania. Sam proces odłączenia elektronu od atomu to jonizacja [72].

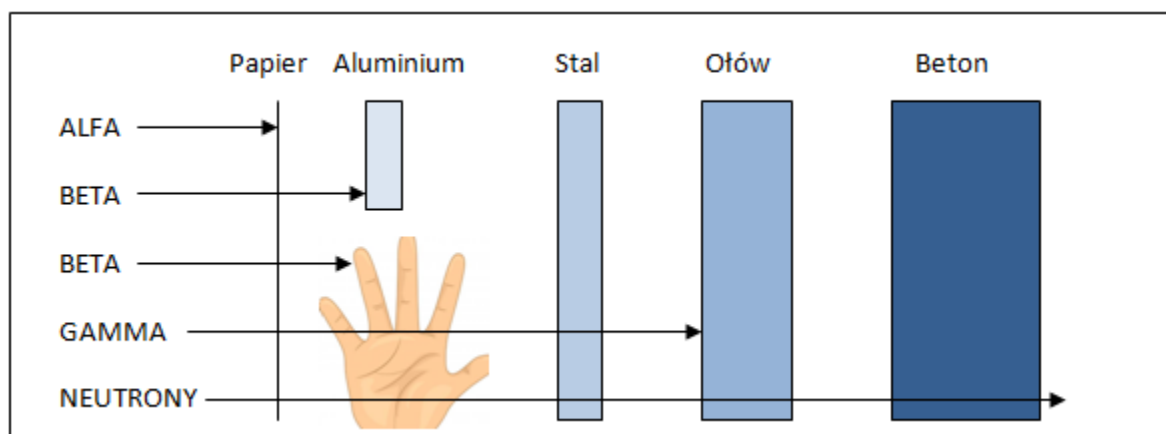
Promieniowanie jonizujące można podzielić na promieniowanie alfa (α), beta (β), gamma (γ), rentgenowskie i neutronowe.

Promieniowanie α powstaje na skutek transmisji jąder atomu helu i ma najmniejszy zasięg. Przenikliwość promieniowania jest niska i może zostać pochłonięta przez materiał taki jak papier. Zasięg promieniowania w powietrzu wynosi kilka cm. Pomimo niewielkiej siły promieniowania w stosunku do promieniowania typu beta czy gamma, promieniowanie alfa charakteryzuje się dość silną emisją promieniowania jonizującego, które w styczności z tkanką ludzką powoduje zniszczenia i może wywołać chorobę popromienną [72].

Promieniowanie β wytwarzane jest na skutek emisji elektronów i charakteryzuje się większą przenikliwością niż promieniowanie α . Promieniowanie przenika przez papier oraz aluminium, a także zewnętrzną powłokę skóry. Zasięg promieniowania w powietrzu wynosi kilka kilometrów. W zależności od strumienia promieniowania, promieniowanie beta można podzielić na β^+ wytwarzające strumień pozytonów oraz β^- wytwarzające strumień elektronów [72].

Promieniowanie γ i rentgenowskie to promieniowania elektromagnetyczne. Można podzielić je na miękkie i twarde. Ich przenikliwość jest duża, a zasięg w powietrzu daleki. Promieniowanie przenika takie materiały, jak papier, aluminium czy ołów. Zaporę dla promieniowania stanowi beton. Ekspozycja skóry, tkanek, narządów na ten rodzaj promieniowania naraża je na duże uszkodzenia. Promieniowanie rentgenowskie jest wytwarzane poprzez lampę rentgenowską, dzięki czemu możliwa jest decyzja o jego wytworzeniu [72].

Promieniowanie neutronowe to wolne neutrony, które powstają w reaktorach jądrowych. Choć nie jest to promieniowanie jonizujące, może się aktywować lub spowodować emisję fal gamma. Ten rodzaj promieniowania cechuje się dużą przenikliwością, większą niż pozostałe rodzaje promieniowania jonizującego [72].



Rycina 3. Przenikliwość promieniowania

2.3. Wpływ promieniowania jonizującego na organizm ludzki

Obecna diagnostyka obrazowa pozwala na dokładną ocenę chorób aorty u pacjentów. Jednakże narażenie pacjenta oraz personelu wykonującego badanie radiologiczne na promieniowanie jest nieodłączne podczas uzyskiwania obrazów radiologicznych [73].

Istnieje wiele opinii oraz hipotez na temat wpływu promieniowania jonizującego na organizm człowieka. Należy zaznaczyć, iż różne rodzaje promieniowania mają różny wpływ na ludzki organizm, ze względu na swój ładunek. Każdy rodzaj promieniowania działa odmiennie na tkanki oraz uszkadza je w różnym stopniu. Aby zrównoważyć różnice wartości pomiędzy dawkami, wprowadzono jednostkę rem, która służy do określenia dawki równoważnej (ang. dose equivalent) [74], [75].

W 1959 roku przyjęto hipotezę liniową bezprogową. Hipoteza zakłada, że każdy incydent narażenia na promieniowanie zwiększa ryzyko wystąpienia nowotworu. Choć hipoteza funkcjonuje oficjalnie w przepisach dotyczących ochrony radiologicznej, coraz częściej podważa się założenia tej teorii z powodu braku odpowiednich dowodów na oddziaływanie małych dawek promieniowania na procesy nowotworowe, w liczbie <200 mSV. Powstała również hipoteza progowa będąca przeciwieństwem hipotezy bezprogowej.

Zakłada ona, że dopiero w momencie przekroczenia pewnej dawki można zaobserwować jakikolwiek wpływ promieniowania na organizm, a szkodliwość rośnie liniowo, wraz ze wzrostem dawki promieniowania [76], [77].

Od roku 1943 istnieje teoria hormezy radiacyjnej, która podaje, iż małe dawki promieniowania nie szkodzą, a oddziałują pozytywnie na ludzki organizm. Obecnie trwają badania nad pozytywnymi skutkami ekspozycji na niewielkie dawki promieniowania jonizującego [3], [4], [76]. Jako potencjalne pozytywne skutki wpływu promieniowania jonizującego wymienia się: stymulację układu immunologicznego, „zmiatanie” wolnych rodników, a także naprawianie struktur DNA. Na skutek zachodzących procesów obniżać ma się ryzyko wystąpienia nowotworu lub jego mutacji [80].

Ogólnie wiadomo, że promieniowanie jonizujące uszkadza struktury komórkowe DNA. Jak podaje wiele źródeł, mutacje wywołane w materiale genetycznym mogą prowadzić do kancerogenezy. Długotrwałe badanie wpływu promieniowania na organizm sprawdzono na podstawie badań na pokoleniu osób dotkniętych wybuchem bomby atomowej oraz ich potomstwa. Badania wykazały zwiększony odsetek anomalii chromosomów w stosunku do pozostałych badanych grup. Odnotowano zwiększone występowanie raka: skóry, płuca, kości, wątroby tarczycy, sutka oraz białaczkę. Należy podkreślić, że w okresie występowania nowotworów popromiennych nie były jeszcze znane i wdrażane regulacje dotyczące ochrony radiologicznej [81].

Nieustannie trwają badania mające na celu stwierdzenie związku działania promieniowania jonizującego z powstawaniem nowotworów u pacjentów poddawanych zabiegom radiologicznym. Dowiedziono, że promieniowanie uszkadza DNA, organellum, błony komórkowe, immunogenność, bierze udział w apoptozie, proliferacji, różnicowaniu i migracji komórek oraz w procesach zmian biologicznych. Równocześnie promieniowanie wykorzystywane jest w radioterapii, w celu leczenia nowotworów. Dualizm wpływu promieniowania jonizującego na ludzki organizm jest tematem aktualnym i niezwykle istotnym w procesie oceny wartości radiologicznych badań diagnostycznych, zabiegowych oraz leczniczych [82].

2.4. Dozymetria i ochrona radiologiczna

Dozymetria radiologiczna jest jedną z dziedzin fizyki zajmującą się obliczeniami oraz pomiarami dawek promieniowania jonizującego, które otrzymuje pacjent oraz personel medyczny. Dzięki temu można określić stopień narażenia pacjenta i personelu na ekspozycję promieniowania. Dozymetria ma istotne zastosowanie w ochronie radiologicznej.

Ochrona radiologiczna ma za zadanie przedstawić wytyczne uświadamiające, jak ograniczyć, chronić się oraz zapobiegać narażeniu na skutki działania promieniowania. W medycynie wyodrębniono zalecenia dotyczące ochrony radiologicznej pacjenta i personelu, związane z emisją promieniowania jonizującego podczas badań diagnostycznych i zabiegów.

W roku 1901 William Rollins stał się twórcą pierwszych opublikowanych wytycznych dotyczących zasad ochrony radiologicznej, które powinny znaleźć zastosowanie w Zakładach Radiologicznych. W 1915 roku Russ postanowił wystąpić o opracowanie ustawy, która regulować będzie zasady związane z ochroną radiologiczną. W kolejnych latach powstawały komitety ochrony radiologicznej, które pracowały nad regułami ochrony radiologicznej.

Regulacje na temat promieniowania jonizującego w prawie polskim znaleźć można w Rozporządzeniu Ministra Zdrowia z dnia 25 sierpnia 2005 r. w sprawie warunków bezpiecznego stosowania promieniowania jonizującego dla wszystkich rodzajów ekspozycji, w Rozporządzeniu Rady Ministrów z dnia 18 stycznia 2005 r. w sprawie dawek granicznych promieniowania jonizującego oraz w Rozporządzeniu Rady Ministrów z dnia 12 lipca 2006 r. w sprawie szczegółowych warunków bezpiecznej pracy ze źródłami promieniowania jonizującego.

Według Rozporządzenia roczna efektywna dawka promieniowania jonizującego dla pracownika równa się 20 mSv. Może ona zostać przekroczona i wynosić 50 mSv w ciągu roku, jeżeli w ciągu kolejnych 5 lat nie przewyższy ona wartości 100 mSv. Roczna dawka graniczna dla soczewek oczu to 150 mSv, a dla podudzi, przedramion, stóp, dłoni i dla skóry 500 mSv. Dawki dla pracowników mierzone są przy pomocy dozymetrów, a ich moc za pomocą miernika mocy dawki.

W badaniach diagnostycznych stosowane są środki cieniujące, które w różnym stopniu pochłaniają promieniowanie jonizujące. Najogólniej można podzielić je na pozytywne i negatywne. Pozytywne środki cieniujące składają się z baru, jodu, węgla, azotu, tlenu i pochłaniają promieniowanie bardziej niż tkanki. Wśród nich wyróżniamy środki rozpuszczalne (urotropowe, hepatotropowe) i nierozpuszczalne w wodzie (baryt, środki olejowe). Negatywne środki cieniujące mają niski współczynnik pochłaniania promieniowania X. Do negatywnych środków zalicza się: gazy szlachetne, podtlenek azotu, dwutlenek węgla, powietrze oraz tlen [83].

2.5. Promieniowanie jonizujące podczas zabiegów wewnątrznaczyniowych

Zabiegi radiologiczne związane są z dosyć dużą dawką emitowanego promieniowania. Na działanie promieniowania narażeni są pacjenci poddawani zabiegom oraz personel. Ważnym aspektem jest przestrzeganie procedur dotyczących sprzętu przeznaczonego do wykonywania procedur zabiegowych. Wybierając aparat angiograficzny należy wziąć pod uwagę średnicę detektora obrazu, a także moc generatora. Dodatkowo sprzęt powinien być wyposażony w możliwość minimum 2-krotnego powiększenia obrazu radiologicznego, system zatrzymania ostatniego otrzymanego obrazu (ang. last image hold – LIH), ‘road mapping’, czyli funkcję pozwalającą ocenić położenie urządzeń embolizacyjnych w naczyniach, lampę kroczącą, skopię pulsacyjną oraz stół. Automatyczna regulacja napięcia i natężenia prądu w lampie jest możliwa dzięki systemom automatycznej kontroli ekspozycji (ang. AEC – automatic exposure control) oraz jasności (ang. automatic brightness control – ABC). Półprzepuszczalne zasłony umożliwiają zmniejszenie dawki promieniowania. W zależności od przeznaczenia aparatu różnią się także zalecenia dotyczące jego wyposażenia (np. aparat do zabiegów kardiologicznych lub pediatrycznych) [84].

Regulacje dotyczące dawek promieniowania podczas procedur radiologicznych można znaleźć w Prawie Atomowym. Jednakże nie są dokładnie sprecyzowane zasady dotyczące dawek promieniowania w pracowniach radiologii zabiegowej. Zaleca się podanie pacjentowi rozsądnie jak najmniejszej dawki promieniowania. Zasada ta nosi nazwę ALARA (ang. as low as reasonably achievable). Aby jak najbardziej zmniejszyć dawkę

promieniowania, należy możliwie skrócić czas wykonywania skopii oraz nie przesadzać z częstością wykonywania powiększeń geometrycznych [84][85].

W celu optymalnej ochrony chorego przed działaniem promieniowania, wskazane jest zmniejszenie do minimum wykonywania obrazów projekcji bocznych oraz skośnych, nie naświetlanie tego samego obszaru ciała w różnych projekcjach, ograniczenie kolimacji, małe powtórzenia we fluoroskopii pulsacyjnej, używanie zapisów LIH, zmniejszenie do maksimum odległości pomiędzy wzmacniaczem a chorym oraz maksymalne oddalenie chorego od lampy rentgenowskiej [84][86].

Narażenie zespołu medycznego na promieniowanie wywołane jest przez rozchodzące się w różnych kierunkach promieniowanie rozproszone, pochodzące z miejsca padania wiązki pierwotnej. Dawka promieniowania zmniejsza się wraz ze zwiększeniem odległości od jego źródła, dlatego ważne jest, aby zwrócić uwagę na zachowanie możliwie jak największej odległości od urządzenia emitującego promieniowanie. Podstawową zasadą ochrony personelu przed promieniowaniem jest noszenie fartuchów, okularów, osłon ruchomych i na tarczycę. Należy również starać się unikać narażenia dłoni na działanie promieniowania. Personel narażony jest na emisję promieniowania również ze strony operowanego pacjenta. W myśl zasady, iż większa powierzchnia tkanki związana jest z większą emisją promieniowania, im cięższy jest pacjent, tym większa emisja promieniowania rozproszonego i narażenie personelu na jego ekspozycję. Każdy pracownik biorący udział przy procedurach zabiegowych powinien znać przepisy związane z ochroną radiologiczną oraz regularnie, co 5 lat uczestniczyć w szkoleniach z zakresu ochrony radiologicznej [84], [87], [86].

Jedną z podstawowych jednostek określających pochłoniętą ilość promieniowania jonizującego był rem. Wielkość ta została jednak zastąpiona przez Siwerty. Ich twórcą jest szwedzki naukowiec Rolf Sievert, którego głównym punktem zainteresowań były badania nad ingerencją promieniowania w zdrowie ludzkie oraz szerzenie świadomości na temat ochrony radiologicznej.

Ustalono, iż 1 SV, który równa się 100 dawnych remów, jest jednoznaczny z ostrą chorobą popromienną. Mniejsze wartości narażenia na promieniowanie wyraża się w milisiwertach (mSV) [88].

Kolejną istotną wartością jest dawka średniego pochłoniętego promieniowania (ang. absorbed dose) przez tkankę/organ. Początkowo wyrażana była w radach. Od roku 1953 oficjalną jednostką pomiaru został grej (Gy). Jednostka 1 greja równa się wartości 1 jula (j)

pochłoniętej przez tkankę ważącą 1 kg. Siłę dawki otrzymanej przez materiał określa się jako dawkę pochłoniętą [89].

Podczas przeprowadzania procedur wewnątrznaczyniowych oceniana jest dawka pochłonięta przez chorego, wykonana bezpośrednio przez aparat angiograficzny. Do określenia dawki pochłoniętej wykorzystuje się DAP (ang. dose area product), czyli iloczyn dawki promieniowania jonizującego i powierzchni narażonej na jego ekspozycję oraz wskaźnik AK (ang. air kerma), którego zadaniem jest oszacowanie wartości dawki na poziomie skóry. Wewnątrznaczyniowe leczenie chorób aorty wiąże się z narażeniem pacjenta na ekspozycję promieniowania jonizującego, ze względu na przeprowadzaną fluoroskopię, powiększanie obrazów radiologicznych czy wysokie dawki mocy [90], [91].

Do oceny radioczułości wykorzystuje się współczynnik wagowy wT, który wskazuje prawdopodobieństwo pojawienia się efektów scholastycznych. Wartość ta pozwala na ocenę skutku poprzez dodanie do siebie dawek równoważnych, biorąc pod uwagę wpływ działania promieni na poszczególne tkanki/narządy. Waga dawki wyrażona jest wzorem $\Sigma wT = 1$. [92].

Tabela 3. Radioczułość wybranych organów na promieniowanie jonizujące

Tkanka, narząd	Współczynnik wagowy tkanki w T
Skóra	0,01
Powierzchnia kości	0,01
Pęcherz moczowy	0,05
Gruzoły piersiowe	0,05
Przełyk	0,05
Tarczycyca	0,05
Pozostałe	0,05
Czerwony szpik kostny	0,12
Jelito grube	0,12
Płuca	0,12
Żołądek	0,12
Gonady	0,20

3. Cele pracy

Do głównych celów rozprawy należą:

1. Obliczenie całkowitej życiowej dawki promieniowania, na jaką eksponowani są pacjenci poddani diagnostyce i procedurze wewnątrznacyniowego wszczepienia stentgraftu do aorty z powodu tętniaka.
2. Wyliczenie przybliżonego wzrostu ryzyka wystąpienia nowotworu u pacjentów narażonych na działanie promieniowania jonizującego w całej procedurze leczniczej.
3. Wielokierunkowa ocena odległa ryzyka wystąpienia nowotworu u chorych po EVAR:
 - a. porównanie dawek promieniowania, na jakie narażeni są pacjenci w zależności od rodzaju wszczepionego stentgraftu i rodzaju zabiegu,
 - b. porównanie dawek promieniowania, na jakie narażeni są pacjenci w zależności od wieku, płci, statystycznego czasu przeżycia.
4. Ustalenie możliwych sposobów obniżenia ryzyka wystąpienia nowotworu na skutek ekspozycji pacjentów na promieniowanie jonizujące, w związku z wszczepieniem stentgraftu do aorty.
5. Określenie skuteczności oraz bezpieczeństwa leczenia pacjentów ze schorzeniami aorty drogą wewnątrznacyniową z użyciem stentgraftów, ze względu na otrzymaną dawkę promieniowania.

4. Materiał i metoda

Pacjenci będący materiałem rozprawy leczenia byli w Klinice Chirurgii Naczyniowej, Ogólnej i Transplantacyjnej oraz w Zakładzie Radiologii Ogólnej, Zabiegowej i Neuroradiologii w Uniwersyteckim Szpitalu klinicznym we Wrocławiu w latach 2008–2015.

4.1. Zbieranie danych i obliczanie dawek promieniowania

Dawki promieniowania, na jakie eksponowani byli pacjenci podczas zabiegów wewnątrznaczyniowych uzyskano z rejestru sali operacyjnej, który jest wypełniany przez certyfikowanego technika radiologicznego. Dawki promieniowania, na jakie byli eksponowani pacjenci podczas badań angiografii tomografii komputerowej uzyskano z wewnątrzszpitalnego systemu PACS pobierając raporty promieniowania z każdego badania. Uzyskane pomiary zostały ostatecznie przeliczone przy użyciu trzech różnych współczynników konwersji mnożenia (odpowiednio 0,20 mSv / Gycm², odpowiednio 0,18 mSv / mGy i 0,017 mSv / mGycm), uzyskując skuteczny ekwiwalent dawki wyrażony w mSv [93], [94]. Konwersja wszystkich pomiarów na mSv umożliwiła porównania z procedurami oraz obliczenie skumulowanej łącznej dawki, na jaką eksponowani byli pacjenci.

4.2. Przeliczenie dawek promieniowania na procentowy wzrost ryzyka rozwoju nowotworu

Do obliczenia przybliżonych wartości wzrostu ryzyka rozwoju nowotworu po każdej ekspozycji na promieniowanie wśród pacjentów w grupie badawczej użyto narzędzia dostępnego na stronie internetowej: <https://www.xrayrisk.com>, dzięki której otrzymano wyliczony procentowy wzrost ryzyka nowotworu w związku z każdorazową ekspozycją pacjenta na promieniowanie. Informacje te są wyliczane na podstawie wieku, płci, dawki, na

jaką ekspozycją był pacjent oraz danych analizujących wpływ promieniowania jonizującego na potencjał onkogenny tkanek [95].

4.3. Sprzęt radiologiczny i protokół badań kontrolnych

Zabiegi wewnątrznaczyniowe były wykonywane w dwóch salach zabiegowych przystosowanych do zabiegów wewnątrznaczyniowych, wyposażonych w angiografy marki Siemens Axiom Artis z płaskim detektorem 30x40cm, umożliwiające ustawienie optymalnej projekcji do zabiegu. Badania angio-tk wykonywane były 64-rzędowym skanerem TK. Przedoperacyjne badanie obejmowało angiografię tomografii komputerowej aorty zmienionego chorobowo odcinka do dokładnych pomiarów i oceny zwapnienia aorty i tętnic biodrowych, średnicy i krętości naczyń. Harmonogram obrazowania w kontroli pozabiegowej wyznaczony był na 1, 6 i 12 miesiąc po zabiegu, a następnie co roku – był on jednak modyfikowany przez lekarzy, według wskazań lekarzy kontrolujących.

