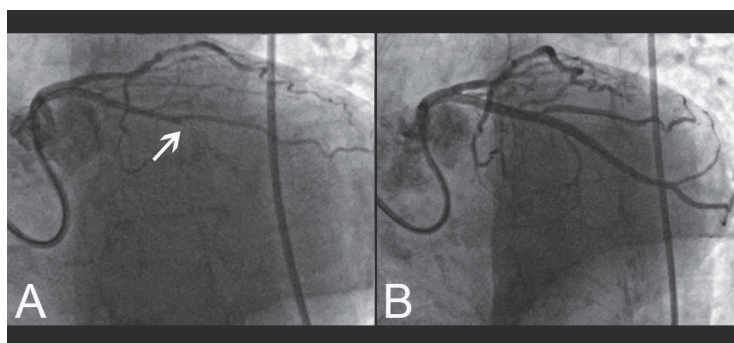


MAKSYMILIAN P. OPOLSKI*, WITOLD RUŻYŁO**

Przezskórna rewaskularyzacja przewlekle niedrożnych tętnic wieńcowych – *per aspera ad astra!*

Wprowadzenie

Przewlekle niedrożność tętnicy wieńcowej (ang. *chronic total occlusion*, CTO) definiuje się jako całkowite zamknięcie światła naczynia unaczyniającego mięsień sercowy, stwierdzone w badaniu angiograficznym (koronarografii) o czasie trwania ≥ 3 miesięcy (ryc. 1A).



Ryc. 1. A) Przewlekle niedrożna gałąź okalająca lewej tętnicy wieńcowej. B) Gałąź okalająca po zabiegu udroźnienia z implantacją stentu wieńcowego. Zwraca uwagę istotne poszerzenie światła tętnicy po zabiegu przezskórnej angioplastyki wieńcowej

Za bezwzględny warunek przewlekłej niedrożności tętnicy wieńcowej przyjmuje się całkowity brak przepływu krwi do obwodowego odcinka naczynia drogą zstępującą z wyłączeniem dopływu przez kolaterale pomostowe i/lub dopływu wstecznego przez kolaterale krążenia obocznego od kontrlateralnej tętnicy wieńcowej (Stone G.W., et al., 2005; Sianos G., et al., 2012). Przewlekle zamknięte tętnice wieńcowe są zjawiskiem dość często obserwowanym w praktyce klinicznej i występują u ok. 20% pacjentów z rozpoznaną chorobą wieńcową, poddanych inwazyjnej koronarografii (Fefer P., et al., 2012).

* Dr hab. n. med. Maksymilian P. Opolski (opolski.mp@gmail.com), Klinika Kardiologii i Angiologii Interwencyjnej, Instytut Kardiologii w Warszawie; ** Prof. dr hab. Witold Rużyło, członek rzeczywisty PAN, Instytut Kardiologii w Warszawie

Szacuje się, że zdecydowana większość chorych z CTO ma dolegliwości dławicowe i/lub zachowaną żywotność/duże odwracalne zaburzenia perfuzji mięśnia sercowego, co *per se* czyni ich idealnymi kandydatami do leczenia interwencyjnego (Fefer P., et al., 2012). Co istotne, leczenie rewaskularyzacyjne za pomocą przezskórnej angioplastyki wieńcowej jest bardziej skuteczne od farmakoterapii w kontroli objawów dławicowych i zmniejszeniu stopnia niedokrwienia u chorych z przewlekle zamkniętymi tętnicami wieńcowymi (Werner G.S., et al., 2018) (ryc. 1B). Ponadto badania obserwacyjne sugerują poprawę rokowania odległego u chorych z CTO poddanych skutecznej angioplastyce wieńcowej w porównaniu do samej farmakoterapii (Hoebers L.P., et al., 2015).

Mimo że CTO od dłuższego czasu pozostawały w kręgu szczególnego zainteresowania kardiologów interwencyjnych, dopiero od 15 lat nastąpił istotny przełom w technikach ich przezskórnej rewaskularyzacji (Jang Y., 2019). Tym samym przełamano ostatnią barierę kardiologii interwencyjnej, a marzenie o pełnej, przezskórnej rewaskularyzacji w wielonaczyniowej chorobie wieńcowej stało się faktem. Niniejszy artykuł został poświęcony przezskórnej angioplastyce przewlekle zamkniętych tętnic wieńcowych, która bez wątpienia należy do najtrudniejszych technicznie zabiegów w kardiologii interwencyjnej.

Znaczenie kliniczne przewlekle niedrożnych tętnic wieńcowych – *veni, vidi, vici*

Przewlekle zamknięte tętnice wieńcowe są często obserwowane w praktyce klinicznej i występują u ok. 20% pacjentów z rozpoznaną stabilną chorobą wieńcową (obecność zwężenia > 50% redukcji światła tętnicy), poddanych inwazyjnej koronarografii (Fefer P., et al., 2012). Ponadto szacuje się, że ok. 10% pacjentów ze świeżym zawałem serca i uniesieniem odcinka ST wykazuje przewlekłą niedrożność tętnicy wieńcowej (Claessen B.E., et al., 2009; Lexis C.P., et al., 2011). Z kolei częstość CTO ulega zmniejszeniu w populacji pacjentów z mniejszym prawdopodobieństwem choroby wieńcowej i wynosi 1,4% u osób kierowanych na badanie tomografii komputerowej tętnic wieńcowych (Opolski M.P., et al., 2015). Obecność CTO jest markerem większego zaawansowania uogólnionej miażdżycy i jest najczęściej związana z paleniem papierosów, nadciśnieniem tętniczym, wielonaczyniową chorobą wieńcową oraz miażdżycą tętnic obwodowych (Christofferson R.D., et al., 2005; Fefer P., et al., 2012). W badaniach obserwacyjnych do najważniejszych niezależnych czynników predykcyjnych CTO należała miażdżycza tętnic obwodowych, co może wskazywać na naturalną i bezobjawową progresję choroby wieńcowej do CTO u pacjenta z ograniczoną tolerancją wysiłku z powodu chromania przestankowego (Christofferson R.D., et al., 2005). W zależności od miejsca lokalizacji CTO występują najczęściej w prawej tętnicy wieńcowej, a następnie w gałęzi przedniej zstępującej lewej tętnicy wieńcowej oraz najrzadziej w gałęzi okalającej lewej tętnicy wieńcowej (Fefer P., et al., 2012).

