

Aterektomia rotacyjna w codziennej praktyce klinicznej. Opinia Grupy Ekspertów Asocjacji Interwencji Sercowo-Naczyniowych Polskiego Towarzystwa Kardiologicznego (AISN PTK)

Sławomir Dobrzycki¹, Krzysztof Reczuch^{2, 3}, Jacek Legutko⁴, Tomasz Pawłowski⁵, Marek Grygier⁶, Andrzej Ochała⁷, Jarosław Wójcik⁸, Paweł Buszman⁹, Dariusz Dudek¹⁰, Mariusz Gąsior¹¹, Robert Gil⁵, Maciej Lesiak⁶, Krzysztof Kukuła¹², Adam Witkowski¹², Wojciech Zajdel⁴, Paweł Kralisz¹, Wojciech Wojakowski¹³, Stanisław Bartuś¹⁰

¹Klinika Kardiologii Inwazyjnej, Uniwersytet Medyczny, Białystok

²Katedra i Klinika Chorób Serca, Uniwersytet Medyczny, Wrocław

³Ośrodek Chorób Serca, 4. Wojskowy Szpital Kliniczny, Wrocław

⁴Klinika Kardiologii Interwencyjnej, Instytut Kardiologii, *Collegium Medicum*, Uniwersytet Jagielloński, Kraków

⁵Klinika Kardiologii Inwazyjnej, Centralny Szpital Kliniczny MSWiA, Warszawa

⁶Klinika Kardiologii, Uniwersytet Medyczny im. K. Marcinkowskiego, Poznań

⁷III Katedra Kardiologii, Śląski Uniwersytet Medyczny, Katowice

⁸Klinika Kardiologii, Samodzielny Szpital Kliniczny nr 4, Lublin

⁹Śląskie Centrum Chorób Serca, Zabrze

¹⁰II Klinika Kardiologii, Instytut Kardiologii, *Collegium Medicum*, Uniwersytet Jagielloński, Kraków

¹¹III Katedra i Oddział Kliniczny Kardiologii, Śląski Uniwersytet Medyczny, Zabrze

¹²Klinika Kardiologii i Angiologii Interwencyjnej, Instytut Kardiologii, Warszawa

¹³III Klinika Kardiologii, Śląski Uniwersytet Medyczny, Katowice

Streszczenie

Powszechne stosowanie stentów, w tym stentów uwalniających leki antyproliferycyjne, stało się przełomem w kardiologii inwazyjnej. Obecnie zmienia się obraz kliniczny pacjentów poddawanych przeszłornej interwencji wieńcowej (PCI). Zaawansowany wiek, cukrzyca, przewlekła choroba nerek, niewydolność serca i wielopoziomowa miażdżycy składają się na typową charakterystykę kliniczną. Wiek, cukrzyca i przewlekła choroba nerek są głównymi determinantami obecności zwapnień w tętnicach wieńcowych. Występowanie masywnych zwapnień w naczyniach wieńcowych jest podstawowym czynnikiem ograniczającym skuteczność PCI. Zwapnienia utrudniają właściwą implantację stentu, czyli uzyskanie jego pełnego rozprężenia oraz prawidłowego przylegania do ściany naczynia (apozycji). Brak prawidłowej apozycji zwiększa ryzyko zakrzepicy w stencie i restenozy. Z tego powodu konieczne jest właściwe przygotowanie zmiany przed implantacją stentu. W niniejszym dokumencie opisano technikę zabiegową aterektomii rotacyjnej (rotablacji), przedstawiono wskazania i przeciwwskazania do zabiegu, możliwe powikłania oraz metody zapobiegania. Poruszono również temat szkolenia operatorów w zakresie rotablacji i refundacji zabiegów aterektomii rotacyjnej w Polsce.

Słowa kluczowe: aterektomia rotacyjna, rotablacja, przeszłorna angioplastyka wieńcowa, choroba niedokrwienności serca

Adres do korespondencji:

Dr hab. n. med. Stanisław Bartuś, II Klinika Kardiologii, Instytut Kardiologii, *Collegium Medicum* Uniwersytetu Jagiellońskiego, ul. Kopernika 17, 31–501 Kraków, e-mail: mbbartus@cyf-kr.edu.pl

Kardiologia Polska Copyright © Polskie Towarzystwo Kardiologiczne 2018

WSTĘP

Chorzy współcześnie poddawani przezskórnym interwencjom wieńcowym (PCI, *percutaneous coronary intervention*) mają zupełnie inną charakterystykę kliniczną i angiograficzną w porównaniu z pacjentami leczonymi przezskórnie dawniej. Zaawansowany wiek, cukrzyca, przewlekła choroba nerek, niewydolność serca i wielopoziomowa miażdżyca składają się na typową charakterystykę kliniczną pacjentów leczonych za pomocą PCI [1, 2]. Obecność tych chorób wpływa na złożoność zmian miażdżycowych oraz na stopień ryzyka operacyjnego [3, 4]. Według aktualnych rekomendacji towarzystw kardiologicznych ostateczny sposób rewaskularyzacji pacjentów ze stabilną chorobą niedokrwienną serca i złożonymi zmianami w tętnicach wieńcowych (szczególnie w przypadku zwężenia pnia głównego lewej tętnicy wieńcowej i/lub choroby wielonaczyniowej) ustala interdyscyplinarny zespół specjalistów składający się z kardiochirurga, kardiologa interwencyjnego i kardiologa zachowawczego (*Heart Team*) [5].

Wiek, cukrzyca i przewlekła choroba nerek są głównymi determinantami obecności zwapnień w tętnicach wieńcowych. Występowanie masywnych zwapnień jest podstawowym czynnikiem ograniczającym skuteczność PCI, zarówno ich wyników bezpośrednich, jak i odległych [6, 7]. Powszechne stosowanie stentów, w tym stentów uwalnających leki antyproliferyacyjne (DES, *drug-eluting stents*), stało się przełomem w kardiologii inwazyjnej. Warunkiem niezbędnym poprawnej implantacji stentów jest uzyskanie ich pełnego rozprężenia i prawidłowego przylegania do ściany naczynia, czyli apozycji. Zwapnienia uniemożliwiają lub utrudniają właściwą implantację stentu, dlatego też konieczne jest właściwe przygotowanie zmiany przed tym zabiegiem. Brak prawidłowej apozycji zwiększa ryzyko zakrzepicy w stencie i restenozy.

OPIS METODY ATEREKTOMII ROTACYJNEJ (ROTABLACJI)

Wprowadzona w 1988 r. metoda aterektomii rotacyjnej (RA, *rotational atherectomy*) jest najbardziej skutecznym sposobem modyfikacji uwapnionej blaszki miażdżycowej [7–9]. Aterektomia rotacyjna, zwana również rotablacją, powoduje poszerzenie światła tętnicy wieńcowej poprzez usunięcie części blaszki miażdżycowej i zmniejszenie jej twardości, co ułatwia poszerzenie naczynia. Usunięcie blaszki miażdżycowej następuje wskutek rozbicia jej do mikrocząsteczek wielkości $< 10 \mu\text{m}$, średnio ok. $5 \mu\text{m}$, co umożliwia swobodny pasaż mikrocząsteczek blaszki przez mikrokrążenie wieńcowe. Po wprowadzonym wcześniej na obwód leczonej tętnicy specjalnym metalowym przewodnikiem o średnicy 0,009 cala wprowadza się wiertło (bor) o eliptycznym kształcie, z umieszczonymi mikrokryształkami diamentu na powierzchni roboczej. Bor jest wprawiany w ruch rotacyjny, o częstotliwości 130–180 tys. obrotów na minutę, co powoduje rozbicie $> 98\%$ blaszki na opisane powyżej mikrocząstki. Wiertło jest napędzane przez turbinę ze sprężonym > 6 at-

mosfer powietrzem lub azotem [8–10]. Elementami stałymi urządzenia są zbiornik ze sprężonym powietrzem lub azotem, połączony z konsolą i turbiną, a także pedał, za pomocą którego uruchamia się napęd. Elementami jednorazowymi są wiertło (bor) i połączony z urządzeniem do przesuwania wiertła (*advancer*) przewodnik stalowy o grubości 0,009 cala z końcówką o grubości 0,014 cala. Większa grubość końcówki przewodnika umożliwia usunięcie boru wraz z przewodnikiem w przypadku jego uszkodzenia. Bor jest umieszczony w specjalnej koszulce umożliwiającej ciągłe podawanie soli fizjologicznej i różnych leków do miejsca wykonywanej ablacji. Opisane powyżej urządzenie jest produkowane przez firmę Boston Scientific Company, która do 2007 r. była jedynym producentem tego typu urządzeń. W 2007 r. opracowano system do tzw. orbitalnej aterektomii (*Orbital Atherectomy System, Cardiovascular System, Inc. St. Paul, MN, USA*), działający na podobnej zasadzie, posiadający nieco odmienny element ablacyjny, również pokryty kryształkami diamentu (*diamond crown*). System jest wprowadzany w ruch obrotowy za pomocą napędu pneumatycznego lub elektrycznego. Prędkość robocza systemu zawiera się w przedziale 80–120 tys. obrotów na minutę. Pierwsze opublikowane wyniki z użyciem tego systemu są obiecujące [11, 12].