4.4. Analiza statystyczna oraz przedstawienie danych

Analizę statystyczną przeprowadzono z wykorzystaniem programu R, wersja 3.5.1. Badane zmienne przedstawiono za pomocą statystyk opisowych. Normalność rozkładu zmiennych ilościowych oceniano za pomocą testu Kołmogorowa-Smirnowa, wskaźników skośności i kurtozy danych oraz wizualnej oceny histogramów. Porównania grup dla danych ilościowych były wykonywane testami: t-studenta, U Manna-Whitneya, Wilcoxon dla par lub testem Kruskala-Wallisa z testem *post-hoc* Dunna, stosownie do sytuacji. Stosowano poprawkę Bonferroniego z uwagi na porównania wielokrotne. Analizę związku dawki promieniowania z wybranymi parametrami ilościowymi wykonano za pomocą wskaźnika korelacji Spearmana. Zastosowano poziom istotności $\alpha = 0,05$, wszystkie testy miały charakter dwustronny.

Dane statystyczne zostały przedstawione w formie graficznej w postaci tabel oraz rycin.

4.5. Grupa badana

Badaniem objęto $N = 206$ pacjentów, $n = 165$ (80%) mężczyzn i $n = 41$ (20%) kobiet. Średnia wieku wynosiła $68,40 \pm 11,67$ lat, przy czym najmłodszy pacjent w dniu zabiegu miał 21 lat, zaś najstarszy 91 lat. Osoby w wieku do 40 lat stanowiły tylko 2% całej grupy, zaś osoby w wieku 41–50 lat – kolejne 4%. Ponad połowę pacjentów stanowili pacjenci w wieku 61–80 lat (62% całej grupy). Podsumowanie charakterystyk demograficznych badanej grupy przedstawiają tabele 4-5.

Tabela 4. Charakterystyka demograficzna grupy badawczej

Zmienna	Wartość	Cała grupa		Mężczyźni		Kobiety	
		<i>n</i>	% pacjentów	<i>n</i>	% mężczyzn	<i>n</i>	% kobiet
<i>N</i>		206	100,0%				
Płeć	Mężczyzna	165	80,1%				
	Kobieta	41	19,9%				
Wiek w dniu 1. zabiegu	0–18 lat	-	-	-	-	-	-
	19–30 lat	2	1,0%	2	1,2%	-	-
	31–40 lat	2	1,0%	2	1,2%	-	-
	41–50 lat	8	3,9%	7	4,2%	1	2,4%
	51–60 lat	33	16,0%	29	17,6%	4	9,8%
	61–70 lat	66	32,0%	52	31,5%	14	34,1%
	71–80 lat	61	29,6%	50	30,3%	11	26,8%
81 lat i więcej	34	16,5%	23	13,9%	11	26,8%	
Zmienna	Wartość			<i>n</i>	% pacjentów		
<i>N</i>				206	100,0%		
Płeć	Mężczyzna			165	80,1%		
	Kobieta			41	19,9%		
Wiek w dniu 1. zabiegu	0–18 lat			-	-		
	19–30 lat			2	1,0%		
	31–40 lat			2	1,0%		

Zmienna	Wartość	Cała grupa		Mężczyźni		Kobiety	
		<i>n</i>	% pacjentów	<i>n</i>	% mężczyzn	<i>n</i>	% kobiet
		41–50 lat		8		3,9%	
		51–60 lat		33		16,0%	
		61–70 lat		66		32,0%	
		71–80 lat		61		29,6%	
		81 lat i więcej		34		16,5%	

Tabela 5. Statystyki opisowe dla wieku grupy badawczej

Wiek w dniu 1. zabiegu, lata	<i>n</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>Med</i>	<i>Q1</i>	<i>Q3</i>	<i>Min.</i>	<i>Maks.</i>
Cała grupa	206	68,40	11,67	69,00	61,25	76,00	21,00	91,00
Kobiety	41	72,17	10,12	72,00	65,00	81,00	49,00	91,00
Mężczyźni	165	67,46	11,87	69,00	61,00	76,00	21,00	91,00
	<i>n</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>Med</i>	<i>Q1</i>	<i>Q3</i>	<i>Min.</i>	<i>Maks.</i>
Wiek w dniu 1. zabiegu, lata	206	68,40	11,67	69,00	61,25	76,00	21,00	91,00

Adnotacja. *n* – ilość obserwacji, *M* – średnia arytmetyczna, *SD* – odchylenie standardowe, *Med* – mediana, *Q1* – kwartył pierwszy, *Q3* – kwartył trzeci, *Min.* – minimum, *Maks.* – maksimum.

4.6. Angiografia tomografii komputerowej przed zabiegiem

Pierwszą częścią analizy statystycznej zebranych danych objęto badania przeprowadzone przed zabiegiem wewnątrznaczyniowego wszczepienia stentgraftu do aorty, w trakcie których przeprowadzono angiografię tomografii komputerowej.

Badanie angio-tk przed zabiegiem wewnątrznaczyniowego wszczepienia stentgraftu do aorty przeprowadzono u 143/206 (69%) pacjentów w grupie badawczej. Zdecydowanie najczęściej było to 1 badanie angio-tk (78%), znacznie rzadziej 2 badania (18%), pozostałe 5% stanowili pacjenci z 3 badaniami angio-tk przed wszczepieniem stentgraftu. Mediana długości obserwacji przed zabiegiem wszczepienia stentgraftu wynosiła 17,50 dni (*Q1*–*Q3*: 2,00–125,50 dni), tabele 6-7 (dla czasu obserwacji podana została mediana i *Q1*–*Q3* zamiast średniej *SD*).

Tabela 6. Liczba badań angio-tk przed zabiegiem wewnątrznacyniowego wszczepienia stentgraftu do aorty w grupie badawczej

Liczba badań angio-tk przed zabiegiem	<i>n</i>	% pacjentów
1 badanie	111	77,6%
2 badania	25	17,5%
3 badania	7	4,9%

**baza zawiera pacjentów z danymi przed zabiegiem (n=143), a nie wszystkie 206 osób*

Tabela 7. Statystyki opisowe dla długości obserwacji przed zabiegiem wewnątrznacyniowego wszczepienia stentgraftu do aorty w grupie badawczej

	<i>n</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>Med</i>	<i>Q1</i>	<i>Q3</i>	<i>Min.</i>	<i>Maks.</i>
Długość obserwacji, dni	140	166,81	398,60	17,50	2,00	125,50	0,00	2469,00

Adnotacja. n – ilość obserwacji, *M* – średnia arytmetyczna, *SD* – odchylenie standardowe, *Med* – mediana, *Q1* – kwartył pierwszy, *Q3* – kwartył trzeci, *Min.* – minimum, *Maks.* – maksimum.

Średnica tętniaka w grupie badawczej wynosiła średnio 63,13±18,32 mm i mieściła się w zakresie od 33 do 130 mm, tabela 8. Pod uwagę wzięto średnicę z ostatniego dostępnego badania angio-tk przed zabiegiem.

Tabela 8. Statystyki opisowe dla średnicy tętniaka przed zabiegiem wewnątrznaczyniowego wszczepienia stentgraftu do aorty w grupie badawczej

	<i>n</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>Med</i>	<i>Q1</i>	<i>Q3</i>	<i>Min.</i>	<i>Maks.</i>
Średnica tętniaka, mm	120	63,13	18,32	60,50	50,00	70,00	33,00	130,00

Adnotacja. *n* – ilość obserwacji, *M* – średnia arytmetyczna, *SD* – odchylenie standardowe, *Med* – mediana, *Q1* – kwartył pierwszy, *Q3* – kwartył trzeci, *Min.* – minimum, *Maks.* – maksimum.

Następnie przeanalizowano dawkę promieniowania, jaką otrzymali pacjenci podczas angiografii tomografii komputerowej przed zabiegiem wewnątrznaczyniowego wszczepienia stentgraftu do aorty oraz idący za nią wzrost ryzyka wystąpienia nowotworu.

W trakcie jednego badania angio-tk przed wszczepieniem stentgraftu pacjenci otrzymywali dawkę promieniowania o medianie 23,77 mSv (*Q1*–*Q3*: 17,76– 30,12 mSv).

Wiązał się z nią wzrost ryzyka nowotworu na poziomie o medianie 0,07% (*Q1*–*Q3*: 0,05– 0,11%). Maksymalny wzrost ryzyka nowotworu na pojedynczym badaniu w całej grupie badawczej wynosił 0,72%, tabela 9.

Tabela 9. Statystyki opisowe dla dawki promieniowania i wzrostu ryzyka nowotworu przed zabiegiem wewnątrznaczyniowego wszczepienia stentgraftu do aorty w grupie badawczej

	<i>n</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>Med</i>	<i>Q1</i>	<i>Q3</i>	<i>Min.</i>	<i>Maks.</i>
Dawka promieniowania, mSv	172	26,72	24,00	23,77	17,76	30,12	5,23	235,75
Wzrost ryzyka nowotworu, %	172	0,09	0,08	0,07	0,05	0,11	0,01	0,72

Adnotacja. *n* – ilość obserwacji, *M* – średnia arytmetyczna, *SD* – odchylenie standardowe, *Med* – mediana, *Q1* – kwartył pierwszy, *Q3* – kwartył trzeci, *Min.* – minimum, *Maks.* – maksimum. *Jednostka = 1 badanie

Porównanie średniego poziomu dawki promieniowania otrzymanej podczas poszczególnych badań angio-tk nie wskazuje na istotną statystycznie różnicę dawki w badaniu drugim i trzecim, w porównaniu do badania pierwszego, tabela 10.

Tabela 10. Porównanie średniej dawki promieniowania pomiędzy badaniami angio-tk przed zabiegiem wewnątrznaczyniowego wszczepienia stentgraftu do aorty w grupie badawczej

Badanie angio-tk	Dawka promieniowania, mSv	MD (95% CI) (vs. badanie 1)	<i>p</i> (vs. badanie 1)
1. badanie	24,32 (17,90;31,29)	-	-
2. badanie	23,44 (14,51;27,10)	-0,88 (-2,61; 4,59)	0,701
3. badanie	20,45 (18,97;28,21)	-3,87(-185,68;13,49)	0,688

Stwierdzono istnienie istotnej statystycznie dodatniej korelacji o umiarkowanej sile pomiędzy całkowitą dawką otrzymaną w trakcie diagnostyki przedoperacyjnej, a liczbą badań ($r_s = 0,48$, $p < 0,001$). Oznacza to, że im więcej badań przed operacją pacjenci mieli, tym wyższą łączną dawkę promieniowania przed zabiegiem otrzymywali.

W ostatnim kroku analizy zabiegów angio-tk przed wszczepieniem stentgraftu sprawdzono istnienie związku pomiędzy otrzymaną łączną dawką promieniowania przy angio-tk a średnicą tętniaka. Nie potwierdzono istotnej statystycznie korelacji między łączną dawką promieniowania podczas wszystkich przeprowadzonych badań angio-tk, przed wszczepieniem stentgraftu a średnicą tętniaka ($r_s = 0,03$, $p = 0,720$). Z uwagi na różną liczbę odbytych badań angio-tk u poszczególnych pacjentów wykonano analizę wrażliwości (sensitivity analysis) poprzez obliczenie korelacji pomiędzy poszczególnymi pojedynczymi badaniami angio-tk a średnicą tętniaka w trakcie danego badania. Przeprowadzona analiza również nie wskazuje na istotną korelację pomiędzy dawką promieniowania otrzymaną w poszczególnych zabiegach a średnicą tętniaka ($r_s = 0,08$, $p = 0,366$).

4.7. Zabieg wewnątrznaczyniowy wszczepienia stentgraftu do aorty

W badanej grupie 206 pacjentów przeprowadzono łącznie 225 zabiegów wewnątrznaczyniowego wszczepienia stentgraftu do aorty, od 1 do 3 zabiegów u jednego pacjenta. Trzy zabiegi przeprowadzono u 3 pacjentów (1,5% pacjentów), dwa zabiegi odbyły się u 20 pacjentów (10,0%), pozostałych 177 pacjentów (88,5%) miało jeden zabieg wszczepienia stentgraftu.

Ponad połowa pacjentów miała wszczepiony stentgraft w brzuszny odcinek aorty (64%), odcinek piersiowy dotyczył 23% pacjentów, zaś u pozostałych 13% osób stentgraft został wszczepiony w obu odcinkach aorty. Najczęstszym wskazaniem do zabiegu był tętniak (68% pacjentów), rzadziej rozwarstwienie (31%). Inne przyczyny, jak endoleak czy pęknięty tętniak dotyczyły pojedynczych osób, tabela 11.

Tabela 11. Charakterystyka zabiegów wewnątrznacyniowego wszczepienia stentgraftu w grupie badawczej

Zmienna	Wartość	<i>n</i>	% pacjentów
<i>N</i>		206	100,0%
Odcinek aorty	Piersiowa	48	23,3%
	Brzuszna	131	63,6%
	Obie	27	13,1%
Wskazania do zabiegu	Tętniak	131	67,9%
	Rozwarstwienie	59	30,6%
	Endoleak	2	1,0%
	Pęknięty tętniak	1	0,5%
Liczba zabiegów	1	177	88,5%
	2	20	10,0%
	3	3	1,5%

W przeprowadzonych zabiegach wewnątrznacyniowego wszczepienia stentgraftu do aorty najczęściej wykorzystywano stentgraft rozwidlony (33% zabiegów), piersiowy prosty (29%) lub brzuszny prosty (18%). Inne rodzaje stentgraftów były stosowane w nie więcej niż 10% przeprowadzonych zabiegów, każdy z nich, tabela 12.

Tabela 12. Rodzaje stentgraftów użytych w przeprowadzonych zabiegach

Rodzaj stentgraftu	<i>N</i>	% zabiegów
n	225	100,0%
piersiowy prosty	65	28,9%
brzuszny prosty	41	18,2%
rozwidlony	75	33,3%
unililac	22	9,8%
branch	13	5,8%
Iliac branch	3	1,3%
stent do odgałęzienia	4	1,8%
fenestracja	2	0,9%
hybrydowy (piersiowo- brzuszny)	1	0,4%
poprawa endoleak	1	0,4%

Czas trwania zabiegu wszczepienia stentgraftu miał medianę 75,00 minut (Q1–Q3: 55,00–123,75 minut), zaś czas fluoroskopii wynosił średnio 20,00 minut (Q1–Q3: 14,00–33,50 minut), tabela 13.

Tabela 13. Statystyki opisowe dla czasu świecenia fluoroskopii i czasu trwania zabiegu wewnątrznacyniowego wszczepienia stentgraftu do aorty w grupie badawczej

	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>Med</i>	<i>Q1</i>	<i>Q3</i>	<i>Min.</i>	<i>Maks.</i>
Czas zabiegu, min.	92,61	55,20	75,00	55,00	123,75	30,00	305,00
Czas fluoroskopii, min.	27,07	20,60	20,00	14,00	33,50	5,00	108,00

Adnotacja. *M* – średnia arytmetyczna, *SD* – odchylenie standardowe, *Med* – mediana, *Q1* – kwartył pierwszy, *Q3* – kwartył trzeci, *Min.* – minimum, *Maks.* – maksimum; jednostka = 1 zabieg.

5. Wyniki

5.1. Dawka promieniowania

Dawka promieniowania otrzymana podczas pojedynczego zabiegu wewnątrznaczyniowego wszczepienia stentgraftu miała medianę 10,60 mSv (Q1–Q3: 4,31–23,60 mSv). Niosła ze sobą wzrost ryzyka nowotworu na poziomie o medianie 0,03% (Q1–Q3: 0,01–0,07%). Maksymalny poziom wzrostu ryzyka nowotworu w trakcie zabiegu w analizowanej grupie 225 zabiegów wynosił 0,86%, tabela 14.

Tabela 14. Statystyki opisowe dla dawki promieniowania i wzrostu ryzyka nowotworu przy zabiegu wewnątrznaczyniowego wszczepienia stentgraftu do aorty w grupie badawczej

	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>Med.</i>	<i>Q1</i>	<i>Q3</i>	<i>Min.</i>	<i>Maks.</i>
Dawka promieniowania, mSv	26,72	24,00	23,77	17,76	30,12	5,23	235,75
Wzrost ryzyka nowotworu, %	0,09	0,08	0,07	0,05	0,11	0,01	0,72

Adnotacja. *M* – średnia arytmetyczna, *SD* – odchylenie standardowe, *Med* – mediana, *Q1* – kwartył pierwszy, *Q3* – kwartył trzeci, *Min.* – minimum, *Maks.* – maksimum; jednostka = zabieg.

Wśród pacjentów, którzy mieli przeprowadzone 2 zabiegi wszczepienia stentgraftu średni poziom dawki promieniowania otrzymanej w 2. zabiegu nie różnił się istotnie od zabiegu pierwszego, tabela 15.

Tabela 15. Porównanie średniej dawki promieniowania pomiędzy zabiegami wewnątrznaczyniowego wszczepienia stentgraftu do aorty w grupie badawczej

Badanie angio-tk	Dawka promieniowania, mSv	MD (95% CI) (vs. badanie 1)	<i>p</i> (vs. badanie 1)
1. badanie	24,32 (17,90;31,29)	-	-
2. badanie	23,44 (14,51;27,10)	-0,88 (-2,61; 4,59)	0,701
3. badanie	20,45 (18,97;28,21)	-3,87(-185,68;13,49)	0,688

Adnotacja. Dane przedstawione jako mediana (Q1;Q3). *MD* – różnica median z 95% poziomem ufności. Test Wilcoxona dla par.

Nie potwierdzono istotnego statystycznie związku pomiędzy całkowitą dawką otrzymaną w trakcie wszystkich zabiegów a liczbą zabiegów ($r_s = 0,09$, $p = 0,272$). Na brak istotności powyżej mogła mieć wpływ mała liczba pacjentów z 2 zabiegami (7 osób).

W kolejnym kroku przeprowadzonej analizy sprawdzono, czy czas trwania zabiegu lub czas fluoroskopii miały wpływ na otrzymaną w trakcie zabiegu dawkę promieniowania. Potwierdzono istnienie dodatniej, silnej korelacji otrzymanej przy zabiegu dawki promieniowania, zarówno z czasem zabiegu, jak i czasem fluoroskopii, tabela 16.

Tabela 16. Korelacja czasu trwania zabiegu i czasu fluoroskopii z dawką promieniowania przy zabiegu wewnątrznaczyniowego wszczepienia stentgraftu do aorty w grupie badawczej

Korelacja z dawką promieniowania	Współczynnik korelacji Spearmana r_s	<i>p</i>
Czas zabiegu	0,49	<0,001
Czas fluoroskopii	0,65	<0,001

Następnie przeanalizowano istnienie związku pomiędzy dawką promieniowania w czasie zabiegu wszczepienia stentgraftu a rodzajem wszczepionego stentgraftu. W analizie uwzględniono wyłącznie stentgrafty, które były użyte w minimum 5 zabiegach: piersiowy prosty, brzuszny prosty, rozwidlony, uniliac, branch. Pozostałe rodzaje stentgraftów wyłączono z analizy. Podsumowanie podstawowych statystyk opisowych dla dawki promieniowania względem rodzaju stentgraftu przedstawia tabela 17.

Tabela 17. Statystyki opisowe dla dawki promieniowania przy zabiegu wewnątrznaczyniowego wszczepienia stentgraftu do aorty względem rodzaju stentgraftu w grupie badawczej

Dawka promieniowania, mSv	<i>n</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>Med</i>	<i>Q1</i>	<i>Q3</i>	<i>Min.</i>	<i>Maks.</i>
piersiowy prosty	51	11,86	11,15	9,03	4,10	14,09	0,04	54,68
brzuszny prosty	35	7,37	7,07	4,25	3,02	8,50	1,06	28,29
rozwidlony	63	22,03	25,17	13,15	5,64	27,98	0,86	134,82
unililac	20	22,02	25,24	11,69	5,95	30,48	0,86	105,45
branch	9	65,20	60,88	38,87	31,90	77,10	12,48	205,01

Adnotacja. *n* – ilość obserwacji, *M* – średnia arytmetyczna, *SD* – odchylenie standardowe, *Med* – mediana, *Q1* – kwartył pierwszy, *Q3* – kwartył trzeci, *Min.* – minimum, *Maks.* – maksimum.

Potwierdzono istotną statystycznie różnicę w średniej dawce promieniowania otrzymanej w trakcie zabiegu w zależności od użytego stentgraftu ($p < 0,001$). Test *post-hoc* wykazał, że dla stentgraftu typu branch dawka promieniowania była najwyższa, istotnie różna od wszystkich pozostałych rodzajów stentgraftów. Dodatkowo, przy wszczepieniu stentgraftu brzuszno prostego dawka promieniowania była najniższa, istotnie niższa niż dla stentgraftu rozwidlonego, uniliac czy branch, tabela 18.