PROTOKÓŁ ZABIEGU ATEREKTOMII ROTACYJNEJ I FARMAKOTERAPIA OKOŁOZABIEGOWA

Pacjent poddawany RA powinien być przygotowywany typowo jak każdy chory kierowany na PCI. Przygotowanie to obejmuje podwójną terapię przeciwplatekową, zastosowaną odpowiednio wcześniej, by uzyskać zahamowanie funkcji płytek [5]. Przed zabiegiem wskazane jest podanie leków sedatywnych i przygotowanie miejsc dostępu naczyniowego. Ponieważ pacjenci zakwalifikowani do tej procedury są przeważnie w starszym wieku i obciążeni wieloma chorobami współistniejącymi, w tym cukrzycą i przewlekłą chorobą nerek, ważne jest utrzymanie prawidłowej glikemii w okresie okołozabiegowym oraz zapobieganie wystąpieniu nefropatii kontrastowej (*contrast induced nephropaty*) [13].

DOSTĘP NACZYNIOWY I CEWNIKI PROWADZĄCE

Wybór dostępu naczyniowego zależy od doświadczenia ośrodka wykonującego zabiegi i od kalibru stosowanego boru. Rozmiary rutynowo stosowanych wiertel wynoszą 1,25, 1,5 i 1,75 mm. Są one kompatybilne z cewnikami prowadzącymi 6 F (French). Praktycznie nie ma potrzeby stosowania cewników prowadzących > 7 F, gdyż rzadko używa się wiertła > 2 mm, co umożliwia stosowanie dostępu promieniowego w większości zabiegów RA. Istotne dla przebiegu procedury jest osiowe wstawienie cewnika prowadzącego w ujście tętnicy wieńcowej, co ułatwia wykonanie samej procedury rotablacji oraz jej dalszych etapów. Interesującą modyfikację stosowania dostępu promieniowego stanowią

cewniki bezkoszulkowe, które przy mniejszym uszkodzeniu naczyń mają większy wymiar wewnętrzny. Dodatkową zaletą tych cewników jest ich hydrofilność, co przekłada się na bezproblemowe przeprowadzenie ich nawet w przypadkach tętnic promieniowych o małym kalibrze lub odchodzących wysoko od tętnic ramiennych. Wadę stanowi natomiast słabe podparcie, co może utrudniać dostarczenie stentu [14, 15]. Inną możliwością jest zastosowanie koszulki naczyniowej o cienkiej ścianie przeznaczonej do zabiegów z dostępu promieniowego, która umożliwia wprowadzenie standardowego ceownika prowadzącego o średnicy o jeden rozmiar większej (przez koszulkę naczyniową o wymiarze zewnętrznym 6 F można wprowadzić ceownik prowadzący o średnicy 7 F).

W trakcie RA stosuje się specyficzne, przeznaczone do tej procedury, prowadniki o długości 330 cm, o dwóch różnych stopniach sztywności (Floppy i Extra Support). Wprowadzenie ich na obwód leczonej tętnicy jest znacznie trudniejsze niż zwykłego prowadnika do PCI. Rozwiązaniem tego problemu jest stosowanie mikrocewników lub cewników balonowych typu „over the wire”, umożliwiających wymianę klasycznego prowadnika do PCI na prowadnik do RA. Kolejnym etapem procedury jest wybór właściwego wiertła i doprowadzenie go do leczonej zmiany. Według aktualnych wytycznych i doświadczenia wiodących ośrodków w tej metodzie zaleca się technikę modyfikacji blaszki miażdżycowej (*plaque modification*), polegającą na stosowaniu pojedynczego wiertła (*single burr strategy*) o kalibrze < 0,7 wymiaru naczyń [9, 10]. Strategia modyfikacji blaszki miażdżycowej jest obarczona małym odsetkiem powikłań w porównaniu z wcześniejszą strategią, mającą za zadanie usunięcie jak największej objętości blaszki (*plaque debulking*) [16, 17]. Coraz częściej jednak stosuje się strategię używania najmniejszego możliwego kalibru bora (1,25 mm) w celu nacięcia blaszki miażdżycowej, co ma zmniejszać ryzyko powikłań. Ta technika zwykle się sprawdza, ponieważ naczynia poddawane rotacji są wąskie i masywnie zwapniałe na całej długości. Prędkość obrotów wiertła powinna zawierać się w przedziale 130–180 tys., a zalecany protokół ablacji polega na stosowaniu krótkotrwałych cykli ablacyjnych 10–30 s, z wykorzystaniem techniki „*pecking motion*”. Należy pamiętać, by nie pozostawić wiertła za miejscem lub w miejscu zmiany na zakończenie poszczególnych cykli, gdyż grozi to jego uwięzieniem. Prędkość wiertła musi być stale monitorowana, a w przypadkach deceleracji > 5 tys. obrotów należy zmniejszyć nacisk, wycofać bor z miejsca zmiany i ewentualnie przerwać cykl ablacyjny [9, 17]. W trakcie rotacji powstaje energia cieplna, która podnosi temperaturę w miejscu zmiany o kilka stopni Celsjusza. Długotrwałe cykle ablacyjne ze znacznym obniżeniem częstotliwości obrotów (kilkanaście tysięcy na minutę) powodują lokalny wzrost temperatury nawet do ok. 10°C [18, 19]. W przypadku trudności pokonania zmiany w trakcie rotacji można rozważyć zwiększenie prędkości nawet do 180–200 tys., pamiętając o skróceniu pojedynczych cykli ablacyjnych, by nie generować

miejscowo większej ilości ciepła. Ponadto wysokie prędkości bardziej nasilają aktywację płytek krwi; oba te mechanizmy przyczyniają się do powstawania okołozabiegowej martwicy miokardium [19, 20]. Ablację krętych zmian wykonuje się z mniejszą prędkością wiertła (100–120 tys.) oraz głowicą o mniejszym kalibrze, co zmniejsza ryzyko perforacji naczyń [21]. Istotnym elementem RA jest ciągłe stosowanie płynu opłukującego wiertła w trakcie zabiegu, tzw. „*cocktail flush*”. Skład tego płynu może być różny, jednak zawsze zawiera heparynę, nitroglicerynę, werapamil lub inne pochodne z tej grupy, czy nikorandyl [22]. Stosowanie płynu zmniejsza ryzyko zjawiska „*slow flow, no re-flow*” i redukuje częstość zawałów okołozabiegowych [23, 24]. Kolejną możliwością redukcji zaburzeń przepływu w trakcie RA jest stosowanie dożylnych antagonistów receptora IIb/IIIa. Najlepiej zbadanym lekiem z tej grupy jest abcyksymab [25]. Obecnie leki z tej grupy są zarezerwowane głównie do stosowania w trybie na ratunek (*bail out*), po uwzględnieniu indywidualnego dla każdego pacjenta ryzyka wystąpienia powikłań krwotocznych i niedokrwiennych. Z dostępnych danych wynika, że stosowanie biwalirudyny, bezpośredniego antagonisty trombiny, nie przekłada się na korzyści kliniczne w porównaniu z rutynowo stosowaną heparyną niefrakcjonowaną [26].