Tabela 18. Porównanie dawki promieniowania przy zabiegu wewnątrznaczyniowego wszczepienia stentgraftu do aorty względem rodzaju stentgraftu w grupie badawczej

Rodzaj stentgraftu	<i>n</i>	Dawka promieniowania, mSv	<i>p</i>
piersiowy prosty	51	9,03 (4,10;14,09) ^d	
brzuszny prosty	35	4,25 (3,02;8,50) ^{cef}	
rozwidlony	63	13,15 (5,64;27,98) ^{bf}	<0,001
unililac	20	11,69 (5,95;30,48) ^{ae}	
branch	9	38,87 (31,90;77,10) ^{abcd}	

Adnotacja. Dane przedstawione jako mediana (Q1;Q3). Test Kruskala-Wallisa z testem *post-hoc* Dunna. *a-f*: istotne statystycznie różnice w teście *post-hoc* Dunna (*a*: $p = 0,030$, *b*: $p = 0,024$, *c*: $p < 0,001$, *d*: $p < 0,001$, *e*: $p = 0,032$, *f*: $p < 0,001$).

5.2. Powikłania

Ostatnia część analizy okresu przeprowadzenia zabiegu wewnątrznaczyniowego wszczepienia stentgraftu do aorty objęła powikłania w trakcie zabiegów. W zdecydowanej większości zabiegów nie wystąpiły żadne powikłania (86% zabiegów). Jeśli powikłania się pojawiały, był to przede wszystkim zaciek (10% zabiegów). Inne powikłania (poszerzenie, krwawienie, niedrożność tętnic nerkowych, zła pozycja stentgraftu, powikłania miejsca dostępu) dotyczyły nie więcej niż 2% zabiegów, każde z nich. Zgon pacjenta miał miejsce w dwóch przypadkach, tabela 19.

Tabela 19. Powikłania przy zabiegu wewnątrznaczyniowego wszczepienia stentgraftu w grupie badawczej

Powikłania przy zabiegu	<i>N</i>	% zabiegów
N	207	100,0%
brak	177	85,5%
krwawienie	1	0,5%
zaciek	21	10,1%
zakażenie	-	-
wykrzepienie w stentgrafcie	-	-
niedrożność tętnic nerkowych/ej	3	1,4%
zła pozycja stentgraftu	2	1,0%
powikłania miejsca dostępu	4	1,9%
zgon	2	1,0%

Nie stwierdzono istotnej statystycznie różnicy w średnicy tętniaka pomiędzy pacjentami z powikłaniami i bez powikłań w trakcie wszczepienia stentgraftu, tabela 20.

Tabela 20. Porównanie średniej średnicy tętniaka u pacjentów z powikłaniami i bez powikłań przy zabiegu wewnątrznaczyniowego wszczepienia stentgraftu do aorty w grupie badawczej

	Pacjenci bez powikłań	Pacjenci z powikłaniami	<i>MD (95% CI)</i>	<i>p</i>
Średnica tętniaka, mm	62,13±16,95	64,54±26,52	-2,41 (-22,18;4,80)	0,193

Adnotacja. Dane przedstawione jako średnia arytmetyczna ± *SD*. *MD* – różnica średnich z 95% poziomem ufności. Test t-studenta.

Sprawdzono również, czy istnieje związek pomiędzy wystąpieniem powikłań przy zabiegu wszczepienia stentgraftu a rodzajem stentgraftu. Najwięcej powikłań wystąpiło przy wszczepieniu stentgraftu typu branch (40%) oraz unililac (30%). Dla najbardziej popularnych stentgraftów odsetek powikłań wynosił: stentgraft rozwidlony – 16%, stentgraft piersiowy prosty – 11%, stentgraft brzuszny prosty – 5%. Potwierdzono, że w zabiegach wykorzystujących stentgraft branch odsetek powikłań był istotnie wyższy niż w pozostałych zabiegach ($p = 0,043$). Dla innych rodzajów stentgraftu nie potwierdzono istotnej zależności z wystąpieniem powikłań. Zwraca uwagę fakt, że w przypadku zabiegów ze stentgraftem brzuszny prostym różnica w odsetku powikłań vs. inne zabiegi jest bliska poziomowi istotności ($p = 0,078$), tabela 21.

Tabela 21. Częstość powikłań przy zabiegu wewnątrznaczyniowego wszczepienia stentgraftu względem rodzaju stentgraftu w grupie badawczej

Rodzaj stentgraftu	Brak powikłań		Powikłania		<i>p</i>
	<i>n</i>	% zabiegów z danym stentgraftem	<i>n</i>	% zabiegów z danym stentgraftem	
piersiowy prosty	55	88,7%	7	11,3%	0,475
brzuszny prosty	38	95,0%	2	5,0%	0,078
rozwidlony	60	84,5%	11	15,5%	0,998
unililac	14	70,0%	6	30,0%	0,091
branch	6	60,0%	4	40,0%	0,043
iliac branch	3	100,0%	0	0,0%	>0,999

Adnotacja: Test chi-kwadrat lub dokładny test Fishera.

5.3. Kontrola pooperacyjna

Kolejna część analizy objęła okres po przeprowadzeniu zabiegu wewnątrznaczyniowego wszczepienia stentgraftu. W badanej grupie u 122/206 (59%) pacjentów prowadzona była kontrola pooperacyjna. Przeprowadzono łącznie 341 badań kontrolnych po wszczepieniu stentgraftu, od 0 do 8 badań u jednego pacjenta. Mediana czasu kontroli pooperacyjnej wynosiła 11,5 miesiąca (Q1–Q3: 4,00–38,50 miesięcy), tabela 23. Największy spadek liczby pacjentów poddawanych kontroli następował w pierwszych miesiącach po operacji. Rozkład liczby badań kontrolnych po zabiegu przedstawia tabela 22, a wizualną prezentację krzywej przeżycia dla czasu trwania kontroli pooperacyjnej z 95% poziomem ufności – rycina 4.

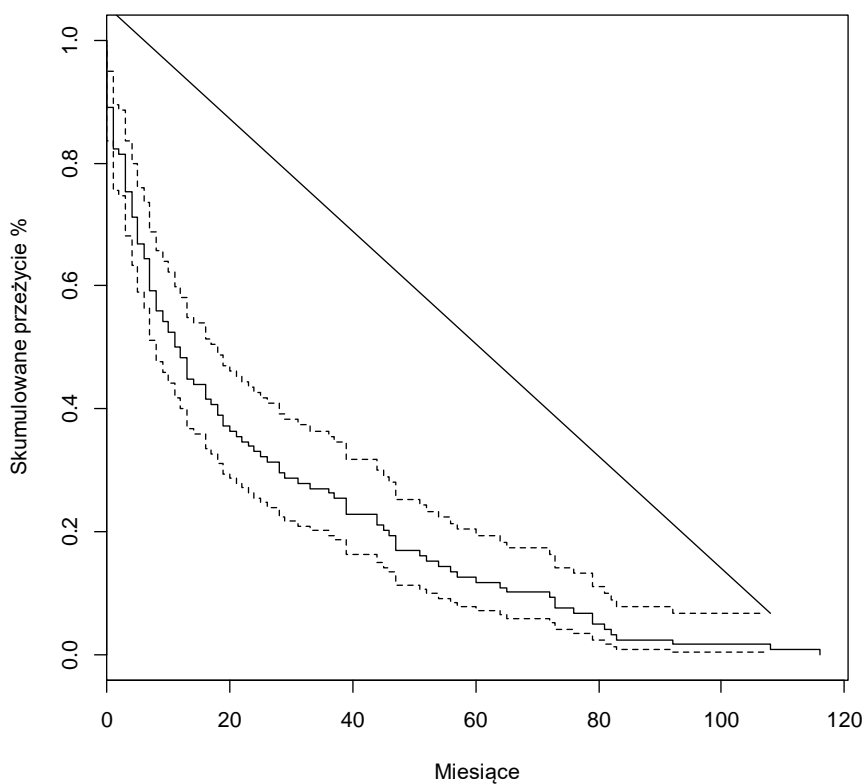
Tabela 22. Rozkład liczby badań kontrolnych po zabiegu wewnątrznaczyniowego wszczepienia stentgraftu do aorty w grupie badawczej

Liczba badań follow-up	<i>N</i>	% pacjentów
1	41	33,6%
2	28	23,0%
3	19	15,6%
4	8	6,6%
5	13	10,7%
6	4	3,3%
7	6	4,9%
8	3	2,5%

Tabela 23. Statystyki opisowe dla długości kontroli po zabiegu wewnątrznaczyniowego wszczepienia stentgraftu do aorty w grupie badawczej

	<i>n</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>Med</i>	<i>Q1</i>	<i>Q3</i>	<i>Min.</i>	<i>Maks.</i>
Liczba follow-up	206	1,66	2,03	1,00	0,00	3,00	0,00	8,00
Czas follow-up, miesiące	118	23,40	26,97	11,50	4,00	38,50	0,00	116,00

Adnotacja. *n* – ilość obserwacji, *M* – średnia arytmetyczna, *SD* – odchylenie standardowe, *Med* – mediana, *Q1* – kwartył pierwszy, *Q3* – kwartył trzeci, *Min.* – minimum, *Maks.* – maksimum.



Rycina 4. Krzywa przeżycia Kaplana-Meyera dla czasu trwania kontroli po zabiegu wewnątrznaczyniowego wszczepienia stentgraftu

Następnie sprawdzono, jak często były przeprowadzane poszczególne badania kontrolne. Mediana czasu pierwszych 4 badań po zabiegu wszczepienia stentgraftu wynosiła 3-8-8-12 miesięcy, kolejne badania odbywały się z częstotliwością o medianie od 6 do 9 miesięcy, tabela 24.

Tabela 24. Częstość badań kontrolnych po zabiegu wewnątrznaczyniowego wszczepienia stentgraftu do aorty w grupie badawczej

Częstość badań kontrolnych, miesiące	<i>n</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>Med</i>	<i>Q1</i>	<i>Q3</i>	<i>Min.</i>	<i>Maks.</i>
0 a 1 badanie	111	5,23	9,28	3,00	0,00	5,50	0,00	75,00
1 a 2 badanie	81	11,27	15,99	8,00	3,00	13,00	0,00	116,00
2 a 3 badanie	52	12,40	15,15	8,00	4,75	14,25	0,00	74,00
3 a 4 badanie	34	12,82	9,62	12,00	6,00	17,50	0,00	41,00
4 a 5 badanie	26	12,12	10,24	9,00	4,00	18,00	0,00	39,00
5 a 6 badanie	13	8,92	6,80	9,00	5,00	12,00	0,00	25,00
6 a 7 badanie	9	7,33	5,85	6,00	5,00	8,00	0,00	20,00

Adnotacja. *n* – ilość obserwacji, *M* – średnia arytmetyczna, *SD* – odchylenie standardowe, *Med* – mediana, *Q1* – kwartył pierwszy, *Q3* – kwartył trzeci, *Min.* – minimum, *Maks.* – maksimum.

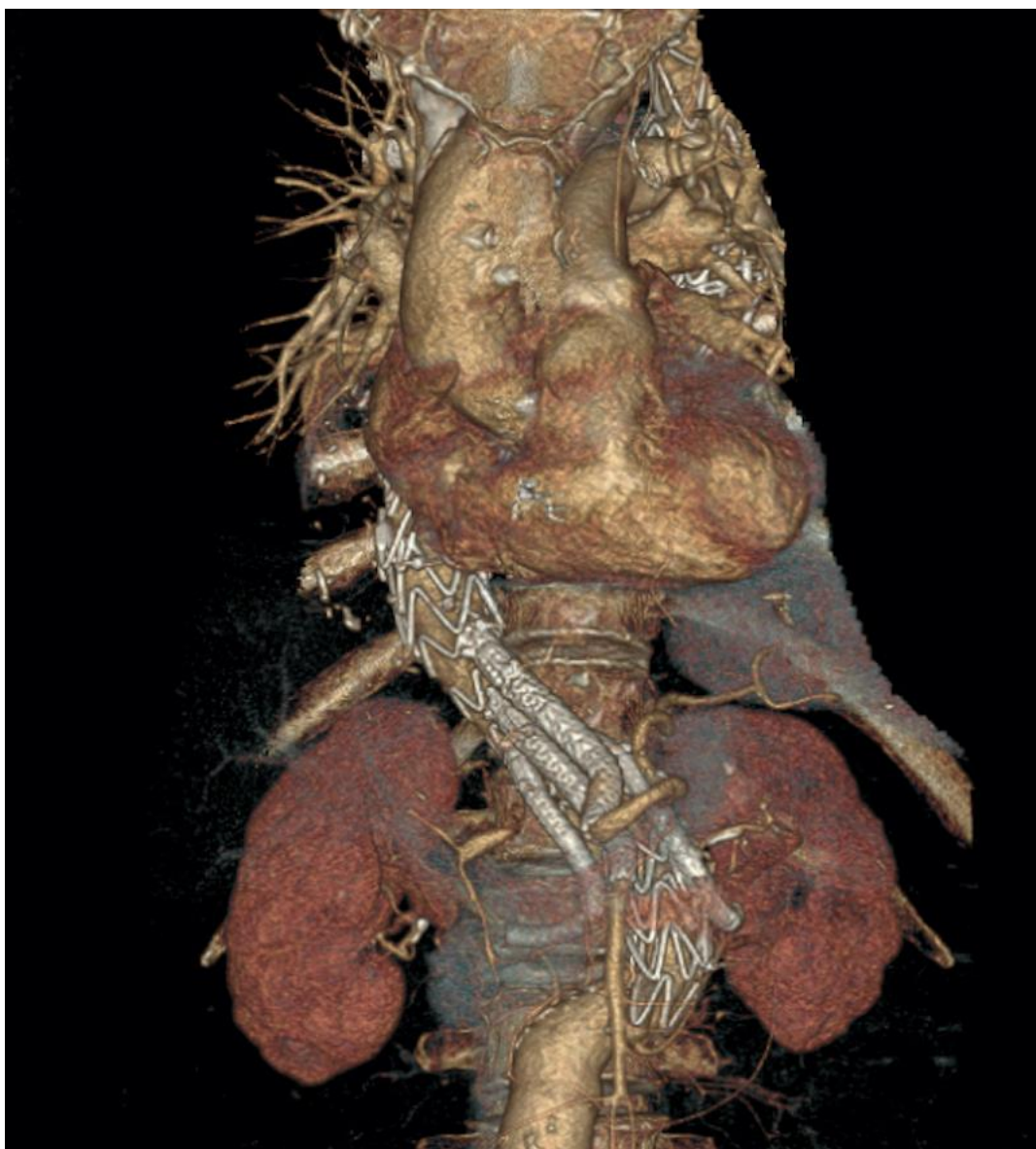
Z uwagi na różną liczbę odbytych badań kontrolnych w okresie pooperacyjnym, u poszczególnych pacjentów wykonano analizę wrażliwości poprzez sprawdzenie częstości przeprowadzania poszczególnych badań pacjentów w grupie pacjentów o minimum 4 badaniach kontrolnych. Przeprowadzona analiza prowadzi do podobnych wniosków – mediana czasu pierwszych 4 badań po zabiegu wszczepienia stentgraftu wynosiła 3-9-9-12 miesięcy, tabela 25.

Tabela 25. Częstość badań kontrolnych po zabiegu wewnątrznaczyniowego wszczepienia stentgraftu do aorty dla pacjentów o minimum 4 badaniach kontrolnych w grupie badawczej

Częstość badań kontrolnych, miesiące	<i>n</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>Med</i>	<i>Q1</i>	<i>Q3</i>	<i>Min.</i>	<i>Maks.</i>
0 a 1 badanie	28	4,11	5,78	3,00	0,75	5,00	0,00	30,00
1 a 2 badanie	34	10,74	8,95	9,00	5,00	13,00	0,00	40,00
2 a 3 badanie	33	12,18	13,71	9,00	5,00	14,00	0,00	72,00
3 a 4 badanie	34	12,82	9,62	12,00	6,00	17,50	0,00	41,00

Adnotacja. *n* – ilość obserwacji, *M* – średnia arytmetyczna, *SD* – odchylenie standardowe, *Med* – mediana, *Q1* – kwartył pierwszy, *Q3* – kwartył trzeci, *Min.* – minimum, *Maks.* – maksimum.

W trakcie jednego badania kontrolnego po operacji pacjenci otrzymywali dawkę promieniowania o medianie 24,05 mSv (*Q1*–*Q3*: 17,26– 29,89 mSv). Wiązał się z nią wzrost ryzyka nowotworu na poziomie o medianie 0,07% (*Q1*–*Q3*: 0,05– 0,11%). Maksymalny wzrost ryzyka nowotworu na pojedynczym badaniu kontrolnym po wszczepieniu stentgraftu w całej grupie badawczej wynosił 1,57%, tabela 26.



**Rycina 5. Badanie kontrolne po zabiegu wszczepienia stentgraftu aortalnego typu
branch**

Tabela 26. Statystyki opisowe dla dawki promieniowania i wzrostu ryzyka nowotworu w trakcie kontroli po zabiegu wewnątrznaczyniowego wszczepienia stentgraftu do aorty w grupie badawczej

	<i>n</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>Med</i>	<i>Q1</i>	<i>Q3</i>	<i>Min.</i>	<i>Maks.</i>
Dawka promieniowania, mSv	276	27,04	26,83	24,05	17,26	29,89	5,54	419,96
Wzrost ryzyka nowotworu, %	267	0,09	0,11	0,07	0,05	0,11	0,01	1,57

Adnotacja. *n* – ilość obserwacji, *M* – średnia arytmetyczna, *SD* – odchylenie standardowe, *Med* – mediana, *Q1* – kwartył pierwszy, *Q3* – kwartył trzeci, *Min.* – minimum, *Maks.* – maksimum; jednostka = badanie.

Porównanie średniego poziomu dawki promieniowania otrzymanej na poszczególnych badaniach kontrolnych pooperacyjnych nie wskazuje na istotną statystycznie różnicę dawki na kolejnych badaniach w porównaniu do badania pierwszego, tabela 27.

Tabela 27. Porównanie średniej dawki promieniowania pomiędzy badaniami w trakcie kontroli po zabiegu wewnątrznaczyniowego wszczepienia stentgraftu do aorty w grupie badawczej

Badanie follow-up	Dawka promieniowania, mSv	<i>MD</i> (95 % <i>CI</i>) (vs. badanie 1)	<i>P</i> (vs. badanie 1)
1	24,57 (18,35;30,54)	-	-
2	21,25 (14,21;29,90)	3,32 (-0,92;5,03)	0,223
3	24,02 (16,90;29,38)	0,55 (-3,42;6,52)	0,420
4	21,59 (17,51;29,18)	2,98 (-8,34;7,99)	0,833
5	24,20 (20,00;33,04)	0,37 (-10,73;10,89)	0,984
6	23,19 (18,85;27,40)	1,38 (-7,24;181,46)	0,465
7	24,92 (24,59;26,27)	-0,35 (-9,68;379,02)	0,500

Adnotacja. Dane przedstawione jako mediana (*Q1*;*Q3*). *MD* – różnica median z 95% poziomem ufności. Test Wilcoxon dla par.

Stwierdzono istnienie istotnej statystycznie bardzo silnej dodatniej korelacji pomiędzy całkowitą dawką otrzymaną w trakcie kontroli pooperacyjnej a liczbą badań, $r_s = 0,86$, $p < 0,001$. Oznacza to, że im więcej badań kontrolnych mieli wykonanych pacjenci, tym wyższą łączną dawkę promieniowania otrzymywali w trakcie kontroli pooperacyjnej.

Kolejną częścią analizy objęto powikłania w trakcie obserwacji pooperacyjnej. Powikłania odnotowano u 53% pacjentów. Zdecydowanie najczęstszym powikłaniem był zaciek (36% pacjentów), rzadziej pojawiało się poszerzenie jamy tętniaka (11%), rozwarstwienie (6%), zgięcie stentu (5%) czy wykrzepienie w stentgrafcie (4%). Inne powikłania występowały u nie więcej niż 4 pacjentów, tabela 28.

Tabela 28. Powikłania w trakcie kontroli po zabiegu wewnątrznaczyniowego wszczepienia stentgraftu do aorty w grupie badawczej

Rodzaj powikłania	<i>n</i>	% pacjentów
brak powikłań	58	47,5%
poszerzenie worka tętniaka	13	10,7%
krwawienie	4	3,3%
zaciek	44	36,1%
zakażenie w obrębie tętniaka	3	2,5%
wykrzepienie w stentgrafcie	5	4,1%
niedrożność tętnic nerkowych	1	0,8%
rozwarstwienie	7	5,7%
tętniak rzekomy	1	0,8%
zgięcie stentgraftu	6	4,9%
owrzodzenie	1	0,8%

Wyniki

zwężenie światła stentgraftu	3	2,5%
przetoka aortalno-czcza	2	1,6%
drożny kanał rzekomy	2	1,6%

Nie stwierdzono istotnej statystycznie różnicy w średnim wieku pacjentów z powikłaniami i bez powikłań. Tym samym nie znaleziono podstaw do stwierdzenia, że wystąpienie powikłań pooperacyjnych zależy od wieku pacjentów, tabela 29.

Tabela 29. Porównanie wieku pacjentów z powikłaniami i bez w trakcie kontroli po zabiegu wewnątrznaczyniowego wszczepienia stentgraftu do aorty w grupie badawczej

	Pacjenci bez powikłań	Pacjenci z powikłaniami	<i>MD (95% CI)</i>	<i>p</i>
Wiek w dniu zabiegu, lata	69,24±12,52	68,02±10,61	0,22 (-2,96; 5,41)	0,563

Nie stwierdzono również istotnej statystycznie różnicy w średnicy tętniaka pacjentów z powikłaniami i bez powikłań, co nie daje podstaw do stwierdzenia, że wystąpienie powikłań pooperacyjnych zależy od średnicy tętniaka, tabela 30.