Po skutecznie wykonanej rotacji dalszy przebieg zabiegu jest podobny jak w innych kompleksowych PCI. Kolejne etapy procedury przeprowadza się z użyciem klasycznych prowadników do PCI, charakteryzujących się dobrym podparciem (*extra support*), wprowadzonych obok prowadnika do RA lub wymienionych za pomocą mikrocewnika (lub ceownika balonowego typu „over the wire”). Należy pamiętać o usunięciu prowadnika do rotacji w momencie uzyskania właściwej pozycji stentu, przed jego rozprężeniem w naczyniu. Postdylatacje balonowe wykonuje się balonami niepodatnymi (*non-compliant balloons*) lub ceownikami balonowymi przystosowanymi do bardzo wysokich ciśnień (nawet powyżej 30 atmosfer). Pozostawienie prowadnika do rotacji może być wykorzystane do kolejnej ablacji borem o większym kalibrze, gdy zmiana jest nadal niepodatna. Strategia użycia pojedynczego boru ma również uzasadnienie ekonomiczne, szczególnie w krajach, w których procedura RA nie ma odrębnego finansowania lub jest finansowana niewystarczająco (w Polsce do 01.01.2017 r. brak refundacji, od 01.01.2017 r. refundacja częściowa). W przypadku braku możliwości uzyskania pełnego poszerzenia zmiany po skutecznej rotacji z wykorzystaniem jednego boru mogą być rozpatrywane dwie opcje postępowania: pierwsza zakłada stosowanie balonów wysokociśnieniowych, druga natomiast zaleca zastosowanie boru o większym kalibrze. Stosowanie kolejnego, większego wiertła wydaje się opcją bezpieczniejszą, zmniejszającą ryzyko perforacji naczyń. Wobec braku badań porównujących obie strategie, wybór rodzaju kolejnych etapów procedury powinno się opierać na doświadczeniu poszczególnych ośrodków i operatorów.

Warto podkreślić, że inflacja wysokociśnieniowa może być niewystarczająca i może spowodować dyssekcję, a dyssekcja stanowi przeciwwskazanie do dalszej rotablacji. Możliwe więc jest dodatkowo stosowanie balonów nacinających (*scoring balloons*) i balonów tnących (*cutting balloons*), które w Polsce do tej pory nie są refundowane [9, 21, 27]. Ostatnim etapem procedury jest implantacja stentu/ów. Z powodu masywnej kalcyfikacji naczyń oraz obecności długich zmian dostarczenie stentu często jest utrudnione. Ważnymi elementami skuteczności kolejnych etapów RA jest zastosowanie właściwego cewnika prowadzącego, osiowo ustawionego w ujściu tętnicy wieńcowej, a także wybór odpowiedniego kształtu, w zależności od leczonej tętnicy. W przypadku trudności w dostarczeniu stentu rekomenduje się stosowanie systemu cewnik w cewniku („mother and child”) [28].

Osobnego omówienia wymaga problem stosowania czasowej stymulacji serca w trakcie RA. Podczas procedury RA wzbudzany jest odruch neurohormonalny, który prowadzi do bradykardii [8, 29]. W okresie wprowadzania metody stymulacji czasowa była obligatoryjna przy wszystkich zabiegach RA. Wzrastające doświadczenie zespołów wykonujących procedurę rotablacji i skrupulatna ocena wyników leczenia, w tym powikłań okołozabiegowych, pozwoliła zmienić podejście do konieczności czasowej stymulacji w trakcie zabiegu. Mimo że nie ma jednoznacznych zaleceń, wydaje się zasadne stwierdzenie o braku potrzeby profilaktycznej czasowej stymulacji, a w przypadku wystąpienia bradykardii podczas zabiegu zaleca się podanie atropiny, a jeśli to nie przynosi efektu — stymulację czasową (*provisional atropine and pacing*) [9, 21, 29]. Przyjęcie takiego stanowiska uzasadniają wyniki dwóch dużych analiz dotyczących RA — z 2012 r. i z 2014 r. [30, 31]. Obie analizy objęły grupę ponad 5 tys. pacjentów leczonych za pomocą RA. W rejestrze angielskim [31], analizującym wyniki w grupie 2152 osób, konieczność zastosowania czasowej stymulacji wyniosła tylko 1,3% w porównaniu z 0,3% w grupie PCI bez RA. Według autorów niniejszego opracowania, profilaktyczna implantacja elektrody do stymulacji czasowej może mieć uzasadnienie jedynie w przypadku zabiegu wykonywanego na dominującej prawej tętnicy wieńcowej z długimi zmianami poddawanymi rotablacji.

Grupa Ekspertów AISN PTK zaleca wykonywanie aterektomii rotacyjnej według proponowanych protokołów dotyczących przygotowania pacjentów do zabiegu, wyboru dostępu naczyniowego, cewnika prowadzącego i wielkości wiertła. W trakcie aterektomii rotacyjnej należy przestrzegać zasady stosowania krótkich cykli ablacyjnych, z monitorowaniem prędkości obrotów wiertła i ciągłego stosowania koktajlu (rotaflush). Zaleca się rozpoczęcie procedury od mniejszych obrotów i w przypadku jej nieskuteczności, zwiększanie prędkości obrotów i/lub wymianę wiertła na najmniejsze. Ścisłe przestrzeganie zaleceń pozwala zapobiec lub ograniczyć liczbę powikłań.

WSKAZANIA I PRZECIWWSKAZANIA DO ATEREKTOMII ROTACYJNEJ. PREWENCJA POWIKŁAŃ

Należy pamiętać, że wszczęcie stentu do naczynia w miejscu blaszki, która nie poddaje się poszerzeniu przy użyciu cewnika balonowego, jest przeciwwskazane i nie spowoduje poszerzenia naczynia. Zabiegi RA najczęściej są wykonywane po nieskutecznej, wcześniej przeprowadzonej procedurze PCI z powodu niemożności wprowadzenia najmniejszego balonika w obręb zmiany lub niemożności rozprężenia balonu, z zastosowaniem wysokich ciśnień (> 16 atmosfer). Stosownie bardzo wysokich ciśnień zwiększa ryzyko perforacji naczynia, a ratunkowe dostarczenie stentgraftu do długiej uwapnionej zmiany często jest niemożliwe. Takie wskazanie do rotablacji zyskało rekomendację IC w wytycznych dotyczących rewaskularyzacji mięśnia sercowego *European Society of Cardiology (ESC)* i *European Association for Cardio-Thoracic Surgery (EACTS)* z 2010 r. [32]. Rotablacja w powyższym wskazaniu jest jedyną metodą pozwalającą na skuteczne leczenie przezskórne. Wyniki terapii zmian o małym lub umiarkowanym stopniu uwapnienia w angiografii przy użyciu RA są niezadowolające i obciążone większym ryzykiem powikłań [9, 21]. Wynika z tego, że ocena stopnia uwapnienia jest kluczowym elementem kwalifikacji do RA. Ciężkie zwapnienia rozpoznaje się wówczas, gdy są one widoczne na zatrzymanym obrazie angiograficznym przed wstrzyknięciem kontrastu do światła naczynia, obejmując zwykle obydwie strony ściany naczynia, natomiast o zwapnieniach umiarkowanych mówi się, gdy są one widoczne tylko w trakcie cyklu serca (na ruchomym obrazie angiograficznym). Znacznie więcej informacji na temat lokalizacji i nasilenia zwapnień w ścianie naczynia dostarczają tomografia komputerowa, ultrasonografia wewnątrzwieńcowa (IVUS, *intravascular ultrasound*) i optyczna tomografia koherentna (OCT, *optical coherence tomography*) [10, 33–35]. Proponowany przez Tomey i wsp. [9] schemat kwalifikacji do rotablacji jest następujący: obecność w angiografii ciężkich kalcyfikacji jest wskazaniem do RA, w przypadku zwapnień umiarkowanego stopnia lub trudnych do oceny w angiografii zaleca się dodatkową ocenę w IVUS lub OCT. Obrazowanie wewnątrznacyniowe pozwala na dokładną ocenę lokalizacji zwapnień (powierzchowne — zlokalizowane w sąsiedztwie granicy pomiędzy światłem i ścianą naczynia vs. głębokie — zlokalizowane w ścianie naczynia) oraz pomiar kąta łuku zwapnienia (*calcium arc*). Metoda OCT pozwala ponadto na dokładną ilościową ocenę grubości zwapnienia (*calcium thickness*). Powyższe dane uzyskane z IVUS i OCT mogą być pomocne w planowaniu strategii zabiegu PCI lub mogą modyfikować jego przebieg, przy czym korzyści z wykonania RA dotyczą przede wszystkim pacjentów z powierzchniowymi zwapnieniami obejmującymi > 227° obwodu ściany naczynia, o grubości > 0,67 mm w OCT [36, 37]. Szczegółowe wskazania do rotablacji zawarto w tabeli 1.

Tabela 1. Wskazania do aterektomii rotacyjnej

Wskazania klasyczne	Brak dostatecznego poszerzenia balonem zwężenia z obecnymi zwapnieniami/zwłóknieniami Brak możliwości doprowadzenia balonika w obręb zmiany
Wskazania dodatkowe	Masywne zwapnienia w angiografii, ultrasonografii wewnątrzwieńcowej i/lub optycznej tomografii koherentnej, w przypadkach gdy istnieje ryzyko niepowodzenia angioplastyki balonowej/implantacji stentu Zmiany na rozwidleniach z obecnością masywnych zwapnień, w tym rozwidlenie pnia lewej tętnicy wieńcowej Zabiegi rekanalizacji przewlekle zamkniętych tętnic, po skutecznym sforsowaniu miejsca niedrożności
Wskazania niestandardowe (<i>off-label</i>)	Rotablacja niedoprężonego stentu (<i>stent ablation</i>) lub rusztowania bioresorbowalnego (<i>scaffold ablation</i>)

Tabela 2. Przeciwwskazania do aterektomii rotacyjnej

Przeciwwskazania bezwzględne*	Przeciwwskazania względne
Zmiany w pomostach żylnych	Ciężka dysfunkcja lewej komory (frakcja wyrzutowa < 30%)
Obecność skrzepliny	Ciężka choroba trójnaczyńowa
Angiograficzne cechy dyssekcji naczynia	Ciężkie zwężenie pnia lewej tętnicy wieńcowej bez protekcji pomostem
	Zmiana o długości > 25 mm
	Zmiana w odcinkach krętych > 45 stopni

*Możliwe wykonanie przy nieskuteczności innych metod

Zabieg RA ułatwia wykonanie skutecznej procedury PCI w kompleksowych zmianach typu B2 i C wg klasyfikacji *American Heart Association/American College of Cardiology* (AHA/ACC), włączając w to przewlekle niedrożności tętnic, zmiany ostialne i bifurkacje [38–42]. Wyniki badania ROSTER [43] wykazały korzystny efekt RA z następową niskociśnieniową postdylatacją w leczeniu restenozy w stencie w porównaniu z zastosowaniem tylko balonów wysokociśnieniowych. Niekorzystne wyniki stosowania RA w leczeniu restenozy w stencie ujawniono w projekcie ARTIST [44]. Zastosowanie tej metody znamienne zwiększyło częstość restenozy. Przeciwnie wyniki obu badań mogą być spowodowane innymi kryteriami włączenia pacjentów i odmiennymi mechanizmami restenozy. Optymalne wyniki w takich wskazaniach można uzyskać, kontrolując PCI przed IVUS (IVUS guided PCI). Innymi, rzadkimi próbami stosowania RA są przypadki nierozprężonego stentu metalowego (*stentablation*) czy platformy bioresorbowalnej (*scaffold ablation*) [45, 46]. Przeciwwskazania do RA przedstawiono w tabeli 2.

Choć zmiany w pomostach żylnych wymieniono jako przeciwwskazanie bezwzględne, wyjątek tutaj mogą stanowić zmiany ostialne, w miejscach wszycia pomostu do aorty i do naczynia wieńcowego. Opisywane w literaturze zastosowanie rotablacji u pacjentów z ostrymi zespołami wieńcowymi, w tym zawałem serca z uniesieniem odcinka ST, wiąże się z użyciem metody w naczyniu zawierającym mniejszą lub

większą objętość skrzepliny. We włoskim rejestrze obejmującym 1308 pacjentów poddanych RA aż 37% stanowili chorzy z rozpoznaniem ostrych zespołów wieńcowych [47]. Oczywiście sytuacja taka jest często wymuszona nieskutecznością klasycznej PCI. Podobnie może być również w momencie dyssekcji naczynia. W przypadku wymienionych przeciwwskazań względnych zabiegi RA są wykonywane częściej. Dotyczy to głównie sytuacji braku zgody pacjenta na operację kardiochirurgiczną lub zbyt wysokiego jej ryzyka. W wybranej grupie chorych obarczonych wysokim ryzykiem, w przebiegu ciężkiego uszkodzenia lewej komory, mechaniczne wspomaganie lewej komory jest rozsądnym wyborem. W badaniu PROTECT II [48] oceniono użycie kontrapulsacji wewnątrzortalnej i pompy do bezpośredniego generowania rzutu serca — Impella. Podejmując decyzję o rotablacji w powyższych wskazaniach, trzeba zdawać sobie sprawę z wyższego ryzyka poważnych powikłań i uzyskać świadomą zgodę pacjenta. Ponadto kwalifikacje do takich zabiegów muszą być podejmowane w trakcie spotkania lokalnego *Heart Team*.

Możliwe powikłania związane z RA, informacje dotyczące ich prewencji i postępowania w przypadku ich wystąpienia przedstawiono w tabeli 3.

Grupa Ekspertów AISN PTK zaleca wykonywanie aterektomii rotacyjnej w każdym przypadku zmiany odpornej, kiedy wprowadzenie balonu w obręb zmiany lub jego rozprężenie jest niemożliwe z powodu ciężkich zwapnień

Tabela 3. Powikłania i sposoby prewencji. Wymieniono powikłania specyficzne dla metody rotablacji. Nie analizowano powikłań wspólnych dla wszystkich typów przezskórnej interwencji wieńcowej

Powikłanie	Prewencja powikłania
Zaburzenia przepływu krwi w leczonym naczyniu (<i>slow flow, no re-flow</i>) Ból dławicowy Zawał serca	Krótkie cykle ablacyjne (10–20 s) Mniejszy rozmiar wiertła Mniejsza prędkość obrotów wiertła Unikanie deceleracji obrotów wiertła Stosowanie „cocktail flush” Antagoniści receptora IIb/IIIa Adenozyna
Perforacja naczynia	Strategia modyfikacji blaszki Mniejszy rozmiar wiertła Zmniejszone obroty boru na krętych odcinkach Kolejne wiertło o kalibrze większym o 0,25–0,5 mm Przedłużona inflacja balonu Implantacja stentgraftu Operacja kardiochirurgiczna
Bradykardia, blok serca	Atropina, czasowa stymulacja w przypadku potrzeby (<i>provisional</i>) Prewencyjne podanie atropiny przed pasażem wiertła Prewencyjna implantacja elektrody endokawitarnej w wybranych przypadkach
Uwięźnięcie wiertła	Krótkie cykle ablacyjne Unikanie nadmiernych decelacji W przerwach pomiędzy kolejnymi cyklami ablacji pozostawienie wiertła w zdrowym odcinku naczynia Próba inflacji małym balonem w miejscu uwięźnięcia boru Zastosowanie techniki „cewnik w cewniku” (np. GuidLiner) głęboka intubacja naczynia cewnikiem prowadzącym Operacja kardiochirurgiczna
Oderwanie końcówki przewodnika	Unikanie pasażu wiertła aż do części dystalnej przewodnika Próba usunięcia pętli naczyniową Implantacja stentu w miejscu oderwanego przewodnika

lub zwłóknień. Ponadto należy rozważyć zastosowanie aterektomii rotacyjnej w przypadku zmian o dużym stopniu zwapnień jako zabiegu wykonywanego w pierwszej kolejności (tzw. *primary treatment*). Ośrodki, które nie mają możliwości wykonywania aterektomii rotacyjnej, powinny kierować pacjentów do wybranych ośrodków referencyjnych dla tych procedur.

Grupa Ekspertów AISN PTK nie zaleca wykonywania aterektomii rotacyjnej w przypadku zmian zawierających skrzeplinę, w pomostach żylnych oraz wykazujących cechy dyssekcji naczynia. W innych przypadkach przeciwwskazań względnych (frakcja wyrzutowa < 30%, wielonaczyniowa choroba wieńcowa, zwężenie pnia) aterektomia rotacyjna powinna być wykonywana jedynie w doświadczonych ośrodkach przeprowadzających takie zabiegi regularnie i posiadających zabezpieczenie kardiochirurgiczne.

SKUTECZNOŚĆ METODY NA PODSTAWIE WYNIKÓW BADAN KLINICZNYCH

Aterektomia rotacyjna, w momencie jej wprowadzenia do praktyki klinicznej, była alternatywną metodą dla klasycznej angioplastyki balonowej. Pierwsze publikacje, po wprowadzeniu procedury do praktyki klinicznej, opisywały jej porównywalną skuteczność z przezskórną angioplastyką wieńcową (PTCA, *percutaneous transluminal coronary angioplasty*) z innymi interwencjami przezcewnikowymi [49–51]. Już we wczesnym okresie stosowania RA wykazano jej przydatność w leczeniu chorych po nieskutecznych zabiegach PCI, głównie zmian długich i uwapnionych [52, 53]. Jednym z ważniejszych, randomizowanych prób porównujących różne interwencje wieńcowe było badanie ERBAC [54], w którym porównano RA z aterektomią laserową i konwencjonalną PTCA. W grupie poddanej rotablacji bezpośredni

sukces zabiegu był największy, stwierdzono również istotnie mniejszą częstość złożonego punktu końcowego (zgon/zawał serca/pomostowanie aortalno-wieńcowe). We wszystkich grupach częstość restenozy była nieakceptowalnie wysoka (> 50%). Hoffmann i wsp. [55] wykazali, że połączenie RA z następowym stentowaniem daje istotną poprawę wyników bezpośrednich i odległych w porównaniu z samą PTCA czy implantacją stentu bez poprzedzającej rotablacji w populacji pacjentów z długimi, uwapnionymi zmianami. W kolejnych badaniach — STRATAS [56] i CARAT [57] — wykazano, że użycie RA nie zapewnia istotnie lepszego wyniku odległego angioplastyki. Istotną wartością tych dwóch badań było wykazanie, że stosowanie zbyt agresywnego protokołu zabiegu z użyciem dużych wiertel (stosunek wiertło/tętnica > 0,7) wiąże się z istotnie częstszymi powikłaniami okołozabiegowymi. Taki protokół zabiegu określano jako strategię zmniejszenia objętości blaszki miażdżycowej (*debulking technique*). Między innymi wyniki tych badań wzbudziły sceptycyzm wobec RA, a zarazem zmotywowały do wprowadzenia nowych strategii tej procedury. Tak powstała metoda modyfikacji blaszki miażdżycowej z zastosowaniem znacznie mniejszych wiertel (modyfikacja blaszki — *plaque modification*), co w połączeniu z wprowadzeniem DES spowodowało renesans metody w grupie właściwie dobranych pacjentów.