Tabela 30. Porównanie średnicy tętniaka pacjentów z powikłaniami i bez w trakcie kontroli po zabiegu wewnątrznaczyniowego wszczepienia stentgraftu do aorty w grupie badawczej

	Pacjenci bez powikłań	Pacjenci z powikłaniami	<i>MD (95% CI)</i>	<i>p</i>
Średnica tętniaka, mm	62,35±18,30	61,90±16,29	0,45 (-7,03; 7,92)	0,906

Kolejny aspekt dotyczył analizy powikłań w okresie pooperacyjnym, a dokładnie czy pojawiają się one od razu, czy też mogą występować z opóźnieniem. Czas wystąpienia pierwszych powikłań w trakcie kontroli po wszczepieniu stentgraftu miał medianę 6,50 miesiący (Q1–Q3: 5,00– 36,25 miesiący), i mieścił się w zakresie od 0 do 73 miesiący, tabela 31.

Tabela 31. Statystyki opisowe dla czasu pierwszych powikłań w trakcie kontroli po zabiegu wewnątrznaczyniowego wszczepienia stentgraftu do aorty w grupie badawczej

	<i>n</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>Med</i>	<i>Q1</i>	<i>Q3</i>	<i>Min.</i>	<i>Maks.</i>
Wystąpienie pierwszych powikłań, miesiące	20	20,05	22,53	6,50	5,00	36,25	0,00	73,00

Adnotacja. *n* – ilość obserwacji, *M* – średnia arytmetyczna, *SD* – odchylenie standardowe, *Med* – mediana, *Q1* – kwartył pierwszy, *Q3* – kwartył trzeci, *Min.* – minimum, *Maks.* – maksimum.

Powikłania, które pojawiły się z opóźnieniem (tzn. nie wystąpiły na pierwszym badaniu kontrolnym po operacji, a wystąpiły na badaniach kolejnych) dotyczyły 20 pacjentów. Szczegółową charakterystykę rodzaju powikłań opóźnionych i momentu ich wystąpienia przedstawia tabela 32.

Tabela 32. Charakterystyka powikłań pojawiających się z opóźnieniem po zabiegu wewnątrznaczyniowego wszczepienia stentgraftu do aorty w grupie badawczej

Nr pacjenta	Czas wystąpienia powikłań od zabiegu, miesiące	Rodzaj powikłania
Pacjent 1	5	Zaciek
Pacjent 2	37	Zgięcie stentgraftu
Pacjent 3	7	Zaciek
Pacjent 4	6	Zaciek
Pacjent 5	2	Zaciek

Wyniki

Pacjent 6	5	Rozwarstwienie aorty
Pacjent 7	40	Zgięcie stentu
Pacjent 8	73	Poszerzenie worka tętniaka
Pacjent 9	47	Zaciek
Pacjent 10	36	Zaciek
Pacjent 11	5	Poszerzenie worka tętniaka, Zaciek
Pacjent 12	4	Zaciek
Pacjent 13	16	Poszerzenie (16 miesięcy) Zaciek (29 miesięcy) Zakażenie (6 miesięcy)
Pacjent 14	6	Wykrzepienie, Niedrożność tętnic nerkowych, Rozwarstwienie (8 miesięcy)
Pacjent 15	7	Poszerzenie worka tętniaka (7 miesięcy) Zaciek (29 miesięcy)
Pacjent 16	20	Poszerzenie worka tętniaka, Zaciek
Pacjent 17	5	Zaciek (5 miesięcy) Wykrzepienie w świetle stentgraftu (31 miesięcy)
Pacjent 18	19	Poszerzenie, Zgięcie stentgraftu (19 miesięcy) Zwężenie światła stentgraftu (47 miesięcy)
Pacjent 19	68	Zaciek
Pacjent 20	5	Zaciek

W ostatnim kroku analizy obserwacji pooperacyjnej sprawdzono, czy dawka promieniowania różni się pomiędzy pacjentami z powikłaniami i bez nich. Nie potwierdzono istotnej statystycznie różnicy w średniej dawce promieniowania/badania pomiędzy obiema grupami, tabela 33.

Tabela 33. Porównanie średniej dawki promieniowania w badaniu u pacjentów z powikłaniami i bez w trakcie kontroli po zabiegu wewnątrznaczyniowego wszczepienia stentgraftu do aorty w grupie badawczej

	Pacjenci bez powikłań	Pacjenci z powikłaniami	MD (95% CI)	p
Dawka promieniowania, mSv	22,84 (18,37;26,95)	22,86 (16,86;28,23)	-0,04 (-3,29;2,62)	0,832

Adnotacja. Dane przedstawione jako mediana (Q1–Q3). *MD* – różnica median z 95% poziomem ufności. Test U Manna-Whitneya.

5.4. Całkowita dawka promieniowania i wzrost ryzyka nowotworu

Ostatnia część analizy objęła całkowitą dawkę promieniowania związaną z zabiegiem wewnątrznaczyniowego wszczepienia stentgraftu do aorty, czyli łączną dawkę otrzymaną w trakcie diagnostyki przed zabiegiem, w trakcie samego zabiegu, jak i w trakcie kontroli pooperacyjnej. Obok całkowitej dawki promieniowania obliczono idący za nią wzrost ryzyka wystąpienia nowotworu. Należy zwrócić uwagę, że różni pacjenci mieli różną liczbę badań wykonanych w trakcie diagnostyki przed- i pooperacyjnej, co ma przełożenie na całkowite dawki promieniowania poszczególnych pacjentów.

Całkowita dawka promieniowania w grupie badawczej miała medianę 60,22 mSv (Q1–Q3: 25,76–111,20 mSv), co oznacza, że połowa pacjentów otrzymała całkowitą dawkę promieniowania od 25,76 mSv do 111,20 mSv. Maksymalna dawka całkowita otrzymana w badanej grupie wynosiła 637 mSv, tabela 34.

Tabela 34. Statystyki opisowe dla całkowitej dawki promieniowania związanej z zabiegiem wewnątrznacyniowego wszczepienia stentgraftu do aorty w grupie badawczej

Całkowita dawka promieniowania, mSv	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>Med</i>	Q1	Q3	Min.	Maks.
Przed zabiegiem	33,94	32,97	27,33	20,25	37,19	5,23	312,91
W trakcie zabiegu	21,36	27,49	11,57	4,93	26,71	0,86	205,01
Po zabiegu	68,30	67,17	50,16	23,71	84,18	7,03	560,82
Dawka całkowita	80,01	78,70	60,22	25,76	111,20	1,06	637,00

Adnotacja. *M* – średnia arytmetyczna, *SD* – odchylenie standardowe, *Med* – mediana, *Q1* – kwartył pierwszy, *Q3* – kwartył trzeci, *Min.* – minimum, *Maks.* – maksimum.

Całkowity wzrost ryzyka nowotworu u pacjentów w grupie badawczej miał medianę 0,18% (*Q1*–*Q3*: 0,07–0,35%), co oznacza, że u połowy pacjentów ryzyko nowotworu z uwagi na zabieg wszczepienia stentgraftu wraz ze wszystkimi badaniami towarzyszącymi rosło o 0,07–0,35%. Maksymalny odnotowany wzrost ryzyka nowotworu z powodu wszczepienia stentgraftu w badanej grupie wynosił 2,35%, tabela 35.

Tabela 35. Statystyki opisowe dla całkowitego wzrostu ryzyka nowotworu związanego z zabiegiem wewnątrznacyniowego wszczepienia stentgraftu do aorty w grupie badawczej

Łączny wzrost ryzyka nowotworu, %	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>Med</i>	Q1	Q3	Min.	Maks.
Przed zabiegiem	0,11	0,11	0,09	0,05	0,13	0,01	0,97
W trakcie zabiegu	0,07	0,10	0,03	0,02	0,08	0,00	0,86
Po zabiegu	0,24	0,28	0,16	0,08	0,29	0,02	2,05
Wzrost całkowity	0,28	0,31	0,18	0,07	0,35	0,00	2,35

Adnotacja. *M* – średnia arytmetyczna, *SD* – odchylenie standardowe, *Med* – mediana, *Q1* – kwartył pierwszy, *Q3* – kwartył trzeci, *Min.* – minimum, *Maks.* – maksimum.

Porównanie dawki promieniowania otrzymanej w trakcie zabiegu do całkowitej otrzymanej dawki z uwzględnieniem badań przed zabiegiem, jak i po zabiegu wskazuje, że połowa osób poddanych zabiegowi otrzymała w trakcie zabiegu mniej niż 2,7% całkowitej dawki, zaś połowa osób więcej niż 2,7% całkowitej dawki. Widoczne jest znaczne zróżnicowanie odsetka dawki otrzymanej w trakcie zabiegu w odniesieniu do całkowitej dawki (rozstęp międzykwartkowy: 0,43%-94,87%), tabela 36.

Tabela 36. Dawka promieniowania w trakcie zabiegu wewnątrznaczyniowego jako % całkowitej dawki promieniowania otrzymanej przez pacjenta

	<i>n</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>Med</i>	Q1	Q3	Min.	Maks.
% całkowitej dawki	167	33,21%	42,51%	2,70%	0,43%	94,87%	0,04%	100%

Sprawdzono średni poziom dawki promieniowania otrzymanej w trakcie zabiegu względem wystąpienia powikłań okołoperacyjnych. Potwierdzono istotną statystycznie różnicę w otrzymanej dawce promieniowania w trakcie operacji pomiędzy obiema grupami z niższym poziomem dla pacjentów bez powikłań, $MD = -10,80$, $CI_{95} [-15,98; -2,57]$, $p = 0,008$. Nie stwierdzono z kolei istotnej statystycznie różnicy w dawce promieniowania w trakcie kontroli pooperacyjnej pomiędzy pacjentami z powikłaniami i bez powikłań w trakcie wszczepienia stentgraftu, tabela 37.

Tabela 37. Porównanie średniej dawki promieniowania u pacjentów z powikłaniami i bez powikłań przy zabiegu wewnątrznacyniowego wszczepienia stentgraftu do aorty w grupie badawczej

	Pacjenci bez powikłań	Pacjenci z powikłaniami	MD (95% CI)	p
Dawka promieniowania w trakcie zabiegu, mSv	10,05 (4,33;22,91)	20,85 (12,06;39,60)	-10,80 (-15,98; -2,57)	0,008
Dawka promieniowania po zabiegu, mSv	50,88 (23,23;84,23)	49,44 (26,47;82,46)	1,44 (-19,36; 16,53)	0,794

Adnotacja. Dane przedstawione jako mediana (Q1–Q3). MD – różnica median z 95% poziomem ufności. Test U Manna-Whitneya.

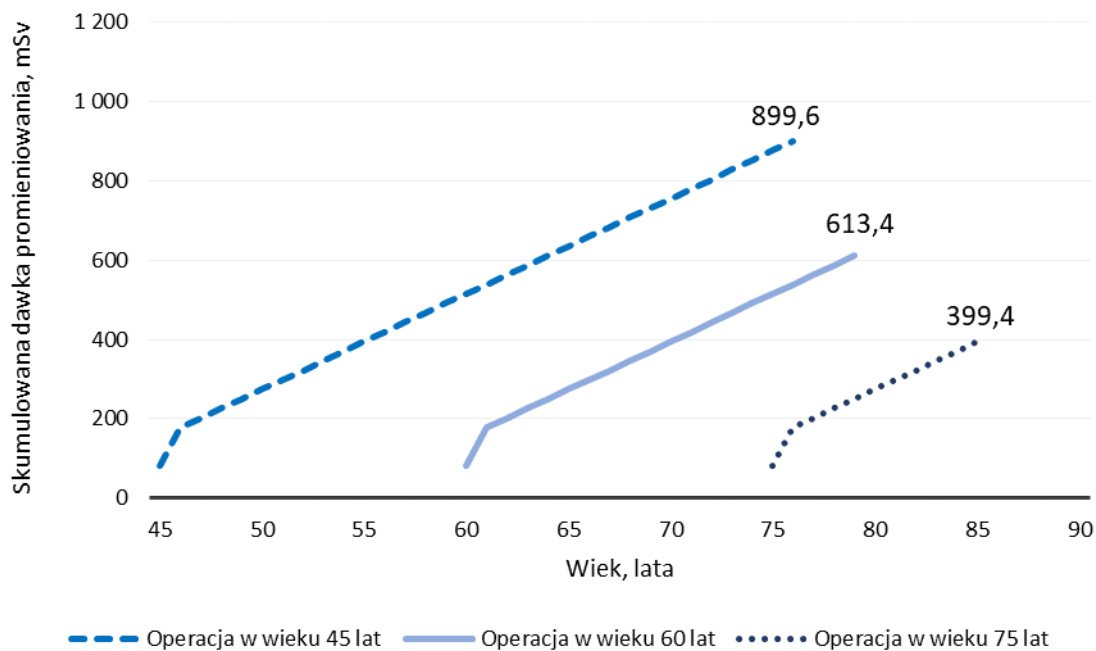
Z uwagi na różną liczbę odbytych badań w ramach diagnostyki przed- i pooperacyjnej w grupie badawczej wykonano symulację łącznej życiowej dawki promieniowania dla pacjentów w różnym wieku. Dawki promieniowania dla badań przed zabiegiem, w trakcie zabiegu i po zabiegu przyjęto według median dla pojedynczych badań z przeprowadzonej wcześniej analizy. W symulacji założono również że, przed zabiegiem przeprowadzone byłyby 3 badania diagnostyczne, a kontrolna pooperacyjna przebiegałaby według schematu 1-3-6-12 miesięcy i potem co 12 miesięcy. W analizie uwzględniono przeciętne dalsze trwanie życia dla kobiet i mężczyzn wg danych GUS za 2018 rok. Wyniki symulacji dawki promieniowania przedstawia tabela 38, a ich wizualną prezentację ryciny 6-7.

W przypadku mężczyzn, przy operacji przeprowadzonej w wieku 45 lat, całkowita życiowa dawka promieniowania wynosiłaby 899,6 mSv, u kobiet byłoby to 1060,7 mSv. Operacja przeprowadzona u 60-latków niosłaby za sobą całkowitą życiową dawkę promieniowania na poziomie 613,4 mSv u mężczyzn i 736,1 mSv u kobiet. Z kolei 75-latkowie poddani zabiegowi wszczepienia stentgraftu byłiby wystawieni na łączne życiowe promieniowanie 399,4 mSv w przypadku mężczyzn i 459,5 mSv dla kobiet.

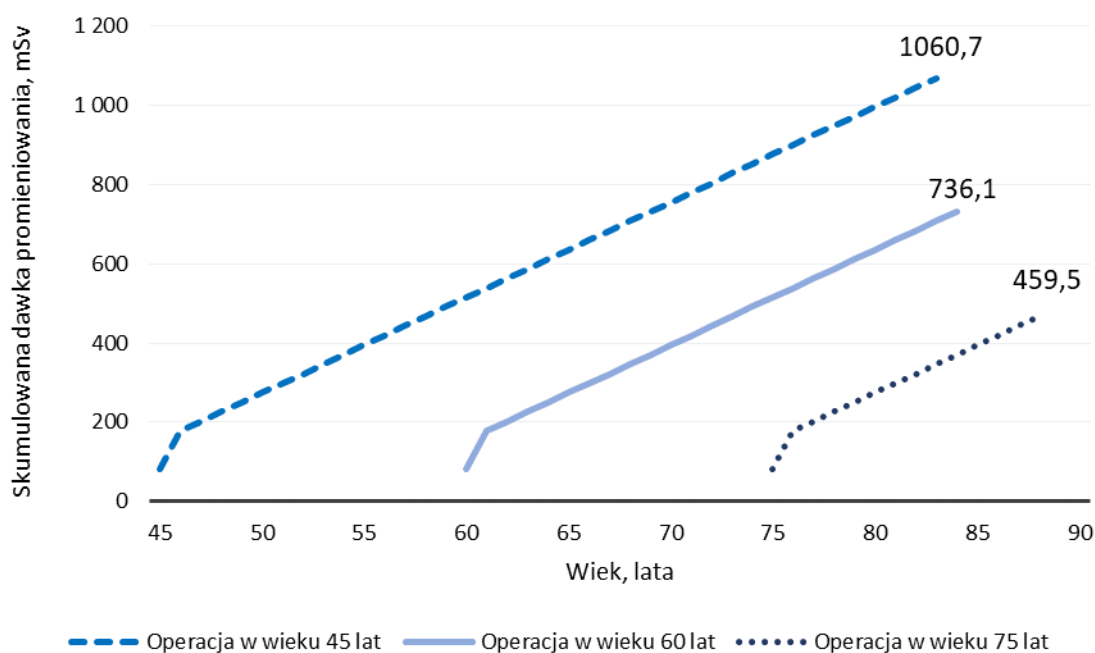
Tabela 38. Symulacja całkowitej życiowej dawki promieniowania związanej z zabiegiem wewnątrznaczyniowego wszczepienia stentgraftu do aorty w zależności od wieku przeprowadzenia zabiegu

Mężczyzna			
Wiek zabiegu, lata	45	60	75
Przeciętne dalsze trwanie życia, lata*	31	19	10
Ilość badań przed zabiegiem	3	3	3
Ilość badań po zabiegu (schemat 1-3-6-12 mies. + co 12 mies.)	34	22	13
Łączna dawka promieniowania przed zabiegiem, mSv	71,3	71,3	71,3
Łączna dawka promieniowania w trakcie zabiegu, mSv	10,6	10,6	10,6
Łączna dawka promieniowania po zabiegu, mSv	817,7	531,5	317,5
Całkowita życiowa dawka promieniowania, mSv	899,6	613,4	399,4
Kobieta			
Wiek zabiegu, lata	45	60	75
Przeciętne dalsze trwanie życia, lata*	38	24	13
Ilość badań przed zabiegiem	3	3	3
Ilość badań po zabiegu (schemat 1-3-6-12 mies. + co 12 mies.)	41	27	16
Łączna dawka promieniowania przed zabiegiem, mSv	71,3	71,3	71,3
Łączna dawka promieniowania w trakcie zabiegu, mSv	10,6	10,6	10,6
Łączna dawka promieniowania po zabiegu, mSv	978,8	654,2	377,6
Całkowita życiowa dawka promieniowania, mSv	1060,7	736,1	459,5

Adnotacja. * – dane GUS za 2018 rok.



Rycina 6. Symulacja całkowitej życiowej dawki promieniowania związanej z zabiegiem wewnątrznaczyniowego wszczepienia stentgraftu do aorty w zależności od wieku przeprowadzenia zabiegu (mężczyźni)



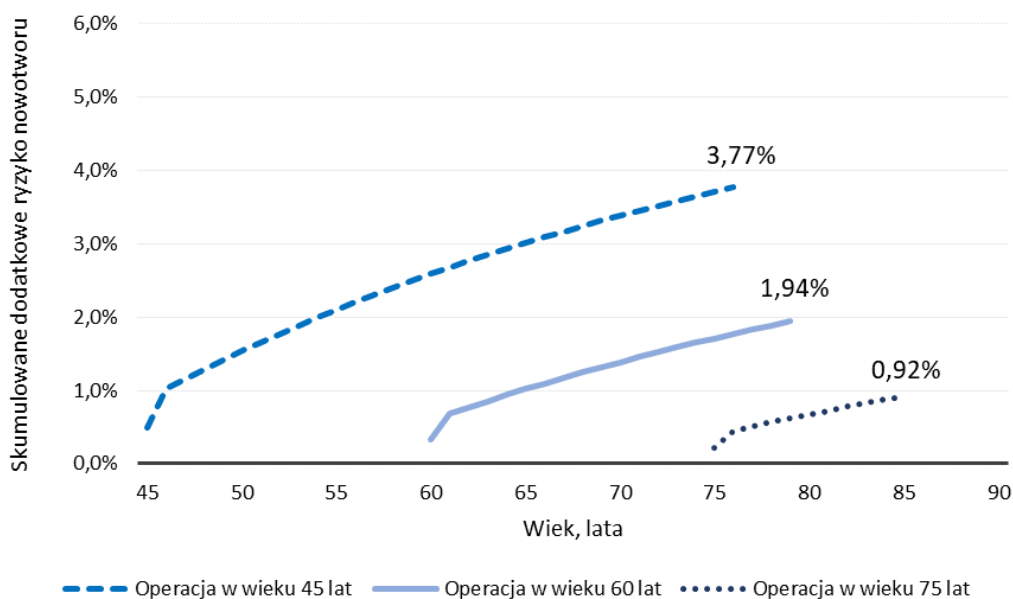
Rycina 7. Symulacja całkowitej życiowej dawki promieniowania związanej z zabiegiem wewnątrznacyniowego wszczepienia stentgraftu do aorty w zależności od wieku przeprowadzenia zabiegu (kobiety)

Dla otrzymanych w symulacji dawek promieniowania obliczono łączny wzrost ryzyka wystąpienia nowotworu dla rozważanych grup wiekowych. W przypadku mężczyzn, przy operacji przeprowadzonej w wieku 45 lat, całkowity życiowy wzrost ryzyka nowotworu wynosiłby 3,8%, u kobiet byłoby to 5,3%. Operacja przeprowadzona u 60-latków niesłaby za sobą wzrost ryzyka nowotworu na poziomie 1,9% u mężczyzn i 2,6% u kobiet. Z kolei 75-latkowie poddani zabiegowi wszczepienia stentgraftu wskutek otrzymanej dawki promieniowania mieliby ryzyko nowotworu zwiększone życiowo o 0,9% w przypadku mężczyzn i 1,2% dla kobiet, tabela 39. Wizualną prezentację skumulowanego wzrostu ryzyka wystąpienia nowotworu kobiet i mężczyzn dla różnych grup wiekowych przedstawiają ryciny 8-9.