W licznych badaniach wykazano przewagę implantacji DES po zabiegach RA w porównaniu ze stentami metalowymi, niepokrywanyymi. Implantację DES po zabiegu rotablacji nazwano techniką Rota-DES [58, 59]. W jednym z większych rejestrów Abdel-Wahab i wsp. [60], w którym analizowano wyniki strategii Rota-DES w grupie ponad 200 pacjentów, w obserwacji 9-miesięcznej wykazano 17,7% skumulowanej częstości incydentów sercowych (zgon 4,4%, zawał 3,4%, ponowna rewaskularyzacja leczonego naczynia 9,9% i ponowna rewaskularyzacja leczonej zmiany 6,8%) i tylko 2 incydenty późnej zakrzepicy w stencie (1 — pewna, 1 — prawdopodobna). Autorzy podsumowują, że uzyskane wyniki są bardzo obiecujące dla tak dobranej grupy chorych. W randomizowanym badaniu ROTAXUS [61] porównano dwie strategie implantacji DES w uwapnionych zmianach tętnic wieńcowych: z poprzedzającą rotablacją i z predylatacją balonami wysokociśnieniowymi. W grupie bez RA uzyskano znamienne niższą skuteczność zabiegu, niezbędny był „cross-over” do RA. Wyniki odległe były porównywalne w obu grupach. Autorzy podsumowują, że w zmianach uwapnionych typowa predylatacja balonowa jest postępowaniem z wyboru, RA stanowi strategię konieczną w przypadku niepowodzenia zabiegu.

Jak wynika z Ogólnopolskiego Rejestru Procedur Kardiologii Inwazyjnej (ORPKI), RA jest powszechnie dostępna, przede wszystkim dzięki możliwości refundacji, i z roku na rok zwiększa się liczba procedur wraz ze starzejącym się społeczeństwem [62]. Oczywiście liczba powikłań podczas tego rodzaju zabiegów jest większa niż w czasie standardowej angioplastyki wieńcowej, jednak należy pamiętać, że są to

chorzy należący do grupy wysokiego ryzyka zabiegowego [62, 63]. Z naszych narodowych danych wynika również, że konieczność stosowania RA u chorych z ostrym zespołem wieńcowym, w tym z zawałem serca, nie zwiększa ryzyka okołozabiegowego i nie pogarsza wyniku angiograficznego [64, 65]. Jednak na rokowanie pacjentów wpływają nie tylko klasyczne czynniki ryzyka, takie jak obecność niewydolności serca, ale również kompletność rewaskularyzacji [63, 65].

SYSTEM SZKOLENIA OPERATORÓW ATEREKTOMII ROTACYJNEJ

Aterektomia rotacyjna jest jedną z trudniejszych i najbardziej wymagających procedur w kardiologii interwencyjnej. Wiąże się ona ze zwiększonym ryzykiem powikłań, które wynika ze złożoności samej procedury, kompleksowości zmian miażdżycowych w koronarografii oraz trudnego klinicznie profilu pacjentów leczonych za pomocą tej metody. W związku z tym wymagania stawiane operatorom i ośrodkom kardiologii inwazyjnej powinny być znacznie wyższe. W opinii ekspertów zabiegi RA powinny być wykonywane w pracowniach o wysokim stopniu referencyjności (klasy B i C w Polsce), przez samodzielnych operatorów kardiologii inwazyjnej spełniających kryteria AISN PTK, którzy wykonali samodzielnie co najmniej 500 zabiegów PCI [66]. W okresie wprowadzania metody w poszczególnych ośrodkach niezbędny jest system wykonywania zabiegów proktorowanych, aż do uzyskania certyfikatu umiejętności w wykonywaniu AR.

Grupa Ekspertów AISN PTK zaleca wprowadzenie systemu stopniowego szkolenia operatorów aterektomii rotacyjnej. Uprawnienia do wykonywania tej procedury uzyskuje kardiolog interwencyjny posiadający certyfikat AISN PTK samodzielnego operatora, który wykonał co najmniej 500 zabiegów angioplastyki wieńcowej. Po odbyciu szkolenia teoretycznego (warsztaty, szkolenia firmowe) rekomenduje się wykonanie co najmniej 10 zabiegów aterektomii rotacyjnej (jako pierwszy lub drugi operator) z udziałem lekarza proktora. Zaleca się, aby zabiegi aterektomii rotacyjnej w poszczególnych ośrodkach były wykonywane przez przynajmniej dwóch lekarzy posiadających kwalifikacje operatora aterektomii rotacyjnej.

ZASADY REFUNDACJI PROCEDURY ATEREKTOMII ROTACYJNEJ W POLSCE

Na wniosek Zarządu AISN PTK oraz Konsultanta Krajowego w dziedzinie kardiologii od 1 stycznia 2017 r. procedura medyczna pod nazwą „Aterektomia wieńcowa — rotablacja” została objęta refundacją w ramach katalogu świadczeń do sumowania pod numerem 5.53.01.0005004, w załączniku 1c do Zarządzenia nr 38/2017/DSOZ wydanego przez Prezesa Narodowego Funduszu Zdrowia w dniu 29.05.2017 r. [67, 68]. Refundację rotablacji można sumować ze wszystkimi procedurami PCI, zarówno w ostrych zespołach wieńcowych, jak i w stabilnej chorobie wieńcowej, a także z zastosowaniem

IVUS lub frakcjonowanej rezerwy przepływu. Warunkiem refundacji jest wykazanie procedury wg ICD-9 00.662 — Atektomia wieńcowa oraz jednego z dwóch wskazań klinicznych: (1) obecności silnie uwapnionych zmian miażdżycowych w tętnicy wieńcowej, zarówno w tętnicy natywnej, jak i w obrębie neointymy u pacjentów z restenozą w stencie, których nie można poszerzyć cewnikiem balonowym (*undilatable plaque*) lub uniemożliwiających wprowadzenie cewnika balonowego w obręb zmiany (*incrossible lesion*) bądź (2) obecności silnie uwapnionych zmian miażdżycowych na podstawie koronarografii, IVUS lub OCT, uniemożliwiających prawidłowe rozprężenie stentu [69].

Grupa Ekspertów AISN PTK zaleca rejestrowanie i archiwizowanie obrazów angiograficznych dokumentujących użycie w trakcie PCI aterektomii rotacyjnej — rotablacji, a także odnotowywanie w opisach badań i w dokumentacji medycznej pacjenta wskazań klinicznych będących podstawą do ich wykonania oraz do ubiegania się o ich refundację.