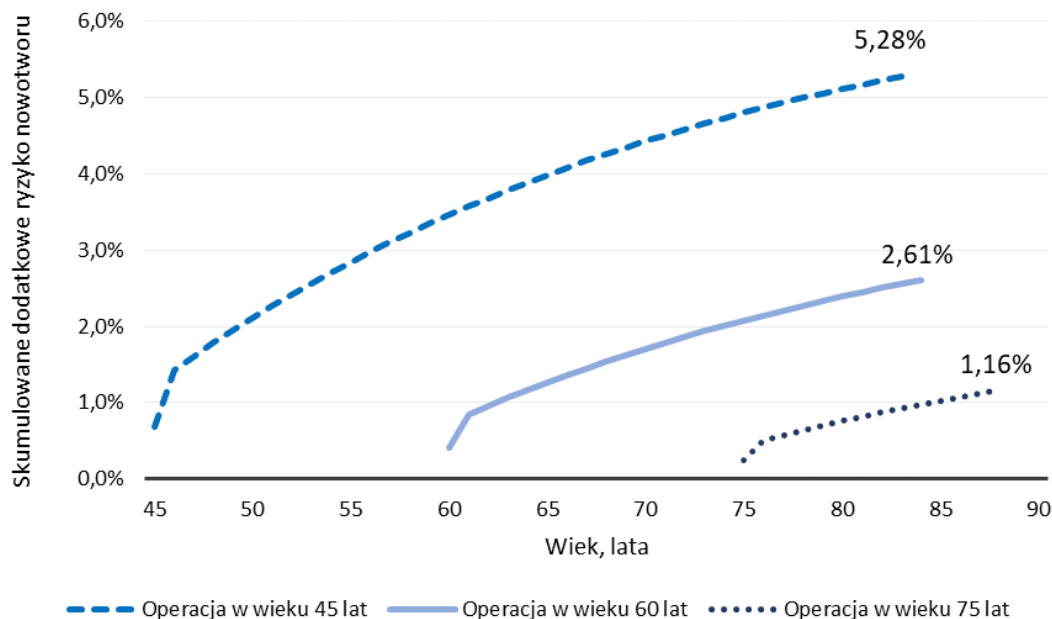
Tabela 39. Symulacja całkowitego życiowego wzrostu ryzyka nowotworu związanego z zabiegiem wewnątrznaczyniowego wszczepienia stentgraftu do aorty w zależności od wieku przeprowadzenia zabiegu

Mężczyzna			
Wiek zabiegu, lata	45	60	75
Przeciętne dalsze trwanie życia, lata*	31	19	10
Ilość badań przed zabiegiem	3	3	3
Ilość badań po zabiegu (schemat 1-3-6-12 mies. + co 12 mies.)	34	22	13
Łączny wzrost ryzyka nowotworu przed zabiegiem, %	0,43	0,28	0,19
Łączny wzrost ryzyka nowotworu w trakcie zabiegu, %	0,06	0,04	0,03
Łączny wzrost ryzyka nowotworu po zabiegu, %	3,28	1,62	0,71
Całkowity życiowy wzrost ryzyka nowotworu, %	3,77	1,94	0,92
Kobieta			
Wiek zabiegu, lata	45	60	75
Przeciętne dalsze trwanie życia, lata*	38	24	13
Ilość badań przed zabiegiem	3	3	3
Ilość badań po zabiegu (schemat 1-3-6-12 mies. + co 12 mies.)	41	27	16
Łączny wzrost ryzyka nowotworu przed zabiegiem, %	0,59	0,36	0,21
Łączny wzrost ryzyka nowotworu w trakcie zabiegu, %	0,09	0,05	0,03
Łączny wzrost ryzyka nowotworu po zabiegu, %	4,60	2,20	0,92
Całkowity życiowy wzrost ryzyka nowotworu, %	5,28	2,61	1,16

Adnotacja. * – dane GUS za 2018 rok.



Rycina 8. Symulacja całkowitego życiowego wzrostu ryzyka nowotworu związanego z zabiegiem wewnątrznaczyniowego wszczepienia stentgraftu do aorty w zależności od wieku przeprowadzenia zabiegu (mężczyźni)



Rycina 9. Symulacja całkowitego życiowego wzrostu ryzyka nowotworu związanego z zabiegiem wewnątrznaczyniowego wszczepienia stentgraftu do aorty w zależności od wieku przeprowadzenia zabiegu (kobiety)

6. Dyskusja

Narażenie pacjenta na ekspozycję promieniowania jonizującego podczas badań obrazowych, zabiegu wszczepienia stentgraftu do aorty oraz wyliczenie przybliżonego wzrostu ryzyka wystąpienia nowotworu u chorych.

Działanie promieniowania jonizującego podczas zabiegów endowaskularnych stanowi zagrożenie zarówno dla pacjenta, jak i zespołu medycznego. Podczas ekspozycji na promieniowanie dochodzi do tworzenia mutacji w kodzie genetycznym i obumierania komórek. Choć komórki ulegają procesowi regeneracji, potrzebują na to czasu. Ponowne wystawianie komórek na działanie promieniowania podczas procesu regeneracji sprawia, iż dawka promieniowania ulega kumulacji. Skumulowana dawka natomiast może zwiększyć ryzyko wystąpienia nowotworu [96].

Aby dokładniej ocenić czynniki oraz stopień ryzyka wystąpienia nowotworu na skutek ekspozycji na promieniowanie, stosuje się różnego rodzaju skale oraz modele. Do tej pory powstało kilka modeli analiz mających na celu ocenę korelacji pomiędzy ekspozycją tkanek na promieniowanie jonizujące oraz wzrostem ryzyka zachorowalności na nowotwór. Należą do nich: NUREG (1993), BEIR VII (2006), UNSCEAR (2006), ICRP 103 (2007), EPA 1 (2011) [97].

Wysokie dawki promieniowania przekraczające 2 Gy podczas zabiegu mogą prowadzić do wystąpienia skutków deterministycznych u chorych, a w konsekwencji mogą wystąpić następujące powikłania: zaburzenia krzepnięcia, obrzęk płuc i niewydolność oddechowa, zwłóknienia śródmiąższowe, uszkodzenie nabłonka jelitowego, uszkodzenie układu nerwowego, zmiany skórne oraz zwiększone ryzyko wystąpienia nowotworu [98]. Jak podają Howells et al., narażenie na ekspozycję promieniowania jonizującego równe 1 Sievertowi zwiększa życiowe ryzyko powstania nowotworu nawet o 5,5% [99].

Choć nie ustalono minimalnej dawki promieniowania, która nie wpłynęłaby negatywnie na osobę poddaną ekspozycji oraz nie prowadziłyby do powstania skutków ubocznych, pewne jest, że im czas fluoroskopii oraz związany z nim czas ekspozycji na promieniowanie jest krótszy, tym mniejsze jest ryzyko wystąpienia negatywnych skutków na organizm [90], [100].

Badanie REVAR mające na celu ocenę ryzyka wpływu czasu fluoroskopii oraz możliwych sposobów obniżenia dawki promieniowania u pacjentów poddanych EVAR dowodzi, że dłuższy czas fluoroskopii zwiększa ekspozycję pacjenta na promieniowanie jonizujące i ryzyko powstania nowotworu. W przedstawionym badaniu średni czas fluoroskopii u 85 chorych wyniósł 13,5 minut [101].

Jak dodaje Muchado, czas fluoroskopii i dawka promieniowania zwiększają się u pacjentów z małymi tętniakami oraz u pacjentów z dużym kątem zagięcia szyi (powyżej 50°). W badaniu przeprowadzonym przez Muchado na 127 pacjentach średni czas fluoroskopii wynosił 21,8 minut [102]. W badaniu własnym potwierdzono silną korelację pomiędzy otrzymaną dawką promieniowania a czasem zabiegu i czasem fluoroskopii. Średni czas zabiegu wynosił 75 minut, przy czym czas fluoroskopii osiągał średnio 20 minut.

Oprócz samego zabiegu pacjent narażony jest na ekspozycję promieniowania jonizującego również podczas badań obrazowych, głównie podczas angio-tk. Brenner i Hall podają, iż około 1,5%-2% populacji Stanów Zjednoczonych staje się ofiarą nowotworu spowodowanego ekspozycją promieniowania jonizującego na skutek poddawania się badaniom tomografii komputerowej [103]. Według Budoff et al., na skutek promieniowania otrzymanego podczas badań angio-tk o wartości 10 mSv, u 1:2000 chorych dochodzi do powstania nowotworu. Należy dodać, że ryzyko to zwiększają takie czynniki, jak płeć żeńska, młodszy wiek czy ilość faz badania TK [104]. Zoli et al. uważają, że 87% promieniowania, jakie otrzymują pacjenci w związku z procedurą leczniczą, związana jest z badaniami obrazowymi angio-tk i zwiększa ryzyko zachorowania na nowotwór o 2,7% [105]. W badaniu własnym Walsh udowodnił, że dawka promieniowania otrzymana podczas samego zabiegu implantacji stentgraftu do aorty (12,6 mSv) jest niższa niż ta otrzymana podczas 1 roku wykonywania badań angio-tk (15 mSv) [106].

Dane zawarte w raporcie BEIR VII, skupiającym się na oddziaływaniu promieniowania jonizującego, zawierają informację o zagrożeniu możliwością wystąpienia nowotworu na skutek podania się badaniom TK do 0,07% [95]. Podczas badań własnych, w trakcie jednego badania angio-tk przed wszczepieniem stentgraftu pacjenci otrzymywali dawkę promieniowania o medianie 23,77 mSv. Wiązał się z nią wzrost ryzyka nowotworu na poziomie o medianie 0,07%. Maksymalny wzrost ryzyka nowotworu podczas pojedynczego badania w całej grupie badawczej wynosił 0,72%. Im więcej badań przed operacją pacjenci mieli wykonanych, tym wyższą łączną dawkę promieniowania przed zabiegiem otrzymywali.

W badaniu przeprowadzonym przez Kalendar et al. badano dawki promieniowania otrzymane podczas zabiegu oraz badań obrazowych u chorych po EVAR oraz ich związek z powstaniem nowotworu. Średnia dawka promieniowania otrzymana w badaniu kontrolnym angio-tk wynosiła 24,5 mSV. Autorzy podkreślają, iż ograniczenie badań kontrolnych angio-tk lub kierowanie pacjentów na nieinwazyjne badania obrazowe, zmniejszyłoby ryzyko wystąpienia nowotworu. Autorzy rekomendują badania rezonansem magnetycznym lub badania ultrasonograficzne Dopplerowskie jako bezpieczną alternatywę dla angio-tk [96]. Badanie dopplerowskie charakteryzuje się wysoką czułością oraz swoistością (86%) i mogłoby stanowić wystarczającą ocenę kontrolną chorego [107]. Niektórzy autorzy sugerują, iż w celu obniżenia dawki promieniowania warto byłoby zrezygnować z przeprowadzania wszystkich faz badania TK, co mogłoby obniżyć narażenie pacjenta na promieniowanie nawet o 44% [108], [109].

Według wyników badań niektórych autorów, ograniczenie 3-fazowego badania do badania 2- lub 1-fazowego skutkowałoby obniżeniem dawki promieniowania z 26,6 mSv do 17,6 mSV [96], [110]. W badaniu własnym, w trakcie jednego badania kontrolnego po operacji, pacjenci otrzymywali dawkę promieniowania o medianie 24,05 mSv. Wiązał się z nią wzrost ryzyka nowotworu na poziomie o medianie 0,07%. Maksymalny wzrost ryzyka nowotworu podczas pojedynczego badania kontrolnego po wszczepieniu stentgraftu w całej grupie badawczej wynosił 1,57%. W celu obniżenia ryzyka wystąpienia nowotworu na skutek ekspozycji pacjentów na promieniowanie jonizujące w związku z wszczepieniem stentgraftu do aorty najistotniejsze jest wprowadzanie dodatkowych metod obrazowania do algorytmów kontroli pooperacyjnej – angio-MR oraz USG-Doppler, co mogłoby skutkować obniżeniem ryzyka zachorowania na nowotwór średnio o 0,07%.

Według różnych źródeł, całkowite ryzyko zwiększenia wystąpienia nowotworu na skutek ekspozycji na promieniowanie jonizujące na skutek procedury EVAR i towarzyszących jej badań obrazowych waha się pomiędzy 0,6% a 4,4% [109], [111], [112].

W badaniach przeprowadzonych przez Jonesa et al. w latach 1998–2008 na grupie 320 chorych wykazano, że średnia łączna dawka promieniowania otrzymana przez chorych w trakcie badań obrazowych poprzedzających zabieg, w badaniach kontrolnych oraz podczas samego zabiegu EVAR wyniosła 45,5 mSv [113].

Wyniki otrzymane w badaniu własnym potwierdzają dane zawarte w literaturze. Całkowita dawka promieniowania w grupie badawczej miała medianę 60,22 mSv, co oznacza, że połowa pacjentów otrzymała całkowitą dawkę promieniowania od 25,76 mSv do 111,20 mSv. Całkowity wzrost ryzyka nowotworu u pacjentów w grupie badawczej miał medianę 0,18%, co oznacza, że u połowy pacjentów ryzyko nowotworu z uwagi na zabieg wszczepienia stentgraftu wraz ze wszystkimi badaniami towarzyszącymi rosło o 0,07–0,35%. Maksymalny odnotowany wzrost ryzyka nowotworu z powodu wszczepienia stentgraftu w badanej grupie wynosił 2,35%.

Średnia dawka promieniowania otrzymana podczas pojedynczego zabiegu wewnątrznaczyniowego wszczepienia stentgraftu w badaniu przeprowadzonym przez Geijer et al. wynosiła 8,7 mSv [109]. Ta sama dawka w badaniu własnym miała medianę 10,60 mSv. Niosła ze sobą wzrost ryzyka nowotworu na poziomie o medianie 0,03%. Maksymalny poziom wzrostu ryzyka nowotworu w trakcie zabiegu w analizowanej grupie 225 zabiegów wynosił 0,86%. Wśród pacjentów, którzy mieli przeprowadzone 2 zabiegi wszczepienia stentgraftu średni poziom dawki promieniowania otrzymanej w 2. zabiegu nie różnił się istotnie od zabiegu pierwszego (24,32 mSv : 23,44 mSv).

Istnieje kilka dodatkowych czynników predykcyjnych, zwiększających ryzyko zachorowalności na nowotwór, związanych z ekspozycją na promieniowanie jonizujące podczas badań obrazowych oraz zabiegów endowaskularnych aorty z użyciem stentgraftów, poza czasem ekspozycji na promieniowanie jonizujące podczas badań oraz samego zabiegu.

Jak pokazują badania, większe ryzyko wystąpienia nowotworu ze względu na ilość otrzymanej dawki promieniowania odnotowuje się u kobiet niż u mężczyzn. Według danych ryzyko wykształcenia nowotworu na skutek ekspozycji na promieniowanie jonizujące jest nawet 2-krotnie większe u kobiet, niż u mężczyzn. Prawidłowość dotyczy również wieku – wskaźnik zachorowalności jest wyższy u młodszych kobiet. Ryzyko występowania nowotworu na skutek ekspozycji na promieniowanie maleje po 50 roku życia. Wynika to ze zmniejszonej zdolności komórek do proliferacji [114]. Według Weerakkody et al. ryzyko zachorowania na skutek ekspozycji na promieniowanie jonizujące podczas badania TK u 80-letniego mężczyzny wynosi 1:3261, podczas gdy u 20-letniej kobiety wskaźnik ten jest równy 1:143 [115].

Nyheim et al. przeprowadzili badanie mające na celu ocenę ryzyka wystąpienia nowotworu u chorych z tętniakami aorty brzusznej na skutek ekspozycji na promieniowanie jonizujące związane z EVAR oraz badaniami obrazowymi (angio-tk i RTG), którym zostali poddani pacjenci przed zabiegiem oraz w badaniach kontrolnych. Średnia dawka otrzymanego promieniowania podczas zabiegu wynosiła 34 mSv (12-75 mSv), a dla badania angio-tk wynosiła 8.0 mSv. Wzrost ryzyka zachorowalności na nowotwór dla mężczyzn w wieku 55 lat w badaniach kontrolnych po 5 oraz 15 latach oszacowano kolejno na 0,35% oraz 0,65%. Te same statystyki dla mężczyzn w wieku 75 lat wynosiły 0,22% oraz 0,37% [116].

W analizach przeprowadzonych przez White et al. leczenie EVAR przeprowadzone u osób w wieku 70 lat, u których otrzymana dawka promieniowania wyniosła średnio 145 mSv, wiązało się ze zwiększeniem ryzyka powstania nowotworu o 0,42%. Ta sama dawka promieniowania u pacjentów w wieku lat 50 wynosiła 0,73% [110].

Wyniki badania własnego są zgodne z wynikami przedstawianymi przez autorów [113], [116]–[118]. Dla otrzymanych w symulacji dawek promieniowania obliczono łączny wzrost ryzyka wystąpienia nowotworu dla rozważanych grup wiekowych. W przypadku mężczyzn, przy operacji przeprowadzonej w wieku 45 lat, całkowity życiowy wzrost ryzyka nowotworu wynosiłby 3,8% (1 na każdym 26 pacjentów), u kobiet byłoby to 5,3% (1 na każde 18,9 pacjentek). Operacja przeprowadzona u 60-latków niesłaby ze sobą wzrost ryzyka nowotworu na poziomie 1,9% u mężczyzn (1 na każde 52,6 pacjentów) i 2,6% u kobiet (1 na każde 38,5 pacjentek). Z kolei 75-latkowie poddani zabiegowi wszczepienia stentgraftu wskutek otrzymanej dawki promieniowania mieliby ryzyko nowotworu zwiększone życiowo o 0,9% w przypadku mężczyzn (1 na każde 111,1 pacjentów) i 1,2% dla kobiet (1 na każde 83,3 pacjentek).

Przed dokonaniem wyboru dotyczącego leczenia należy wziąć pod uwagę szereg czynników, w tym uwarunkowania anatomiczne oraz stan kliniczny pacjenta, które znacznie wpływają na przebieg oraz wynik leczenia. W przypadku tętniaków aorty należy wziąć pod uwagę morfologię tętniaka, długość szyi, szerokość aorty, grubość ściany aorty oraz anatomie tętnicy biodrowej. Czynniki takie, jak starszy wiek, płeć, duży wymiar tętniaka czy inne choroby współistniejące mogą być czynnikami predysponującymi do wystąpienia zdarzeń niepożądanych, w tym również dłuższego czasu trwania zabiegu i, co za tym idzie, narażenia pacjenta na większą dawkę promieniowania jonizującego [119].

Kolejnym aspektem, na który warto zwrócić uwagę jest dobór rodzaju protezy. Na podstawie analizy rodzaju patologii aorty, jej morfologii oraz uwarunkowań anatomicznych i klinicznych chorego, dokonywany jest dobór odpowiedniego stentgraftu. Obecnie istnieje wiele urządzeń, które ułatwiają wykonanie zabiegu wewnątrznaczyniowego. Jak pokazują analizy, wybór stentgraftu jest również ważny ze względu na ilość dawki promieniowania otrzymanej przez pacjenta [120].

W swoim badaniu Machado et al. [102] nie wykazali różnicy w otrzymanej dawce promieniowania jonizującego u pacjentów w segmencie pod- i nadnerkowym, w zależności od użytego rodzaju stentgraftu. Autorzy dodają, iż wysokie dawki promieniowania otrzymywane podczas zabiegów z użyciem protezy typu branch mogą być związane z ich wyborem w skomplikowanych przypadkach leczenia, które związane są z długim czasem zabiegu. Do takich przypadków należą zabiegi z uwzględnieniem objęciem łuku aorty, części piersiowo-brzuszej aorty czy umiejscowienie patologii na rozwidleniu naczynia [102]. Weiss również podkreśla zwiększone ryzyko narażenia pacjenta na wyższą dawkę promieniowania jonizującego, związane z użyciem stentgraftu typu branch. Co więcej, autor dodaje, że użycie stentgraftu niesie za sobą większe ryzyko powstania przecieku [111].

W badaniu własnym stwierdzono istotną statystycznie różnicę w średniej dawce promieniowania otrzymanej w trakcie zabiegu w zależności od użytego stentgraftu. Jak się okazało, dla stentgraftu typu branch dawka promieniowania była najwyższa, istotnie różna od wszystkich pozostałych rodzajów stentgraftów. Przy wszczepieniu stentgraftu brzuszego prostego dawka promieniowania była najniższa, istotnie niższa niż dla stentgraftu rozwidlonego, uniliac czy branch. Najczęściej używano stentgraftów rozwidlonych, piersiowych prostych oraz brzusznych prostych. Potwierdzono, że w zabiegach wykorzystujących stentgraft typu branch odsetek powikłań był istotnie wyższy niż w pozostałych zabiegach ($p = 0,043$). Dla innych rodzajów stentgraftu, nie potwierdzono istotnej zależności z wystąpieniem powikłań. Dla stentgraftu typu branch dawka promieniowania była najwyższa i wynosiła średnio 38,87 mSv. Natomiast przy wszczepieniu stentgraftu brzuszego prostego dawka promieniowania była najniższa i osiągała średnio 4,25 mSv.