PODSUMOWANIE

Przegląd literatury od momentu wprowadzenia RA do praktyki klinicznej pokazuje w spójny sposób przydatność metody w ułatwianiu przeprowadzenia PCI uwapnionych, kompleksowych zmian miażdżycowych. Wzrastające doświadczenie w stosowaniu RA, lepsze poznanie mechanizmu modyfikacji blaszki miażdżycowej oraz stosowanie procedury w najbardziej doświadczonych pracowniach hemodynamicznych przyczyniło się do minimalizacji powikłań. Wprowadzany system szkolenia w wykonywaniu AR polegający na wyodrębnieniu ośrodków referencyjnych oraz zabiegi proktorowane w początkowym okresie wprowadzania procedury przyczyniły się do poprawy wyników, a szczególnie spowodują redukcję powikłań tej wymagającej doświadczenia i specyficznych umiejętności od operatora procedury. Należy przeprowadzić kolejne badania w celu określenia znaczenia połączenia różnych technik modyfikacji blaszki miażdżycowej, obejmujących RA, zastosowanie balonów wysokociśnieniowych, balonów nacinających i balonów tnących w celu poprawy wyników bezpośrednich i odległych. Wprowadzona kilka lat temu druga technika wysokoobrotowej rotablacji, tzw. aterektomia orbitalna, wymaga przeprowadzenia dalszych badań, choć wstępne wyniki badań z zastosowaniem tego urządzenia wypadły obiecująco. Kwalifikacja do RA na podstawie obrazu angiograficznego pozostaje niejednoznaczna. Wąska kwalifikacja, po nieskutecznych zabiegach PCI wydaje się ograniczać grupę pacjentów, którzy mogą skorzystać z tej metody. Wypracowanie dodatkowych kryteriów kwalifikacji na podstawie IVUS, OCT i tomografii komputerowej pozwoli na wyselekcjonowanie grupy chorych, u których wykonanie RA będzie przynosić największe korzyści.

Konflikt interesów: Sławomir Dobrzycki, Paweł Kralisz, Krzysztof Reczuch — umowa proktorowa dotycząca rotaablacji

i honoraria za wykłady od firmy Boston Scientific Poland. Pozostali autorzy nie zgłaszają konfliktu interesów.

Piśmiennictwo

1. Tsai TT, Patel UD, Chang TI, et al. Contemporary incidence, predictors, and outcomes of acute kidney injury in patients undergoing percutaneous coronary interventions: insights from the NCDR Cath-PCI registry. *JACC Cardiovasc Interv.* 2014; 7(1): 1–9, doi: [10.1016/j.jcin.2013.06.016](https://doi.org/10.1016/j.jcin.2013.06.016), indexed in Pubmed: [24456715](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24456715/).
2. Malyszko J, Bachorzewska-Gajewska H, Malyszko JS, et al. Prevalence of chronic kidney disease in elderly patients with normal serum creatinine levels undergoing percutaneous coronary interventions. *Gerontology.* 2010; 56(1): 51–54, doi: [10.1159/000265560](https://doi.org/10.1159/000265560), indexed in Pubmed: [19996581](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19996581/).
3. Sianos G, Morel MA, Kappetein AP, et al. The SYNTAX Score: an angiographic tool grading the complexity of coronary artery disease. *EuroIntervention.* 2005; 1(2): 219–227, indexed in Pubmed: [19758907](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19758907/).
4. Chang-Wook Nam, Mangiacapra F, Entjes R, et al. Functional SYNTAX score for risk assessment in multivessel coronary artery disease. *J Am Coll Cardiol.* 2011; 58(12): 1211–1218, doi: [10.1016/j.jacc.2011.06.020](https://doi.org/10.1016/j.jacc.2011.06.020), indexed in Pubmed: [21903052](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21903052/).
5. Windecker S, Kolh P, Alfonso F, et al. 2014 ESC/EACTS guidelines on myocardial revascularization. *EuroIntervention.* 2015; 10(9): 1024–1094, doi: [10.4244/EIJY14M09_01](https://doi.org/10.4244/EIJY14M09_01), indexed in Pubmed: [25187201](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25187201/).
6. Stavroulopoulos A, Porter CJ, Pointon K, et al. Evolution of coronary artery calcification in patients with chronic kidney disease Stages 3 and 4, with and without diabetes. *Nephrol Dial Transplant.* 2011; 26(8): 2582–2589, doi: [10.1093/ndt/gfq751](https://doi.org/10.1093/ndt/gfq751), indexed in Pubmed: [21224493](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21224493/).
7. Madhavan MV, Tarigopula M, Mintz GS, et al. Coronary artery calcification: pathogenesis and prognostic implications. *J Am Coll Cardiol.* 2014; 63(17): 1703–1714, doi: [10.1016/j.jacc.2014.01.017](https://doi.org/10.1016/j.jacc.2014.01.017), indexed in Pubmed: [24530667](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24530667/).
8. Ritchie JL, Hansen DD, Intlekofer MJ, et al. Rotational approaches to atherectomy and thrombectomy. *Z Kardiol.* 1987; 76 Suppl 6: 59–65, indexed in Pubmed: [3439260](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/3439260/).
9. Tomey MI, Kini AS, Sharma SK. Current status of rotational atherectomy. *JACC Cardiovasc Interv.* 2014; 7(4): 345–353, doi: [10.1016/j.jcin.2013.12.196](https://doi.org/10.1016/j.jcin.2013.12.196), indexed in Pubmed: [24630879](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24630879/).
10. Barbato E, Carrié D, Dardas P, et al. European expert consensus on rotational atherectomy. *EuroIntervention.* 2015; 11(1): 30–36, doi: [10.4244/EIJV1111A6](https://doi.org/10.4244/EIJV1111A6), indexed in Pubmed: [25982648](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25982648/).
11. Bhatt P, Parikh P, Patel A, et al. Orbital atherectomy system in treating calcified coronary lesions: 3-Year follow-up in first human use study (ORBIT I trial). *Cardiovasc Revasc Med.* 2014; 15(4): 204–208, doi: [10.1016/j.carrev.2014.03.004](https://doi.org/10.1016/j.carrev.2014.03.004), indexed in Pubmed: [24746600](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24746600/).
12. Chambers JW, Feldman RL, Himmelstein SI, et al. Pivotal trial to evaluate the safety and efficacy of the orbital atherectomy system in treating de novo, severely calcified coronary lesions (ORBIT II). *JACC Cardiovasc Interv.* 2014; 7(5): 510–518, doi: [10.1016/j.jcin.2014.01.158](https://doi.org/10.1016/j.jcin.2014.01.158), indexed in Pubmed: [24852804](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24852804/).
13. Bachorzewska-Gajewska H, Malyszko J, Sitniewska E, et al. NGAL (neutrophil gelatinase-associated lipocalin) and cystatin C: are they good predictors of contrast nephropathy after percutaneous coronary interventions in patients with stable angina and normal serum creatinine? *Int J Cardiol.* 2008; 127(2): 290–291, doi: [10.1016/j.ijcard.2007.04.048](https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2007.04.048), indexed in Pubmed: [17566573](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17566573/).
14. Watt J, Oldroyd KG. Radial versus femoral approach for high-speed rotational atherectomy. *Catheter Cardiovasc Interv.* 2009; 74(4): 550–554, doi: [10.1002/ccd.22066](https://doi.org/10.1002/ccd.22066), indexed in Pubmed: [19434605](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19434605/).
15. Kassimis G, Patel N, Kharbanda RK, et al. High-speed rotational atherectomy using the radial artery approach and a sheathless