Jednym z głównych przeciwwskazań do wykonania zabiegu zaopatrzenia tętniaka aorty z użyciem stentgraftu mogą być niekorzystne warunki anatomiczne u pacjenta. Do głównych przeciwwskazań na tle anatomicznym należą: zbyt mocno zagięta szyja tętniaka, szyja

w której wykryto skrzepliny, za wąska lub za szeroka szyja tętniaka lub szyja ze znacznie uwapnionymi ścianami. Kąt zagięcia szyi większy niż 45° , 60° (w zależności od źródła) uniemożliwia płynne poruszanie introduktorem, wydłuża czas zabiegu oraz czas fluoroskopii, a co za tym idzie zwiększa dawkę promieniowania, jaką otrzymuje chory. Krętość naczyń to szczególnie duże wyzwanie w przypadku rozwarstwień, ze względu na trudność wprowadzenia przewodnika do światła prawdziwego naczynia i ulokowania stentgraftu [118], [121]. Na otrzymanie większej dawki promieniowania narażeni są pacjenci z niekorzystnym ulokowaniem tętniaka, np. zaraz poniżej tętnicy podobojczykowej lub na niej. Proteza musi zostać umieszczona bardzo precyzyjnie przed rozprężeniem, tak aby nie przykryć ujścia lewej tętnicy szyjnej wspólnej. Ten zabieg wymaga często zwiększonej liczby DSA. Wskaźnik BMI również odgrywa ważną rolę w obliczeniu podawanej dawki promieniowania pacjentowi. W przypadku BMI przekraczającego 25kg/m^2 zwiększona zostaje ekspozycja na promieniowanie. Należy zatem wziąć pod uwagę wskaźnik BMI w przypadku leczenia chorych z otyłością [121], [122], [123].

Już podczas kwalifikacji chorych do zabiegu z użyciem stentgraftu aortalnego należy wziąć pod uwagę możliwość wczesnych oraz odległych powikłań, które mogą u nich wystąpić. Na powikłania odległe szczególnie narażeni są pacjenci, u których ryzyko ekspozycji na promieniowanie było większe ze względu na dłuższy czasu zabiegu i fluoroskopii [102], [124].

Często dłuższy czas zabiegu związany jest z leczeniem pacjentów z chorobami współistniejącymi, którzy nie zostali zakwalifikowani do operacji chirurgicznej lub chorzy z trudnymi warunkami anatomicznymi. Pomimo zwiększonego ryzyka poddania pacjenta dużej dawce promieniowania, zabiegi wykonywane są często w celu ratowania życia lub zdrowia, np. w sytuacji ryzyka pęknięcia tętniaka [90], [100], [121]. W badaniu własnym potwierdzono istotną statystycznie różnicę w otrzymanej dawce promieniowania w trakcie zabiegu w grupie chorych z powikłaniami i bez, gdzie dawka promieniowania podczas zabiegu u pacjentów bez powikłań wynosiła 10,05 mSv, a u chorych z powikłaniami 20,85 mSv.

Pomimo stosunkowo niskich dawek promieniowania otrzymanych przez pacjenta związanych z EVAR (średnia dawka promieniowania, jaką otrzymał pacjent podczas 1 zabiegu wynosiła 10,6 mSv i zwiększała ryzyko zachorowalności na nowotwór o 0,03%), prawidłowa kwalifikacja chorego jest niezwykle ważnym aspektem, gdyż może wpływać na rezultat końcowy dawki sumarycznej. Kwalifikacja bez konieczności poddawania pacjenta

zabiegowi może zwiększyć ilość powikłań, następnych wewnątrznaczyniowych zabiegów naprawczych oraz przedłużonej zaawansowanej diagnostyki radiologicznej, co będzie miało bezpośredni i znaczny wpływ na indukcję nowotworową, ze względu na wyższą otrzymaną dawkę promieniowania przez pacjenta. Analizy wykazały wzrost ryzyka zachorowania poprzez poddawanie pacjenta większej liczbie badań obrazowych oraz zabiegów do 0,35%.

7. Wnioski

1. Całkowita dawka promieniowania, na jaką byli ekspozycjowani pacjenci w trakcie diagnostyki, zabiegu oraz kontroli w grupie badawczej miała medianę **60,22 mSv**, połowa pacjentów otrzymała całkowitą dawkę promieniowania od 25,76 mSv do 111,20 mSv.
2. Całkowity wzrost ryzyka rozwinięcia nowotworu z powodu ekspozycji na promieniowanie jonizujące u pacjentów w grupie badawczej miał medianę **0,18%**, u połowy pacjentów ryzyko wystąpienia nowotworu z uwagi na zabieg wszczepienia stentgraftu wraz ze wszystkimi badaniami radiologicznymi towarzyszącymi zwiększyło ryzyko npl o **0,07–0,35%**.
3. Wielokierunkowa ocena odległa chorych po EVAR wykazała, iż czynnikami zwiększającymi ryzyko wystąpienia nowotworu związanego z ekspozycją pacjentów na działanie promieniowania jonizującego są:
 - a. rodzaj wszczepionego stentgraftu – dla stentgraftu typu branch dawka promieniowania była najwyższa i wynosiła średnio **38,87 mSv**. Natomiast przy wszczepieniu stentgraftu brzuszno-prostego dawka promieniowania była najniższa i osiągała średnio **4,25 mSv**,
 - b. młodszy wiek i kobieca płeć – analizy wykazały zwiększony wzrost ryzyka wystąpienia nowotworu spowodowanego ekspozycją na promieniowanie jonizujące u mężczyzn do 45 roku życia o **3,8%**, a u kobiet o **5,3%**. Ten sam próg u mężczyzn w wieku lat 60 wynosi **1,9%**, podczas gdy u kobiet **2,6%**. W wieku 75 lat ryzyko zachorowania u mężczyzn zwiększa się o **0,9%**, a u kobiet o **1,2%**.

4. Najistotniejszym czynnikiem wpływającym na ekspozycję pacjentów na promieniowanie w związku z zabiegiem wewnątrznaczyniowego wszczepienia stentgraftu do aorty miały kontrolne badania obrazowe angio-tk po zabiegu. W celu obniżenia ryzyka wystąpienia nowotworu na skutek ekspozycji pacjentów na promieniowanie jonizujące w związku z wszczepieniem stentgraftu do aorty najistotniejsze jest wprowadzanie dodatkowych metod obrazowania do algorytmów kontroli pooperacyjnej – angio-MR oraz USG-Doppler. Średnia dawka promieniowania podczas badań kontrolnych po EVAR wynosiła **24,05 mSv** i zwiększała zachorowalność na nowotwór o **0,07%**.
5. Pojedyncze zabiegi wewnątrznaczyniowe z użyciem stentgraftów cechują się względnie niską ekspozycją chorego na dawki promieniowania jonizującego w stosunku do dawek sumarycznych. Średnia dawka promieniowania otrzymana podczas 1 zabiegu wynosiła **10,60 mSv** i przekładała się na wzrost ryzyka rozwinięcia nowotworu o **0,03%**.

8. Streszczenie

„Ocena całkowitej dawki promieniowania oraz związanego z nią wzrostu ryzyka wystąpienia nowotworu wśród pacjentów poddanych diagnostyce, zabiegowi oraz kontroli wewnątrznacyniowego wszczepienia stentgraftu do aorty”.

Wstęp

Pierwsze wzmianki na temat leczenia endowaskularnego schorzeń aorty za pomocą stentgraftów pojawiły się w latach 90. XX wieku. Od tego momentu nastąpił dynamiczny rozwój leczenia wewnątrznacyniowego. Jest to również związane z rozwojem badań obrazowych oraz poszerzeniem wskazań do leczenia schorzeń aorty. Do najczęściej leczonych patologii należą: tętniaki, ostre i przewlekłe rozwarstwienie aorty, pourazowe uszkodzenie aorty, penetrujące owrzodzenie miażdżycowe oraz krwiak śródścienny. Leczenie wewnątrznacyniowe staje się standardowym leczeniem chorych ze schorzeniami aorty ze względu na niższy odsetek powikłań i śmiertelności w porównaniu z leczeniem chirurgicznym. Proces diagnostyczny oraz zabieg związane są z ekspozycją chorego na promieniowanie jonizujące. W przypadku otrzymania dużych dawek promieniowania pacjent narażony jest na wystąpienie skutków deterministycznych oraz stochastycznych, do których należą między innymi zwiększone ryzyko wystąpienia nowotworu.

Cele pracy

1. Obliczenie całkowitej życiowej dawki promieniowania, na jaką ekspozowani są pacjenci poddani diagnostyce i procedurze wewnątrznacyniowego wszczepienia stentgraftu do aorty z powodu tętniaka.
2. Wyliczenie przybliżonego wzrostu ryzyka wystąpienia nowotworu u pacjentów narażonych na działanie promieniowania jonizującego w całej procedurze leczniczej.

3. Wielokierunkowa ocena odległa ryzyka wystąpienia nowotworu u chorych po EVAR:
 - a. porównanie dawek promieniowania, na jakie narażeni są pacjenci w zależności od rodzaju wszczepionego stentgraftu i rodzaju zabiegu,
 - b. porównanie dawek promieniowania, na jakie narażeni są pacjenci w zależności od wieku, płci, statystycznego czasu przeżycia.
4. Ustalenie możliwych sposobów obniżenia ryzyka wystąpienia nowotworu na skutek ekspozycji pacjentów na promieniowanie jonizujące, w związku z wszczepieniem stentgraftu do aorty.
5. Określenie skuteczności oraz bezpieczeństwa leczenia pacjentów ze schorzeniami aorty drogą wewnątrznaczyniową z użyciem stentgraftów, ze względu na otrzymaną dawkę promieniowania.

Material i metoda

Badaniem objęto 206 pacjentów, w tym 165 (80%) mężczyzn i 41 (20%) kobiet. Średnia wieku wynosiła 67 lat, przy czym najmłodszy pacjent w dniu zabiegu miał 21 lat, zaś najstarszy 91 lat. Osoby w wieku do 40 lat stanowiły tylko 2% całej grupy, zaś osoby w wieku 41-50 lat – kolejne 4%. Ponad połowę pacjentów stanowili pacjenci w wieku 61-80 lat (62% całej grupy). Przed wykonaniem zabiegu pacjenci zostali poddani badaniu angio-tk. U pacjentów wykonano od 1 do 3 badań. Średnica tętniaka w grupie badawczej wynosiła 18,32 mm. W trakcie jednego badania angio-tk przed wszczepieniem stentgraftu pacjenci otrzymywali dawkę promieniowania o medianie 23,77 mSv. Im więcej badań przed operacją pacjenci mieli wykonanych, tym wyższą łączną dawkę promieniowania przed zabiegiem otrzymywali. W badanej grupie 206 pacjentów przeprowadzono łącznie 225 zabiegów wewnątrznaczyniowego wszczepienia stentgraftu do aorty, od 1 do 3 zabiegów u jednego pacjenta. Ponad połowa pacjentów miała wszczepiony stentgraft w brzuszny odcinek aorty (64%) badanych, odcinek piersiowy dotyczył 23% pacjentów, zaś u pozostałych 13% osób

stentgraft został wszczepiony w obu odcinkach aorty. Najczęstszym wskazaniem do zabiegu był tętniak (68% pacjentów), rzadziej rozwarstwienie (31%). Inne przyczyny, jak endoleak czy pęknięty tętniak dotyczyły pojedynczych osób. W przeprowadzonych zabiegach wewnątrznaczyniowego wszczepienia stentgraftu do aorty najczęściej wykorzystywano stentgraft rozwidlony (33% zabiegów), piersiowy prosty (29%) lub brzuszny prosty (18%).

Inne rodzaje stentgraftów były stosowane w nie więcej niż 10% przeprowadzonych zabiegów. Czas trwania zabiegu wszczepienia stentgraftu miał medianę 75,00 minut.

Wyniki

Dawka promieniowania otrzymana podczas pojedynczego zabiegu wewnątrznaczyniowego wszczepienia stentgraftu miała medianę 10,60 mSv. Niosła ze sobą wzrost ryzyka nowotworu na poziomie o medianie 0,03%. Wśród pacjentów, którzy mieli przeprowadzone 2 zabiegi wszczepienia stentgraftu średni poziom dawki promieniowania otrzymanej w 2. zabiegu nie różnił się istotnie od zabiegu pierwszego. Wykazano, że dla stentgraftu branch dawka promieniowania była najwyższa. W zdecydowanej większości zabiegów nie wystąpiły żadne powikłania (86% zabiegów). Jeśli powikłania pojawiały się, był to przede wszystkim przeciek (10% zabiegów). Inne powikłania (poszerzenie, krwawienie, niedrożność tętnic nerkowych, zła pozycja stentu, powikłania miejsca dostępu) dotyczyły nie więcej niż 2% zabiegów, każde z nich. Zgon pacjenta miał miejsce w dwóch przypadkach. Potwierdzono, że w zabiegach wykorzystujących stentgraft branch odsetek powikłań był istotnie wyższy niż w pozostałych zabiegach. Pacjenci byli poddawani badaniu kontrolnemu po ok. 12 miesiącach po zabiegu. Im więcej badań kontrolnych pacjenci mieli wykonanych, tym wyższą łączną dawkę promieniowania otrzymywali w trakcie kontroli pooperacyjnej. Powikłania odległe odnotowano u 53% pacjentów. Zdecydowanie najczęstszym powikłaniem był przeciek (36% pacjentów), rzadziej pojawiało się poszerzenie (11%), rozwarstwienie (6%), zgięcie stentu (5%) czy wykrzepienie w stentgrafcie (4%). Całkowita dawka promieniowania w grupie badawczej miała medianę 60,22 mSv. Całkowity wzrost ryzyka nowotworu u pacjentów w grupie badawczej miała medianę 0,18%. Maksymalny odnotowany wzrost ryzyka nowotworu z powodu wszczepienia stentgraftu w badanej grupie wynosił 2,35%.

Wnioski

1. Całkowita dawka promieniowania, na jaką byli ekspozycyowani pacjenci w trakcie diagnostyki, zabiegu oraz kontroli w grupie badawczej miała medianę 60,22 mSv, połowa pacjentów otrzymała całkowitą dawkę promieniowania od 25,76 mSv do 111,20 mSv.
2. Całkowity wzrost ryzyka rozwinięcia nowotworu z powodu ekspozycji na promieniowanie jonizujące u pacjentów w grupie badawczej miał medianę **0,18%**, u połowy pacjentów ryzyko wystąpienia nowotworu z uwagi na zabieg wszczepienia stentgraftu wraz ze wszystkimi badaniami radiologicznymi towarzyszącymi zwiększyło się o **0,07–0,35%**.
3. Wielokierunkowa ocena odległa chorych po EVAR wykazała, iż czynnikami zwiększającymi ryzyko wystąpienia nowotworu związanego z ekspozycją pacjentów na działanie promieniowania jonizującego są:
 - a. rodzaj wszczepionego stentgraftu – dla stentgraftu typu branch dawka promieniowania była najwyższa i wynosiła średnio 38,87 mSv. Natomiast, przy wszczepieniu stentgraftu brzuszno-prostego dawka promieniowania była najniższa i osiągała średnio 4,25 mSv,
 - b. młodszy wiek i płeć żeńska – analizy wykazały zwiększony wzrost ryzyka wystąpienia nowotworu spowodowanego ekspozycją na promieniowanie jonizujące u mężczyzn do 45 lat o **3,8%**, a u kobiet o **5,3%**. Ten sam próg u mężczyzn w wieku lat 60 wynosi **1,9%**, podczas gdy u kobiet **2,6%**. W wieku 75 lat ryzyko zachorowania u mężczyzn zwiększa się o **0,9%**, a u kobiet o **1,2%**.
4. Najistotniejszym czynnikiem wpływającym na ekspozycję pacjentów na promieniowanie w związku z zabiegiem wewnątrznaczyniowego wszczepienia stentgraftu do aorty miały kontrolne badania obrazowe angio-tk po zabiegu. W celu obniżenia ryzyka wystąpienia nowotworu na skutek ekspozycji pacjentów na promieniowanie jonizujące w związku z wszczepieniem stentgraftu do aorty, najistotniejsze jest wprowadzanie dodatkowych metod obrazowania do algorytmów kontroli pooperacyjnej – angio-MR, USG-Doppler.

Średnia dawka promieniowania podczas badań kontrolnych po EVAR wynosiła 24,05 mSv i zwiększała zachorowalność na nowotwór o **0,07%**.

5. Pojedyncze zabiegi wewnątrznaczyniowe z użyciem stentgraftów cechują się względnie niską ekspozycją chorego na dawki promieniowania jonizującego w stosunku do dawek sumarycznych. Średnia dawka promieniowania otrzymana podczas 1 zabiegu wynosiła 10,60 mSv i przekładała się na wzrost ryzyka rozwinięcia nowotworu o **0,03%**.

9. Abstract

„Assessment of the total radiation dose and the associated increase in cancer risk among patients undergoing diagnosis, endovascular treatment and follow-up examination of aortic stent-graft implantation”.

Introduction

The first mentions of endovascular treatment of aortic diseases using stent-grafts appeared in the 1990 s. Since then, there has been a dynamic development of endovascular treatment. It is also associated with the development of imaging tests and the extension of indications for the treatment of aortic diseases. The most commonly treated pathologies include: aneurysms, acute and chronic aortic dissection, traumatic aortic injury, penetrating atherosclerotic ulcer and intramural hematoma. Endovascular treatment is becoming the standard treatment for patients with aortic disorders due to lower rate of complications and mortality than surgical treatment. The diagnostic process and the procedures itself are associated with the patient's exposure to ionizing radiation. In case of receiving high doses of radiation, the patient is exposed to the occurrence of deterministic and stochastic effects, which include, among others, increased risk of cancer development.

Aims

1. Calculation of the total dose of radiation to which patients with aortic aneurysms are exposed during endovascular stent-graft implantation.
2. Calculating the approximate increase in risk of cancer development in patients exposed to ionizing radiation.
3. Evaluation of the patients' long-term outcomes after EVAR, including:
 - a. comparison of the amounts of radiation doses patients are exposed to during endovascular treatment depending on stent-graft type and type of treatment,

- b. comparison of the amounts of radiation doses patients are exposed to during endovascular treatment depending on age, sex and statistical life expectancy.
4. Determining possible ways to reduce the risk of cancer development due to patients' exposure to ionizing radiation connected with implantation of stent-grafts into the aorta.
5. Assessment of the efficacy and safety of endovascular treatment with the use of stent-grafts in patients with aortic diseases taking into consideration the dose of radiation received during the treatment.

Material and method

The study comprised 206 patients, including 165 (80%) men and 41 (20%) women. The average age was 67 years, with the youngest patient of 21 years old and the oldest 91 years old. People up to 40 years of age accounted for only 2% of the whole group, while people aged 41-50 – another 4%. More than half of the patients were 61-80 years old (62% of the whole group). Before the procedure, the patients underwent angio-CT examination. One to three tests were performed in every patient. The average diameter of the aneurysm in the study group was 18.32 mm. During the angio-CT prior to the implantation of the stent-graft, patients received a radiation dose of median 23.77 mSv. The more pre-operative examinations patients had, the higher total radiation dose they received before the endovascular procedure. In the studied group of 206 patients, a total of 225 endovascular aortic grafting procedures were performed, from 1 to 3 procedures per patient. More than half of the patients had a stent-graft implanted in the abdominal aorta (64%), the thoracic segment affected 23% of the patients, and the remaining 13% of the patients had a stent-graft implanted in both sections of the aorta. The most common indications for the treatment were aneurysms (68%) and dissections (31%). Other causes, such as endoleaks or ruptured aneurysms, concerned individuals. In the endovascular implantation of the stent-graft into the aorta, bifurcated (33%), thoracic straight (29%) or abdominal straight (18%) stent-grafts were most often used. Other types of stent-grafts were used in no more than 10% of the procedures. The duration of the stent-graft procedures had a median of 75.00 minutes.

Results

The radiation dose received during a single stent-graft implantation had a median of 10.60 mSv. It carried an increased risk in cancer development at a median level of 0.03%. Among patients who had 2 stent-graft procedures, the average radiation dose received in the 2nd procedure did not differ significantly from the first one. It was shown that the radiation dose was highest for the branched stent-graft.

The vast majority of procedures was free from complications (86% of procedures). If the complications appeared, it was mainly the endoleak (10% of the procedures). Other complications (dilatation, bleeding, renal obstruction, inaccurate stent position, vascular access complications) concerned no more than 2% of patients each. The patient's death occurred in two cases. It was confirmed that in procedures using branched stent-graft, the percentage of complications was significantly higher than in other procedures. Patients underwent a follow-up examination approximately 12 months after the procedure. The more check-ups patients had, the higher total radiation dose they received during the post-operative control. Long term complications were reported in 53% of patients. By far the most common complication was an endoleak (36% of patients), less often it was an enlargement of the aorta (11%), dissection (6%), bent stent (5%) or clotting in the stent-graft (4%). The total radiation dose in the study group had a median of 60.22 mSv. The total increase in cancer risk in patients in the study group had a median of 0.18%. The maximum increase in cancer risk development due to implantation of the stent-graft in the examined group was 2.35%.

Conclusions

1. The total radiation dose the patients were exposed to during the diagnosis, treatment and follow-up in the study group had a median of 60.22 mSv, a total radiation dose in half of the patients was within the range of 25.76 mSv to 111.20 mSv.
2. The total increase in cancer risk in patients in the study group had a median of **0.18%**, which means that in half of the patients the risk of cancer due to the implantation of the stent-graft together with all accompanying tests increased by **0.07-0.35%**.

3. Multidirectional long-term evaluation of patients after EVAR showed that the factors increasing the risk of cancer associated with exposure to ionizing radiation are:
 - a. type of implanted stent-graft – For branched type of stent-graft, the radiation dose was the highest and averaged 38.87 mSv. The lowest radiation dose was received when using abdominal stent-graft and reached 4.25 mSv,
 - b. younger age and female sex – analyzes have shown an increased risk in cancer due to exposure to ionizing radiation in men up to 45 years of age by **3.8%** and in women by **5.3%**. The same threshold for men aged 60 is **1.9%**, while for women **2.6%**. At the age of 75, the risk of cancer in men increases by **0.9%** and in women by **1.2%**.
4. Post-operative angio-CT imaging examinations were the most vital factors affecting patients' radiation exposure in connection with the endovascular implantation of the stent-graft into the aorta. In order to reduce the risk of cancer development, a key thing is to introduce other imaging methods to the postoperative control algorithms – angio-MR, USG-Doppler. Mean dose of radiation received during a follow-up examination after EVAR was 24,05 mSv and increased the risk of cancer development by **0,07%**.
5. A single endovascular procedure using stent-graft was characterized by a relatively low exposure of the patient to doses of ionizing radiation in relation to the total doses. The average radiation dose received during a treatment was 22.7 mSv, which increased the risk of cancer development by **0,03%**.

Bibliografia

- [1] H. Murillo, M. J. Lane, R. Punn, D. Fleischmann, and C. S. Restrepo, “Imaging of the Aorta: Embryology and Anatomy”, *Semin. Ultrasound, CT MRI*, pp. 169–190, 2012, doi: 10.1053/j.sult.2012.01.013.
- [2] M. R. Adam Bochenek, *Anatomia człowieka*. 2010.
- [3] F. Dagenais, “Anatomy of the Thoracic Aorta and of Its Branches”, *Thoracic Surgery Clinics*. pp. 219–227, 2011, doi: 10.1016/j.thorsurg.2010.12.004.
- [4] P. Lasjaunias, K. G. Ter Brugge, and A. Berenstein, *Surgical neuroangiography: Clinical and interventional aspects in children*. 2006.
- [5] R. S. Mitchell *et al.*, “First International Summit on Thoracic Aortic Endografting: Roundtable on thoracic aortic dissection as an indication for endografting”, in *Journal of Endovascular Therapy*, 2002, pp. 98–105.
- [6] F. J. Criado, M. F. Barnatan, Y. Rizk, N. S. Clark, and C. F. Wang, “Technical strategies to expand stent-graft applicability in the aortic arch and proximal descending thoracic aorta”, in *Journal of Endovascular Therapy*, 2002, pp. 32–38.
- [7] J. Kurcz, E. Nienartowicz, J. Słonina, J. Garcarek, and K. Moroń, “The usefulness of CT-angiography in detecting anatomical variants of arteries arising from the abdominal aorta and aortic arch”, *Adv. Clin. Exp. Med.*, pp. 751–760, 2007.
- [8] R. Juszkat, J. Kulesza, A. Zarzecka, M. Jemielity, R. Staniszewski, and W. Majewski, “New technique for the preservation of the left common carotid artery in zone 2a endovascular repair of thoracic aortic aneurysm”, *Cardiovasc. Intervent. Radiol.*, pp. 67–73, 2011, doi: 10.1007/s00270-010-9858-2.
- [9] R. S. Mitchell *et al.*, “Third International Summit on Thoracic Aortic Endografting: Lessons from long-term results of thoracic stent-graft repairs”, in *Journal of Endovascular Therapy*, 2005, pp. 89–97, doi: 10.1583/04-1408R.1.
- [10] N. J. Swerdlow, W. W. Wu, and M. L. Schermerhorn, “Open and Endovascular Management of Aortic Aneurysms”, *Circ. Res.*, pp. 647–61, 2019, doi:

10.1161/CIRCRESAHA.118.313186.

- [11] A. Pupka, D. Blocher, P. Chruściel, A. Lepiesza, and A. Rojek, “Synthetic endovascular prostheses in the treatment of the aortic dissection”, *Polimery w medycynie*, pp. 9–19, 2009.
- [12] M. W. *et al.*, “Original method of treatment applied to the patient with rupturing thoracoabdominal aortic aneurysm, multi-organ insufficiency and advance limb ischemia”, *Acta Angiol.*, p. , 2014.
- [13] A. Saratzis, N. Saratzis, D. Fillipou, N. Melas, and D. Kiskinis, “Endovascular Stent-graft Repair of an Aortobronchial Fistula: Case Report and Review of the Literature”, *EJVES Extra*, pp. 123–125, 2005, doi: 10.1016/j.ejvsextra.2005.03.001.
- [14] N. L. Volodos *et al.*, “Clinical experience of the use of self-fixing synthetic prostheses for remote endoprosthetics of the thoracic and the abdominal aorta and iliac arteries through the femoral artery and as intraoperative endoprosthesis for aorta reconstruction”, in *Vasa – Journal of Vascular Diseases*, 1991, pp. 93–95.
- [15] R. M. Fairman *et al.*, “Pivotal results of the Medtronic Vascular Talent Thoracic Stent Graft System: The VALOR Trial”, *J. Vasc. Surg.*, pp. 546–54, 2008, doi: 10.1016/j.jvs.2008.03.061.
- [16] J. C. Parodi, J. C. Palmaz, and H. D. Barone, “Transfemoral Intraluminal Graft Implantation for Abdominal Aortic Aneurysms”, *Ann. Vasc. Surg.*, pp. 491–9, 1991, doi: 10.1007/BF02015271.
- [17] M. D. Dake *et al.*, “Endovascular stent-graft placement for the treatment of acute aortic dissection”, *N. Engl. J. Med.*, pp. 1546–52, 1999, doi: 10.1056/NEJM199905203402004.
- [18] J. J. Fulton, M. A. Farber, W. A. Marston, R. Mendes, M. A. Mauro, and B. A. Keagy, “Endovascular stent-graft repair of pararenal and type IV thoracoabdominal aortic aneurysms with adjunctive visceral reconstruction”, *J. Vasc. Surg.*, pp. 25–31, 2005, doi: 10.1016/j.jvs.2004.10.049.
- [19] R. M. Greenhalgh *et al.*, “Endovascular versus open repair of abdominal aortic aneurysm”, *N. Engl. J. Med.*, pp. 843–8, 2010, doi: 10.1056/NEJMoa0909305.
- [20] J. D. Blankensteijn *et al.*, “Two-year outcomes after conventional or endovascular

- repair of abdominal aortic aneurysms”, *N. Engl. J. Med.*, pp. 2398–405, 2005, doi: 10.1056/NEJMoa051255.
- [21] M. D. Dake, C. P. Semba, R. P. Liddell, D. C. Miller, R. S. Mitchell, and P. J. Walker, “Transluminal placement of endovascular stent-grafts for the treatment of descending thoracic aortic aneurysms”, *N. Engl. J. Med.*, pp. 1731–34, 1994, doi: 10.1056/NEJM199412293312601.
- [22] F. M. Davis, A. Daugherty, and H. S. Lu, “Updates of recent aortic aneurysm research”, *Arteriosclerosis, Thrombosis, and Vascular Biology*. pp. 83–90, 2019, doi: 10.1161/ATVBAHA.119.312000.
- [23] J. Brunkwall, M. Gawenda, M. Südkamp, and M. Zähringer, “Current indication for endovascular treatment of thoracic aneurysms”, *Journal of Cardiovascular Surgery*. pp. 365–70, 2003.
- [24] Y. Itani, S. Watanabe, and Y. Masuda, “Aortic Calcification Detected in a Mass Chest Screening Program Using a Mobile Helical Computed Tomography Unit”, *Circ. J.*, pp. 42–45, 2004, doi: 10.1253/circj.68.538.
- [25] S. M. Melton *et al.*, “The Evolution of Chest Computed Tomography for the Definitive Diagnosis of Blunt Aortic Injury: A Single-Center Experience”, *Journal of Trauma – Injury, Infection and Critical Care*. pp. 243–250, 2004, doi: 10.1097/01.TA.0000111751.84052.24.
- [26] G. Johansson, S. Nydahl, P. Olofsson, and J. Swedenborg, “Survival in patients with abdominal aortic aneurysms. Comparison between operative and nonoperative management”, *Eur. J. Vasc. Surg.*, pp. 497–502, 1990, doi: 10.1016/S0950-821X(05)80791-1.
- [27] M. Wassef *et al.*, “Pathogenesis of abdominal aortic aneurysms: A multidisciplinary research program supported by the National Heart, Lung, and Blood Institute”, *J. Vasc. Surg.*, pp. 730–738, 2001, doi: 10.1067/mva.2001.116966.
- [28] G. A. Kuzmik, A. X. Sang, and J. A. Elefteriades, “Natural history of thoracic aortic aneurysms”, *J. Vasc. Surg.*, p. 565, 2012, doi: 10.1016/j.jvs.2012.04.053.
- [29] Y. Von Kodolitsch *et al.*, “Intramural hematoma of the aorta: Predictors of progression to dissection and rupture”, *Circulation*, pp. 58–63, 2003, doi:

10.1161/01.CIR.0000052628.77047.EA.

- [30] C. A. Nienaber, T. C. Rehders, and H. Ince, “Interventional strategies for treatment of aortic dissection”, *J. Cardiovasc. Surg. (Torino)*, pp. 487–496, 2006.
- [31] T. Fukui, “Management of acute aortic dissection and thoracic aortic rupture”, *Journal of Intensive Care*. pp. 6–15, 2018, doi: 10.1186/s40560-018-0287-7.
- [32] S. J. McPherson, “Thoracic aortic and great vessel trauma and its management”, *Seminars in Interventional Radiology*. pp. 180–96, 2007, doi: 10.1055/s-2007-980042.
- [33] G. L. Tang *et al.*, “Reduced mortality, paraplegia, and stroke with stent graft repair of blunt aortic transections: A modern meta-analysis”, *Journal of Vascular Surgery*. pp. 671–5, 2008, doi: 10.1016/j.jvs.2007.08.031.
- [34] P. Presbitero *et al.*, “Long term results (15-30 years) of surgical repair of aortic coarctation”, *Br. Heart J.*, pp. 462–7, 1987.
- [35] L. Shah, Z. Hijazi, S. Sandhu, A. Joseph, and Q. L. Cao, “Use of endovascular stents for the treatment of coarctation of the aorta in children and adults: Immediate and midterm results”, *J. Invasive Cardiol.*, pp. 614–18, 2005.
- [36] C. B. Pilla, V. F. Fontes, and C. A. C. Pedra, “Endovascular stenting for aortic coarctation”, *Expert Review of Cardiovascular Therapy*. pp. 879–90, 2005, doi: 10.1586/14779072.3.5.879.
- [37] B. Leaney, “What’s new in vascular interventional radiology? Aortic stent grafting”, *Australian family physician*. pp. 294–297, 2006.
- [38] D. J. Arnaoutakis *et al.*, “Strategies and outcomes for aortic endograft explantation”, *J. Vasc. Surg.*, pp. 80–85, 2019, doi: 10.1016/j.jvs.2018.03.426.
- [39] I. Droc, F. B. Calinescu, G. Droc, C. Blaj, and R. Dammrau, “Aortic stenting”, *Minim. Invasive Ther. Allied Technol.*, pp. 296–304, 2015, doi: 10.3109/13645706.2015.1065890.
- [40] M. Szczerbo-Trojanowska, J. Michalak, T. Jargiełło, F. Brakowiecki, R. Pietura, and T. Zubilewicz, “Trzy lata doświadczeń w leczeniu tętniaków aorty brzusznej przy użyciu rozwidlonych protez wewnątrznaczyniowych – Stentgraftów”, *Pol. Przegl. Chir.*, 2002.

- [41] M. S. Makaroun *et al.*, “Endovascular treatment of thoracic aortic aneurysms: Results of the phase II multicenter trial of the GORE TAG thoracic endoprosthesis”, *J. Vasc. Surg.*, 2005, doi: 10.1016/j.jvs.2004.10.046.
- [42] J. N. Albertini *et al.*, “Anatomical risk factors for proximal perigraft endoleak and graft migration following endovascular repair of abdominal aortic aneurysms”, *Eur. J. Vasc. Endovasc. Surg.*, 2000, doi: 10.1053/ejvs.1999.1045.
- [43] P. Volpe *et al.*, “Preliminary Results of Aorfix™ Stent Graft to Treat Infrarenal Abdominal Aortic Aneurysms with Severe Proximal Aortic Neck Angulation”, *Ann. Vasc. Surg.*, pp. 193–98, 2017, doi: 10.1016/j.avsg.2017.05.012.
- [44] S. Iwakoshi *et al.*, “Conformability and Efficacy of the Zenith Spiral Z Leg Compared with the Zenith Flex Leg in Endovascular Abdominal Aortic Aneurysm Repair”, *Ann. Vasc. Surg.*, pp. 127–33, 2019, doi: 10.1016/j.avsg.2019.02.013.
- [45] D. Midy *et al.*, “Results of the French Multicentric Study of ANACONDA™ Fenestrated Endografts in the Treatment of Complex Aortic Pathologies (EFEFA Registry)”, *Ann. Vasc. Surg.*, pp. 151–165, 2017, doi: 10.1016/j.avsg.2017.03.171.
- [46] M. Brooks, I. Loftus, R. Morgan, and M. Thompson, “The valiant thoracic endograft”, *J. Cardiovasc. Surg. (Torino)*, pp. 269–78, 2006.
- [47] M. Antonello, F. Squizzato, A. Dall’Antonia, F. Grego, and M. Piazza, “GORE TAG Thoracic Endograft with Active Control System: Landing Accuracy and Wall Apposition in an Initial Clinical Experience”, *Ann. Vasc. Surg.*, pp. 261–69, 2019, doi: 10.1016/j.avsg.2018.11.020.
- [48] R. Rhee, B. Peterson, E. Moore, M. Lepore, and G. Oderich, “Initial human experience with the GORE EXCLUDER Conformable AAA Endoprosthesis”, *J. Vasc. Surg. Cases Innov. Tech.*, pp. 319–22, 2019, doi: 10.1016/j.jvscit.2019.03.014.
- [49] J. Sobocinski *et al.*, “Evaluation of the Zenith low-profile abdominal aortic aneurysm stent graft”, *J. Vasc. Surg.*, pp. 841–7, 2015, doi: 10.1016/j.jvs.2015.04.452.
- [50] A. Reyes Valdivia *et al.*, “Multicenter European Registry for Patients with AAA Undergoing EVAR Evaluating the Performance of the 36-mm-Diameter Endurant Stent-Graft”, *Cardiovasc. Intervent. Radiol.*, pp. 1514–21, 2017, doi: 10.1007/s00270-017-1665-6.

- [51] J. K. Hoang, S. Martinez, and L. M. Hurwitz, “MDCT angiography of thoracic aorta endovascular stent-grafts: Pearls and pitfalls”, *American Journal of Roentgenology*. pp. 515–24, 2009, doi: 10.2214/AJR.08.1365.
- [52] R. Patel, M. J. Sweeting, J. T. Powell, and R. M. Greenhalgh, “Endovascular versus open repair of abdominal aortic aneurysm in 15-years’ follow-up of the UK endovascular aneurysm repair trial 1 (EVAR trial 1): a randomised controlled trial”, *Lancet*, pp. 2179–86, 2016, doi: 10.1016/S0140-6736(16)31135-7.
- [53] R. Juszkat, B. Perek, P. Buczkowski, K. Stanisławska, and M. Jemielity, “Leczenie zachowawcze bezobjawowego zamknięcia się stentgraftu piersiowego”, *Acta Angiol.*, pp. 138–43, 2010.
- [54] O. Preventza *et al.*, “Management of endoleaks associated with endovascular treatment of descending thoracic aortic diseases”, *J. Vasc. Surg.*, pp. 69–73, 2008, doi: 10.1016/j.jvs.2008.02.032.
- [55] S. W. Stavropoulos and J. P. Carpenter, “Postoperative Imaging Surveillance and Endoleak Management After Endovascular Repair of Thoracic Aortic Aneurysms”, in *Advanced Endovascular Therapy of Aortic Disease*, 2007, pp. 89–93.
- [56] D. Daye and T. G. Walker, “Complications of endovascular aneurysm repair of the thoracic and abdominal aorta: Evaluation and management”, *Cardiovascular Diagnosis and Therapy*. pp. 138–56, 2018, doi: 10.21037/cdt.2017.09.17.
- [57] E. L. Chaikof *et al.*, “The Society for Vascular Surgery practice guidelines on the care of patients with an abdominal aortic aneurysm”, *J. Vasc. Surg.*, pp. 1–77, 2018, doi: 10.1016/j.jvs.2017.10.044.
- [58] S. S. Parmer *et al.*, “Endoleaks after endovascular repair of thoracic aortic aneurysms”, *J. Vasc. Surg.*, pp. 447–52, 2006, doi: 10.1016/j.jvs.2006.05.041.
- [59] J. A. Williams *et al.*, “Early Surgical Experience With Loeys-Dietz: A New Syndrome of Aggressive Thoracic Aortic Aneurysm Disease”, *Ann. Thorac. Surg.*, pp. 757–63, 2007, doi: 10.1016/j.athoracsur.2006.10.091.
- [60] S. Gianfaldoni, R. Gianfaldoni, U. Wollina, J. Lotti, G. Tchernev, and T. Lotti, “An overview on radiotherapy: From its history to its current applications in dermatology”, *Open Access Maced. J. Med. Sci.*, pp. 521–25, 2017, doi: 10.3889/oamjms.2017.122.

- [61] M. Donya, M. Radford, A. ElGuindy, D. Firmin, and M. H. Yacoub, “Radiation in medicine: Origins, risks and aspirations”, *Glob. Cardiol. Sci. Pract.*, pp. 437–38, 2014, doi: 10.5339/gcsp.2014.57.
- [62] M. Urbanik, “[The Roentgen’s discovery – first press releases, research articles and textbooks in Kraków]”, *Przegląd Lek.*, pp. 359–365, 2013.
- [63] F. N. Flakus, “Radiation detection Detecting and measuring ionizing radiation – a short history”, *IEAE Bull.*, pp. 31–36, 1981.
- [64] G. C. de Hevesy, “Marie Curie and her contemporaries. The Becquerel-Curie memorial lecture”, *J. Nucl. Med.*, pp. 116–31, 1984.
- [65] M. D. Blafox, “Becquerel and the discovery of radioactivity: Early concepts”, *Semin. Nucl. Med.*, 1996.
- [66] L. Badash, “The Discovery of Radioactivity”, *Phys. Today*, 1996, doi: 10.1063/1.881485.
- [67] V. Nesvizhevsky and J. Villain, “The discovery of the neutron and its consequences (1930–1940)”, *Comptes Rendus Phys.*, pp. 592–600, 2017, doi: 10.1016/j.crhy.2017.11.001.
- [68] B. W. Brook, A. Alonso, D. A. Meneley, J. Misak, T. Blees, and J. B. van Erp, “Why nuclear energy is sustainable and has to be part of the energy mix”, *Sustain. Mater. Technol.*, pp. 8–16, 2014, doi: 10.1016/j.susmat.2014.11.001.
- [69] G. Jezierski, “100-lecie lampy rentgenowskiej”, *Przegląd Spaw. – Weld. Technol. Rev.*, pp. 16–21, 2013, doi: 10.26628/ps.v85i12.139.
- [70] L. R. Goodman, “The Beatles, the Nobel Prize, and CT Scanning of the Chest”, *Thoracic Surgery Clinics*. pp. 1–7, 2010, doi: 10.1016/j.thorsurg.2009.12.001.
- [71] M. A. Shampo and R. A. Kyle, “Allan Cormack--codeveloper of computed tomographic scanner”, *Mayo Clin. Proc.*, pp. 5–8, 1996, doi: 10.4065/71.3.288.
- [72] N. I. Zakariya and N. I. Zakariya, “Benefits and Biological Effects of Ionizing Radiation”, *Sch. Acad. J. Biosci.*, pp. 583–591, 2014.
- [73] O. P. Haqqani, P. K. Agarwal, N. M. Halin, and M. D. Iafrati, “Minimizing radiation exposure to the vascular surgeon”, *J. Vasc. Surg.*, pp. 799–805, 2012, doi:

10.1016/j.jvs.2011.08.055.