- guide: a single-centre comparison with the EuroIntervention. 2014; 10(6): 694–699, doi: [10.4244/EIJV10I6A121](https://doi.org/10.4244/EIJV10I6A121), indexed in Pubmed: [24425306](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24425306/).
16. Kobayashi Y, Gregorio JDe, Kobayashi N, et al. Lower restenosis rate with stenting following aggressive versus less aggressive rotational atherectomy. *Catheter Cardiovasc Interv.* 1999; 46(4): 406–414, doi: [10.1002/\(sici\)1522-726x\(199904\)46:4<406::aid-ccd4>3.0.co;2-z](https://doi.org/10.1002/(sici)1522-726x(199904)46:4<406::aid-ccd4>3.0.co;2-z), indexed in Pubmed: [10216004](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/10216004/).
 17. Whitlow PL, Bass TA, Kipperman RM, et al. Results of the study to determine rotablator and transluminal angioplasty strategy (STRATAS). *Am J Cardiol.* 2001; 87(6): 699–705, indexed in Pubmed: [11249886](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11249886/).
 18. Reisman M, Shuman BJ, Harms V. Analysis of heat generation during rotational atherectomy using different operational techniques. *Cathet Cardiovasc Diagn.* 1998; 44(4): 453–455, indexed in Pubmed: [9716217](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/9716217/).
 19. Reisman M, Shuman BJ, Dillard D, et al. Analysis of low-speed rotational atherectomy for the reduction of platelet aggregation. *Cathet Cardiovasc Diagn.* 1998; 45(2): 208–214, indexed in Pubmed: [9786404](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/9786404/).
 20. Williams MS, Coller BS, Väänänen HJ, et al. Activation of platelets in platelet-rich plasma by rotablation is speed-dependent and can be inhibited by abciximab (c7E3 Fab; ReoPro). *Circulation.* 1998; 98(8): 742–748, indexed in Pubmed: [9727543](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/9727543/).
 21. Saland KE, Cigarroa JE, Lange RA, et al. Rotational atherectomy. *Cardiol Rev.* 2000; 8(3): 174–179, indexed in Pubmed: [11174891](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11174891/).
 22. Tsubokawa A, Ueda K, Sakamoto H, et al. Effect of intracoronary nicorandil administration on preventing no-reflow/slow flow phenomenon during rotational atherectomy. *Circ J.* 2002; 66(12): 1119–1123, indexed in Pubmed: [12499617](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12499617/).
 23. Matsuo H, Watanabe S, Watanabe T, et al. Prevention of no-reflow/slow-flow phenomenon during rotational atherectomy—a prospective randomized study comparing intracoronary continuous infusion of verapamil and nicorandil. *Am Heart J.* 2007; 154(5): 994.e1–994.e6, doi: [10.1016/j.ahj.2007.07.036](https://doi.org/10.1016/j.ahj.2007.07.036), indexed in Pubmed: [17967610](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17967610/).
 24. Fischell TA, Haller S, Pulkurthy S, et al. Nicardipine and adenosine. *Cardiovasc Revasc Med.* 2008; 9(4): 224–228, doi: [10.1016/j.carrev.2008.03.002](https://doi.org/10.1016/j.carrev.2008.03.002), indexed in Pubmed: [18928946](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18928946/).
 25. Kini A, Reich D, Marmur JD, et al. Reduction in periprocedural enzyme elevation by abciximab after rotational atherectomy of type B2 lesions: Results of the Rota ReoPro randomized trial. *Am Heart J.* 2001; 142(6): 965–969, doi: [10.1067/mhj.2001.119382](https://doi.org/10.1067/mhj.2001.119382), indexed in Pubmed: [11717598](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11717598/).
 26. Delhaye C, Wakabayashi K, Maluenda G, et al. Safety and efficacy of bivalirudin for percutaneous coronary intervention with rotational atherectomy. *J Interv Cardiol.* 2010; 23(3): 223–229, doi: [10.1111/j.1540-8183.2010.00546.x](https://doi.org/10.1111/j.1540-8183.2010.00546.x), indexed in Pubmed: [20636842](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20636842/).
 27. Furuichi S, Tobaru T, Asano R, et al. Rotational atherectomy followed by cutting-balloon plaque modification for drug-eluting stent implantation in calcified coronary lesions. *J Invasive Cardiol.* 2012; 24(5): 191–195, indexed in Pubmed: [22562910](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22562910/).
 28. Pershad A, Sein V, Laufer N. GuideLiner catheter facilitated PCI: a novel device with multiple applications. *J Invasive Cardiol.* 2011; 23(11): E254–E259, indexed in Pubmed: [22045089](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22045089/).
 29. Jain D, Schäfer U, Dendorfer A, et al. Neurohumoral activation in percutaneous coronary interventions: apropos of ten vasoactive substances during and immediately following coronary rotastenting. *Indian Heart J.* 2001; 53(3): 301–307, indexed in Pubmed: [11516028](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11516028/).
 30. Wasiaik J, Law J, Watson P, et al. Percutaneous transluminal rotational atherectomy for coronary artery disease. *Cochrane Database Syst Rev.* 2012; 12: CD003334, doi: [10.1002/14651858.CD003334.pub2](https://doi.org/10.1002/14651858.CD003334.pub2), indexed in Pubmed: [23235596](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23235596/).
 31. Cockburn J, Hildick-Smith D, Cotton J, et al. Contemporary clinical outcomes of patients treated with or without rotational coronary atherectomy—an analysis of the UK central cardiac audit database. *Int J Cardiol.* 2014; 170(3): 381–387, doi: [10.1016/j.ijcard.2013.11.018](https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2013.11.018), indexed in Pubmed: [24289876](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24289876/).
 32. Wijns W, Kolh P, Danchin N, et al. Guidelines on myocardial revascularization: The Task Force on Myocardial Revascularization of the European Society of Cardiology (ESC) and the European Association for Cardio-Thoracic Surgery (EACTS). *European Association for Percutaneous Cardiovascular Interventions.* *Eur Heart J.* 2010; 31: 2501–2555, doi: [10.1093/eurheartj/ehu278](https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehu278).
 33. Moussa I, Ellis SG, Jones M, et al. Impact of coronary culprit lesion calcium in patients undergoing paclitaxel-eluting stent implantation (a TAXUS-IV sub study). *Am J Cardiol.* 2005; 96(9): 1242–1247, doi: [10.1016/j.amjcard.2005.06.064](https://doi.org/10.1016/j.amjcard.2005.06.064), indexed in Pubmed: [16253590](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16253590/).
 34. Mintz G, Pichard A, Popma J, et al. Determinants and correlates of target lesion calcium in coronary artery disease: a clinical, angiographic and intravascular ultrasound study. *J Am Coll Cardiol.* 1997; 29(2): 268–274, doi: [10.1016/s0735-1097\(96\)00479-2](https://doi.org/10.1016/s0735-1097(96)00479-2).
 35. Mehanna E, Bezerra HG, Prabhu D, et al. Volumetric characterization of human coronary calcification by frequency-domain optical coherence tomography. *Circ J.* 2013; 77(9): 2334–2340, indexed in Pubmed: [23782524](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23782524/).
 36. Maejima N, Hibi K, Saka K, et al. Relationship between thickness of calcium on optical coherence tomography and crack formation after balloon dilatation in calcified plaque requiring rotational atherectomy. *Circ J.* 2016; 80(6): 1413–1419, doi: [10.1253/circj.CJ-15-1059](https://doi.org/10.1253/circj.CJ-15-1059), indexed in Pubmed: [27087360](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27087360/).
 37. Lee MS, Shah N. The impact and pathophysiologic consequences of coronary artery calcium deposition in percutaneous coronary interventions. *J Invasive Cardiol.* 2016; 28(4): 160–167, indexed in Pubmed: [26301561](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26301561/).
 38. Levin T, Holloway S, Feldman T. Acute and late clinical outcome after rotational atherectomy for complex coronary disease. *Cathet Cardiovasc Diagn.* 1998; 45(2): 122–130, doi: [10.1002/\(sici\)1097-0304\(199810\)45:2<122::aid-ccd5>3.0.co;2-e](https://doi.org/10.1002/(sici)1097-0304(199810)45:2<122::aid-ccd5>3.0.co;2-e), indexed in Pubmed: [9786388](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/9786388/).
 39. Reifart N, Vandormael M, Krajcar M, et al. Randomized comparison of angioplasty of complex coronary lesions at a single center. Excimer Laser, Rotational Atherectomy, and Balloon Angioplasty Comparison (ERBAC) Study. *Circulation.* 1997; 96(1): 91–98, indexed in Pubmed: [9236422](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/9236422/).
 40. Tsuchikane E, Suzuki T, Asakura Y, et al. Debulking of chronic coronary total occlusions with rotational or directional atherectomy before stenting: Final results of DOCTORS study. *Int J Cardiol.* 2008; 125(3): 397–403, doi: [10.1016/j.ijcard.2007.07.117](https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2007.07.117), indexed in Pubmed: [18023899](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18023899/).
 41. Tsuchikane E, Aizawa T, Tamai H, et al. Pre-drug-eluting stent debulking of bifurcated coronary lesions. *J Am Coll Cardiol.* 2007; 50(20): 1941–1945, doi: [10.1016/j.jacc.2007.07.066](https://doi.org/10.1016/j.jacc.2007.07.066), indexed in Pubmed: [17996557](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17996557/).
 42. Nageh T, Kulkarni NM, Thomas MR. High-speed rotational atherectomy in the treatment of bifurcation-type coronary lesions. *Cardiology.* 2001; 95(4): 198–205, doi: [10.1159/000047372](https://doi.org/10.1159/000047372), indexed in Pubmed: [11585995](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11585995/).
 43. Sharma SK, Kini A, Mehran R, et al. Randomized trial of Rotational Atherectomy Versus Balloon Angioplasty for Diffuse In-stent Restenosis (ROSTER). *Am Heart J.* 2004; 147(1): 16–22, indexed in Pubmed: [14691413](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/14691413/).
 44. vom Dahl J, Dietz U, Haager PK, et al. Rotational atherectomy does not reduce recurrent in-stent restenosis: results of the angioplasty versus rotational atherectomy for treatment of diffuse in-stent restenosis trial (ARTIST). *Circulation.* 2002; 105(5): 583–588, indexed in Pubmed: [11827923](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11827923/).
 45. Lee S, Park KW, Kim HS. Stentablation of an underexpanded stent in a heavily calcified lesion using rotational atherectomy. *J Cardiovasc Med (Hagerstown).* 2012; 13(4): 284–288, doi: [10.2459/JCM.0b013e328339d924](https://doi.org/10.2459/JCM.0b013e328339d924), indexed in Pubmed: [20489653](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20489653/).

46. Wagner S, Hünlich M, Hasenfuß G, et al. Successful ablation of a bioresorbable polymeric vascular scaffold by rotational atherectomy. *Clin Res Cardiol*. 2014; 103(6): 501–504, doi: [10.1007/s00392-014-0689-z](https://doi.org/10.1007/s00392-014-0689-z), indexed in Pubmed: [24590003](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24590003/).
47. Boasi V, Piazza F, Boccuzzi G, et al. Clinical outcome of rotational atherectomy in complex calcified coronary lesions: data from the multicenter international ROTATE registry. *EuroPCR*. 2015.
48. O'Neill WW, Kleiman NS, Moses J, et al. A prospective, randomized clinical trial of hemodynamic support with Impella 2.5 versus intra-aortic balloon pump in patients undergoing high-risk percutaneous coronary intervention: the PROTECT II study. *Circulation*. 2012; 126(14): 1717–1727, doi: [10.1161/CIRCULATIONAHA.112.098194](https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.112.098194), indexed in Pubmed: [22935569](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22935569/).
49. Höfling B, Gonschior P, Mack B, et al. [Current status of directional coronary atherectomy in interventional cardiology]. *Z Kardiol*. 1991; 80 Suppl 9: 25–34, indexed in Pubmed: [1796647](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/1796647/).
50. Umans VA, Strauss BH, Rensing BJ, et al. Comparative angiographic quantitative analysis of the immediate efficacy of coronary atherectomy with balloon angioplasty, stenting, and rotational ablation. *Am Heart J*. 1991; 122(3 Pt 1): 836–843, indexed in Pubmed: [1877459](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/1877459/).
51. Mintz GS, Pichard AD, Kent KM, et al. Transcatheter device synergy: preliminary experience with adjunct directional coronary atherectomy following high-speed rotational atherectomy or excimer laser angioplasty in the treatment of coronary artery disease. *Cathet Cardiovasc Diagn*. 1993; Suppl 1: 37–44, indexed in Pubmed: [8324815](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/8324815/).
52. Topol EJ. Rotablator to the rescue. *Am J Cardiol*. 1993; 71(10): 858–859, indexed in Pubmed: [8456767](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/8456767/).
53. Mintz GS, Pichard AD, Popma JJ, et al. Preliminary experience with adjunct directional coronary atherectomy after high-speed rotational atherectomy in the treatment of calcific coronary artery disease. *Am J Cardiol*. 1993; 71(10): 799–804, indexed in Pubmed: [8456757](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/8456757/).
54. Reifart N, Vandormael M, Krajcar M, et al. Randomized comparison of angioplasty of complex coronary lesions at a single center. Excimer Laser, Rotational Atherectomy, and Balloon Angioplasty Comparison (ERBAC) Study. *Circulation*. 1997; 96(1): 91–98, indexed in Pubmed: [9236422](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/9236422/).
55. Hoffmann R, Mintz GS, Kent KM, et al. Comparative early and nine-month results of rotational atherectomy, stents, and the combination of both for calcified lesions in large coronary arteries. *Am J Cardiol*. 1998; 81(5): 552–557, indexed in Pubmed: [9514448](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/9514448/).
56. Whitlow PL, Bass TA, Kipperman RM, et al. Results of the study to determine rotablator and transluminal angioplasty strategy (STRATAS). *Am J Cardiol*. 2001; 87(6): 699–705, indexed in Pubmed: [11249886](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11249886/).
57. Safian RD, Feldman T, Muller DW, et al. Coronary angioplasty and Rotablator atherectomy trial (CARAT): immediate and late results of a prospective multicenter randomized trial. *Catheter Cardiovasc Interv*. 2001; 53(2): 213–220, doi: [10.1002/ccd.1151](https://doi.org/10.1002/ccd.1151), indexed in Pubmed: [11387607](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11387607/).
58. Khattab AA, Richardt G. Rotational atherectomy followed by drug-eluting stent implantation (Rota-DES): a rational approach for complex calcified coronary lesions. *Minerva Cardioangiol*. 2008; 56(1): 107–115, indexed in Pubmed: [18432173](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18432173/).
59. Khattab AA, Otto A, Hochadel M, et al. Drug-eluting stents versus bare metal stents following rotational atherectomy for heavily calcified coronary lesions: late angiographic and clinical follow-up results. *J Interv Cardiol*. 2007; 20(2): 100–106, doi: [10.1111/j.1540-8183.2007.00243.x](https://doi.org/10.1111/j.1540-8183.2007.00243.x), indexed in Pubmed: [17391217](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17391217/).
60. Abdel-Wahab M, Baev R, Dieker P, et al. Long-term clinical outcome of rotational atherectomy followed by drug-eluting stent implantation in complex calcified coronary lesions. *Catheter Cardiovasc Interv*. 2013; 81(2): 285–291, doi: [10.1002/ccd.24367](https://doi.org/10.1002/ccd.24367), indexed in Pubmed: [22431433](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22431433/).
61. Abdel-Wahab M, Richardt G, Joachim Büttner H, et al. High-speed rotational atherectomy before paclitaxel-eluting stent implantation in complex calcified coronary lesions: the randomized ROTAXUS (Rotational Atherectomy Prior to Taxus Stent Treatment for Complex Native Coronary Artery Disease) trial. *JACC Cardiovasc Interv*. 2013; 6(1): 10–19, doi: [10.1016/j.jcin.2012.07.017](https://doi.org/10.1016/j.jcin.2012.07.017), indexed in Pubmed: [23266232](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23266232/).
62. Januszek R, Siudak Z, Dziewierz A, et al. Predictors of in-hospital effectiveness and complications of rotational atherectomy (from the ORPKI Polish National Registry 2014–2016). *Catheter Cardiovasc Interv*. 2017 [Epub ahead of print], doi: [10.1002/ccd.27372](https://doi.org/10.1002/ccd.27372), indexed in Pubmed: [29068164](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29068164/).
63. Bartuś S, Januszek R, Legutko J, et al. Long-term effects of rotational atherectomy in patients with heavy calcified coronary artery lesions: a single-centre experience. *Kardiol Pol*. 2017; 75(6): 564–572, doi: [10.5603/KP.a2017.0042](https://doi.org/10.5603/KP.a2017.0042), indexed in Pubmed: [28631258](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28631258/).
64. Januszek R, Siudak Z, Dziewierz A, et al. Bailout rotational atherectomy in patients with myocardial infarction is not associated with an increased periprocedural complication rate or poorer angiographic outcomes in comparison to elective procedures (from the ORPKI Polish National Registry 2015–2016). *Adv Interv Cardiol*. 2018; 14(2): 135–143, doi: [10.5114/aic.2018.76404](https://doi.org/10.5114/aic.2018.76404), indexed in Pubmed: [30008765](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30008765/).
65. Kübler P, Zimoch W, Kosowski M, et al. Acute coronary syndrome — Still a valid contraindication to perform rotational atherectomy? Early and one-year outcomes. *J Cardiol*. 2018; 75(4): 382–388, doi: [10.1016/j.jjcc.2017.10.012](https://doi.org/10.1016/j.jjcc.2017.10.012), indexed in Pubmed: [29174598](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29174598/).
66. Kübler P, Zimoch W, Kosowski M, et al. Novel predictors of outcome after coronary angioplasty with rotational atherectomy. Not only low ejection fraction and clinical parameters matter. *Adv Interv Cardiol*. 2018; 14(1): 42–51, doi: [10.5114/aic.2018.74354](https://doi.org/10.5114/aic.2018.74354), indexed in Pubmed: [29743903](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29743903/).
67. Regulation No. 38/2017/DSOZ of the President of the Polish National Health Fund of 29 May 2017. <http://www.nfz.gov.pl/zarzadzenia-prezesa/zarzadzenia-prezesa-nfz/zarzadzenie-nr-382017dsoz,6578.html>. (Accessed 31 October).
68. Legutko J. Zielone światło dla optymalizacji PCI. *Kardiologia Inwazyjna*. 2017; 12(1): 5–8.
69. Dudek D, Legutko J, Ochała A, et al. Association of Cardiovascular Interventions of the Polish Cardiac Society. [Guidelines of the Association of Cardiovascular Interventions of the Polish Cardiac Society for certification of coronary diagnostics and percutaneous coronary intervention operators and invasive cardiology centers in Poland]. *Kardiol Pol*. 2013; 71(12): 1332–1336, doi: [10.5603/KP.2013.0344](https://doi.org/10.5603/KP.2013.0344), indexed in Pubmed: [24399604](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24399604/).