- [74] Z. Zdrojewicz, A. Szlagor, M. Wielogórska, D. Nowakowska, and J. Nowakowski, “Influence of ionizing radiation on human body”, *Fam. Med. Prim. Care Rev.*, pp. 174–79, 2016, doi: 10.5114/fmpcr/43945.
- [75] A. J. Garcia-Sanchez, E. A. G. Angosto, P. A. M. Riquelme, A. S. Berna, and D. Ramos-Amores, “Ionizing radiation measurement solution in a hospital environment”, *Sensors (Switzerland)*, pp. 510–42, 2018, doi: 10.3390/s18020510.
- [76] A. Vaiserman, A. Koliada, O. Zabuga, and Y. Socol, “Health Impacts of Low-Dose Ionizing Radiation: Current Scientific Debates and Regulatory Issues”, *Dose-Response*. pp. 1–27, 2018, doi: 10.1177/1559325818796331.
- [77] J. J. Cardarelli and B. A. Ulsh, “It is time to move beyond the linear no-threshold theory for low-dose radiation protection”, *Dose-Response*, pp. 1–24, 2018, doi: 10.1177/1559325818779651.
- [78] R. Clarke, “UNSCEAR 2000 Report”, *Natl. Radiol. Prot. Board*, 2000.
- [79] Z. Jaworowski, “Radiation risk and ethics”, *Phys. Today*, pp. 24–29, 1999, doi: 10.1063/1.882810.
- [80] A. Kraska and B. Bilski, “Narażenie pracowników ochrony zdrowia na promieniowanie jonizujące a hipoteza hormezy radiacyjnej”, *Med. Pr.*, pp. 371–76, 2012.
- [81] E. Burgio, P. Piscitelli, and L. Migliore, “Ionizing radiation and human health: Reviewing models of exposure and mechanisms of cellular damage. an epigenetic perspective”, *International Journal of Environmental Research and Public Health*. p. 1971, 2018, doi: 10.3390/ijerph15091971.
- [82] J. song Wang, H. juan Wang, and H. li Qian, “Biological effects of radiation on cancer cells”, *Military Medical Research*. 2018, doi: 10.1186/s40779-018-0167-4.
- [83] K. R. Beckett, A. K. Moriarity, and J. M. Langer, “Safe use of contrast media: What the radiologist needs to know”, *Radiographics*. pp. 1738–1750, 2015, doi: 10.1148/rg.2015150033.
- [84] J. Garcarek, A. Falkowski, D. Janczak, and W. Weyde, “Radiation hygiene in

- interventional radiology suite”, *Postepy Hig. Med. Dosw.*, pp. 1391–1396, 2013, doi: 10.5604/17322693.1085129.
- [85] K. N. Prasad, W. C. Cole, and G. M. Haase, “Radiation protection in humans: Extending the concept of as low as reasonably achievable (ALARA) from dose to biological damage”, *British Journal of Radiology*. pp. 97–99, 2004, doi: 10.1259/bjr/88081058.
- [86] R. Moura and F. A. Bacchim Neto, “Proteção radiológica aplicada à radiologia intervencionista”, *Jornal Vascular Brasileiro*, p. , 2015.
- [87] D. L. Miller *et al.*, “Occupational radiation protection in interventional radiology: A joint guideline of the cardiovascular and interventional radiology society of Europe and the society of interventional radiology”, *J. Vasc. Interv. Radiol.*, p. , 2010, doi: 10.1016/j.jvir.2010.01.007.
- [88] G. Weissmann, “Fukushima Daiichi and Icarus: The human factor in a meltdown (Sv=1J/kg.w)”, *FASEB Journal*. pp. 1777–80, 2011, doi: 10.1096/fj.11-0601ufm.
- [89] D. R. Fisher and F. H. Fahey, “Appropriate use of effective dose in radiation protection and risk assessment”, *Health Phys.*, pp. 102–09, 2017, doi: 10.1097/HP.0000000000000674.
- [90] M. A. Błaszak, N. Majewska, R. Juszkat, and W. Majewski, “Dose-area product to patients during stent-graft treatment of thoracic and abdominal aortic aneurysms”, *Health Phys.*, pp. 206–11, 2009, doi: 10.1097/HP.0b013e3181abaafd.
- [91] J. A. Kalef-Ezra, S. Karavasilis, D. Ziogas, D. Dristiliaris, L. K. Michalis, and M. Matsagas, “Radiation burden of patients undergoing endovascular abdominal aortic aneurysm repair”, *J. Vasc. Surg.*, pp. 283–7, 2009, doi: 10.1016/j.jvs.2008.09.003.
- [92] M. T. Bahreyni Toosi, M. Nazery, and H. Zare, “Application of dose-area product compared with three other dosimetric quantities used to estimate patient effective dose in diagnostic radiology”, *Iran. J. Radiat. Res.*, pp. 21–27, 2006.
- [93] F. R. Verdun, F. Bochud, F. Gundinchet, A. Aroua, P. Schnyder, and R. Meuli, “Quality initiatives* radiation risk: what you should know to tell your patient”, *Radiographics*, 2008.
- [94] G. Panuccio, R. K. Greenberg, K. Wunderle, T. M. Mastracci, M. G. Eagleton, and

- W. Davros, "Comparison of indirect radiation dose estimates with directly measured radiation dose for patients and operators during complex endovascular procedures", *J. Vasc. Surg.*, 2011, doi: 10.1016/j.jvs.2010.10.106.
- [95] *Health risks from exposure to low levels of ionizing radiation: BEIR VII Phase 2*. 2006.
- [96] G. Kalender, M. Lisy, U. A. Stock, A. Endisch, and A. Kornberger, "Identification of Factors Influencing Cumulative Long-Term Radiation Exposure in Patients Undergoing EVAR", *Int. J. Vasc. Med.*, 2017, doi: 10.1155/2017/9763075.
- [97] S. Lee, J. Kim, and S. Han, "A Comparative Review of Radiation-induced Cancer Risk Models", *J. Radiat. Prot. Res.*, 2017, doi: 10.14407/jrpr.2017.42.2.130.
- [98] D. Bor *et al.*, "Comparison of effective doses obtained from dose-area product and air kerma measurements in interventional radiology", *Br. J. Radiol.*, 2004, doi: 10.1259/bjr/29942833.
- [99] P. Howells, R. Eaton, A. S. Patel, P. Taylor, and B. Modarai, "Risk of radiation exposure during endovascular aortic repair", *Eur. J. Vasc. Endovasc. Surg.*, 2012, doi: 10.1016/j.ejvs.2011.12.031.
- [100] M. G. Stanišić, N. Majewska, M. Błaszak, M. Frankiewicz, and M. Makalowski, "Radiation overdose during stent-graft placement in aortic type B dissection", *Acta Angiol.*, 2012.
- [101] H. Holgert, T. Hokfelt, T. Hertzberg, and H. Lagercrantz, "Functional and developmental studies of the peripheral arterial chemoreceptors in rat: effects of nicotine and possible relation to sudden infant death syndrome", *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 2006, doi: 10.1073/pnas.92.16.7575.
- [102] R. Machado, V. M. D. Ferreira, L. Loureiro, J. Gonçalves, P. Oliveira, and R. Almeida, "Radiation exposure in endovascular infra-renal aortic aneurysm repair and factors that influence it", *Brazilian J. Cardiovasc. Surg.*, 2016, doi: 10.5935/1678-9741.20160084.
- [103] A. Sodickson *et al.*, "Recurrent CT, cumulative radiation exposure, and associated radiation-induced cancer risks from CT of adults", *Radiology*, 2009, doi: 10.1148/radiol.2511081296.
- [104] M. J. Budoff *et al.*, "Assessment of coronary artery disease by cardiac computed tomography: A scientific statement from the American Heart Association Committee

on Cardiovascular Imaging and Intervention, Council on Cardiovascular Radiology and Intervention, and Committee on C”, *Circulation*. 2006, doi: 10.1161/CIRCULATIONAHA.106.178458.

- [105] S. Zoli *et al.*, “Cumulative radiation exposure during thoracic endovascular aneurysm repair and subsequent follow-up”, *Eur. J. Cardio-thoracic Surg.*, 2012, doi: 10.1093/ejcts/ezr301.
- [106] C. Walsh *et al.*, “Measurement and optimization of patient radiation doses in endovascular aneurysm repair”, *Eur. J. Vasc. Endovasc. Surg.*, 2012, doi: 10.1016/j.ejvs.2012.01.028.
- [107] E. L. G. Verhoeven, K. Oikonomou, F. C. Ventin, P. Lerut, R. Fernandes E Fernandes, and L. Mendes Pedro, “Is it time to eliminate CT after EVAR as routine follow-up?”, *J. Cardiovasc. Surg. (Torino)*, 2011.
- [108] J. A. Kalef-Ezra, S. Karavasilis, D. Ziogas, D. Dristiliaris, L. K. Michalis, and M. Matsagas, “Radiation burden of patients undergoing endovascular abdominal aortic aneurysm repair”, *J. Vasc. Surg.*, 2009, doi: 10.1016/j.jvs.2008.09.003.
- [109] H. Geijer, T. Larzon, R. Popek, and K. W. Beckman, “Radiation exposure in stent-grafting of abdominal aortic aneurysms”, *Br. J. Radiol.*, 2005, doi: 10.1259/bjr/72629938.
- [110] H. A. White and S. MacDonald, “Estimating risk associated with radiation exposure during follow-up after endovascular aortic repair (EVAR)”, *Journal of Cardiovascular Surgery*. 2010.
- [111] D. J. Weiss, I. I. Pipinos, G. M. Longo, T. G. Lynch, F. J. Rutar, and J. M. Johanning, “Direct and Indirect Measurement of Patient Radiation Exposure during Endovascular Aortic Aneurysm Repair”, *Ann. Vasc. Surg.*, 2008, doi: 10.1016/j.avsg.2008.06.008.
- [112] T. R. Koenig, D. Wolff, F. A. Mettler, and L. K. Wagner, “Skin injuries from fluoroscopically guided procedures: Part I, characteristics of radiation injury”, *American Journal of Roentgenology*. 2001, doi: 10.2214/ajr.177.1.1770003.
- [113] C. Jones, S. A. Badger, C. S. Boyd, and C. V. Soong, “The impact of radiation dose exposure during endovascular aneurysm repair on patient safety”, *J. Vasc. Surg.*, 2010, doi: 10.1016/j.jvs.2010.03.004.

- [114] A. J. Einstein *et al.*, “Radiation dose and cancer risk estimates in 16-slice computed tomography coronary angiography”, *J. Nucl. Cardiol.*, 2008, doi: 10.1016/j.nuclcard.2007.09.028.
- [115] R. A. Weerakkody, S. R. Walsh, C. Cousins, K. E. Goldstone, T. Y. Tang, and M. E. Gaunt, “Radiation exposure during endovascular aneurysm repair”, in *British Journal of Surgery*, 2008, doi: 10.1002/bjs.6229.
- [116] T. Nyheim, L. E. Staxrud, J. J. Jørgensen, K. Jensen, H. M. Olerud, and G. Sandbæk, “Radiation exposure in patients treated with endovascular aneurysm repair: What is the risk of cancer, and can we justify treating younger patients?”, *Acta radiol.*, 2017, doi: 10.1177/0284185116651002.
- [117] R. Motaganahalli, A. Martin, B. J. Feliciano, M. P. Murphy, J. Slaven, and M. C. Dalsing, “Estimating the risk of solid organ malignancy in patients undergoing routine computed tomography scans after endovascular aneurysm repair”, *J. Vasc. Surg.*, 2012, doi: 10.1016/j.jvs.2012.02.061.
- [118] M. A. Błaszak and R. Juszkat, “Monte Carlo simulations for assessment of organ radiation doses and cancer risk in patients undergoing abdominal stent-graft implantation”, *Eur. J. Vasc. Endovasc. Surg.*, 2014, doi: 10.1016/j.ejvs.2014.03.014.
- [119] K. Hoshina, S. Ishimaru, Y. Sasabuchi, H. Yasunaga, and K. Komori, “Outcomes of Endovascular Repair for Abdominal Aortic Aneurysms: A Nationwide Survey in Japan”, *Ann. Surg.*, 2019, doi: 10.1097/SLA.0000000000002508.
- [120] B. M. Jackson and J. P. Carpenter, “Devices used for endovascular aneurysm repair: Past, present, and future”, *Seminars in Interventional Radiology*. 2009, doi: 10.1055/s-0029-1208382.
- [121] N. Majewska *et al.*, “Patients’ radiation doses during thoracic stent-graft implantation: The problem of long-lasting procedures”, *Ann. Thorac. Surg.*, 2012, doi: 10.1016/j.athoracsur.2011.09.062.
- [122] E. Choke *et al.*, “Outcomes of endovascular abdominal aortic aneurysm repair in patients with hostile neck anatomy”, *Cardiovasc. Intervent. Radiol.*, 2006, doi: 10.1007/s00270-006-0011-1.
- [123] J. N. Albertini *et al.*, “Aorfix stent graft for abdominal aortic aneurysms reduces the

risk of proximal type 1 endoleak in angulated necks: Bench-test study”, *Vascular*, 2005, doi: 10.2310/6670.2005.00200.

- [124] A. S. Thakor, A. Winterbottom, M. Mercuri, C. Cousins, and M. E. Gaunt, “The radiation burden from increasingly complex endovascular aortic aneurysm repair”, *Insights Imaging*, 2011, doi: 10.1007/s13244-011-0120-5.

Spis rycin

Rycina 1. Anatomia aorty	5
Rycina 2. Wybrane stentgrafty aortalne	13
Rycina 3. Przenikliwość promieniowania	19
Rycina 4. Krzywa przeżycia Kaplana-Meyera dla czasu trwania kontroli po zabiegu wewnątrznacyniowego wszczepienia	47
Rycina 5. Badanie kontrolne po zabiegu wszczepienia stentgraftu aortalnego typu branch	50
Rycina 6. Symulacja całkowitej życiowej dawki promieniowania związanej z zabiegiem wewnątrznacyniowego wszczepienia stentgraftu do aorty w zależności od wieku przeprowadzenia zabiegu (mężczyźni)	61
Rycina 7. Symulacja całkowitej życiowej dawki promieniowania związanej z zabiegiem wewnątrznacyniowego wszczepienia stentgraftu do aorty w zależności od wieku przeprowadzenia zabiegu (kobiety)	62
Rycina 8. Symulacja całkowitego życiowego wzrostu ryzyka nowotworu związanego z zabiegiem wewnątrznacyniowego wszczepienia stentgraftu do aorty w zależności od wieku przeprowadzenia zabiegu (mężczyźni)	64
Rycina 9. Symulacja całkowitego życiowego wzrostu ryzyka nowotworu związanego z zabiegiem wewnątrznacyniowego wszczepienia stentgraftu do aorty w zależności od wieku przeprowadzenia zabiegu (kobiety)	64

Spis tabel

Tabela 1. Klasyfikacja rozwarstwień aorty.....	10
Tabela 2. Klasyfikacja przecieków.....	15
Tabela 3. Radioczułość wybranych organów na promieniowanie jonizujące.....	25
Tabela 4. Charakterystyka demograficzna grupy badawczej.....	30
Tabela 5. Statystyki opisowe dla wieku grupy badawczej.....	32
Tabela 6. Liczba badań angio-tk przed zabiegiem wewnątrznacyniowego wszczepienia stentgraftu do aorty w grupie badawczej.....	33
Tabela 7. Statystyki opisowe dla długości obserwacji przed zabiegiem wewnątrznacyniowego wszczepienia stentgraftu do aorty w grupie badawczej.....	33
Tabela 8. Statystyki opisowe dla średnicy tętniaka przed zabiegiem wewnątrznacyniowego wszczepienia stentgraftu do aorty w grupie badawczej.....	34
Tabela 9. Statystyki opisowe dla dawki promieniowania i wzrostu ryzyka nowotworu przed zabiegiem wewnątrznacyniowego wszczepienia stentgraftu do aorty w grupie badawczej.....	35
Tabela 10. Porównanie średniej dawki promieniowania pomiędzy badaniami angio-tk przed zabiegiem wewnątrznacyniowego wszczepienia stentgraftu do aorty w grupie badawczej.....	35

Tabela 11. Charakterystyka zabiegów wewnątrznacyniowego wszczepienia stentgraftu w grupie badawczej.....	37
Tabela 12. Rodzaje stentgraftów użytych w przeprowadzonych zabiegach.....	38
Tabela 13. Statystyki opisowe dla czasu świecenia fluoroskopu i czasu trwania zabiegu wewnątrznacyniowego wszczepienia stentgraftu do aorty w grupie badawczej.....	39
Tabela 14. Statystyki opisowe dla dawki promieniowania i wzrostu ryzyka nowotworu przy zabiegu wewnątrznacyniowego wszczepienia stentgraftu do aorty w grupie badawczej.....	40
Tabela 15. Porównanie średniej dawki promieniowania pomiędzy zabiegami wewnątrznacyniowego wszczepienia stentgraftu do aorty w grupie badawczej.....	40
Tabela 16. Korelacja czasu trwania zabiegu i czasu świecenia fluoroskopu z dawką promieniowania przy zabiegu wewnątrznacyniowego wszczepienia stentgraftu do aorty w grupie badawczej.....	41
Tabela 17. Statystyki opisowe dla dawki promieniowania przy zabiegu wewnątrznacyniowego wszczepienia stentgraftu do aorty względem rodzaju stentgraftu w grupie badawczej.....	42
Tabela 18. Porównanie dawki promieniowania przy zabiegu wewnątrznacyniowego wszczepienia stentgraftu do aorty względem rodzaju stentgraftu w grupie badawczej.....	43
Tabela 19. Powikłania przy zabiegu wewnątrznacyniowego wszczepienia stentgraftu w grupie badawczej.....	44
Tabela 20. Porównanie średniej średnicy tętniaka u pacjentów z powikłaniami i bez powikłań przy zabiegu wewnątrznacyniowego wszczepienia stentgraftu do aorty w grupie badawczej.....	44

Tabela 21. Częstość powikłań przy zabiegu wewnątrznacyniowego wszczepienia stentgraftu względem rodzaju stentgraftu w grupie badawczej.....	45
Tabela 22. Rozkład liczby badań kontrolnych po zabiegu wewnątrznacyniowego wszczepienia stentgraftu do aorty w grupie badawczej.....	46
Tabela 23. Statystyki opisowe dla długości kontroli po zabiegu wewnątrznacyniowego wszczepienia stentgraftu do aorty w grupie badawczej.....	47
Tabela 24. Częstość badań kontrolnych po zabiegu wewnątrznacyniowego wszczepienia stentgraftu do aorty w grupie badawczej.....	48
Tabela 25. Częstość badań kontrolnych po zabiegu wewnątrznacyniowego wszczepienia stentgraftu do aorty dla pacjentów o minimum 4 badaniach kontrolnych w grupie badawczej.....	49
Tabela 26. Statystyki opisowe dla dawki promieniowania i wzrostu ryzyka nowotworu w trakcie kontroli po zabiegu wewnątrznacyniowego wszczepienia stentgraftu do aorty w grupie badawczej.....	51
Tabela 27. Porównanie średniej dawki promieniowania pomiędzy badaniami w trakcie kontroli po zabiegu wewnątrznacyniowego wszczepienia stentgraftu do aorty w grupie badawczej.....	50
Tabela 28. Powikłania w trakcie kontroli po zabiegu wewnątrznacyniowego wszczepienia stentgraftu do aorty w grupie badawczej.....	52
Tabela 29. Porównanie wieku pacjentów z powikłaniami i bez w trakcie kontroli po zabiegu wewnątrznacyniowego wszczepienia stentgraftu do aorty w grupie badawczej.....	52

Tabela 30. Porównanie średnicy tętniaka pacjentów z powikłaniami i bez w trakcie kontroli po zabiegu wewnątrznacyniowego wszczepienia stentgraftu do aorty w grupie badawczej.....53

Tabela 31. Statystyki opisowe dla czasu pierwszych powikłań w trakcie kontroli po zabiegu wewnątrznacyniowego wszczepienia stentgraftu do aorty w grupie badawczej.....54

Tabela 32. Charakterystyka powikłań pojawiających się z opóźnieniem po zabiegu wewnątrznacyniowego wszczepienia stentgraftu do aorty w grupie badawczej.....54

Tabela 33. Porównanie średniej dawki promieniowania na badanie u pacjentów z powikłaniami i bez w trakcie kontroli po zabiegu wewnątrznacyniowego wszczepienia stentgraftu do aorty w grupie badawczej.....56

Tabela 34. Statystyki opisowe dla całkowitej dawki promieniowania związanej z zabiegiem wewnątrznacyniowego wszczepienia stentgraftu do aorty w grupie badawczej.....57

Tabela 35. Statystyki opisowe dla całkowitego wzrostu ryzyka nowotworu związanego z zabiegiem wewnątrznacyniowego wszczepienia stentgraftu do aorty w grupie badawczej.....56

Tabela 36. Dawka promieniowania w trakcie zabiegu wewnątrznacyniowego jako % całkowitej dawki promieniowania otrzymanej przez pacjenta.....58

Tabela 37. Porównanie średniej dawki promieniowania u pacjentów z powikłaniami i bez powikłań przy zabiegu wewnątrznacyniowego wszczepienia stentgraftu do aorty w grupie badawczej.....59

Tabela 38. Symulacja całkowitej życiowej dawki promieniowania związanej z zabiegiem wewnątrznacyniowego wszczepienia stentgraftu do aorty w zależności od wieku przeprowadzenia zabiegu.....60

Tabela 39. Symulacja całkowitego życiowego wzrostu ryzyka nowotworu związanego z zabiegiem wewnątrznaczyniowego wszczepienia stentgraftu do aorty w zależności od wieku przeprowadzenia zabiegu.....63