Obecność CTO znacząco pogarsza rokowanie odległe pacjentów ze stabilną chorobą wieńcową. W pionierskiej pracy, obejmującej populację stanu Nowy Jork z potwierdzoną angiograficznie chorobą wielonaczyniową, Hannan i wsp. wykazali istotnie wyższą śmiertelność po 3 latach obserwacji w grupie chorych z CTO poddanych niepełnej rewaskularyzacji wieńcowej w porównaniu z chorymi, u których wykonano pełną rewaskularyzację wszystkich istotnie zwężonych tętnic wieńcowych (Hannan E.L., et al., 2006). Podobnie w licznych badaniach obserwacyjnych skuteczne udrożnienie CTO wiązało się z istotnym wydłużeniem przeżycia w obserwacji odległej w porównaniu do nieskutecznego zabiegu przezkórniego udrożnienia CTO (George S., et al., 2014; Tomasello S.D., et al., 2015). Obecność CTO należy również do najsilniejszych, obok wstrząsu kardiogenego i nieskutecznej reperfuzji, czynników pogarszających rokowanie odległe w zawałe serca z uniesieniem i bez uniesienia odcinka ST (Claessen B.E., et al., 2009; Gierlotka M., et al., 2013). Za najbardziej prawdopodobną przyczynę niekorzystnego znaczenia rokowniczego CTO u chorych z zawałem serca należy uznać większy obszar zagrożonego niedokrwieniem mięśnia serca przy zaburzonej równowadze przepływu krwi pomiędzy tętnicą dozawałową a naczyniami krążenia obocznego CTO.

Wskazania do rewaskularyzacji przezkórnej

Pomimo zahamowania przepływu krwi do obwodowego odcinka niedrożnej tętnicy wieńcowej, większość chorych z CTO nie przeżyła w przeszłości pełnościennego zawału serca i wykazuje zachowaną żywotność mięśnia sercowego (Stone G.W., et al., 2005). Wynika to najczęściej z obecności dobrze rozwiniętej sieci krążenia obocznego, która za pomocą drobnych naczyń (tzw. kolaterali) łączy początkowy i obwodowy odcinek zamkniętej tętnicy wieńcowej. Umożliwia to minimalny dopływ krwi do dystalnego segmentu tętnicy poniżej miejsca niedrożności, który warunkuje brak niedokrwienia i objawów w spoczynku. Mechanizm ten okazuje się jednak niewydolny podczas wysiłku – związanego z większym zapotrzebowaniem mięśnia serca na tlen – w czasie którego dochodzi do nasilenia niedokrwienia i objawów dławicowych. Co ciekawe, Schumacher i wsp. wykazali, że zabieg przezkórniego udrożnienia CTO prowadzi do normalizacji wyjściowego ubytku perfuzji w badaniu pozytonowej tomografii emisyjnej, który jest porównywalny do przezkórnej angioplastyki wieńcowej tętnic zwężonych subtotalnie (Schumacher S.P., et al., 2018). Obecnie, zgodnie z zaleceniami Europejskiego Towarzystwa Kardiologicznego, przezkórna rekanalizacja CTO należy rozważyć u pacjentów, u których można oczekiwać zmniejszenia niedokrwienia w zaopatrywanym przez niedrożną tętnicę wieńcową obszarze mięśnia sercowego i/lub złagodzenia odpornej na leczenie farmakologiczne dławicy piersiowej (klasa zaleceń IIa, poziom wiarygodności dowodów B) (Neumann F.J., et al., 2019).

Rys historyczny – Japonia prekursorem przezskórnej rewaskularyzacji CTO

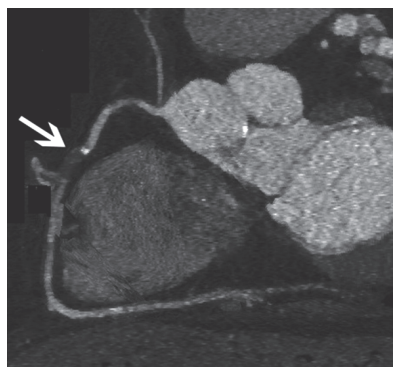
Pierwszy opis zamkniętej tętnicy wieńcowej pochodzi z lat 40. XX wieku, a protekcyjne działanie krążenia obocznego w zachowaniu żywotności mięśnia sercowego w obszarze CTO zostało udowodnione w latach 60. ubiegłego wieku (Rees J.R., 1969). W początkowym okresie rozwoju kardiologii interwencyjnej obecność CTO była uważana za przeciwwskazanie do leczenia rewaskularyzacyjnego za pomocą technik przezskórnych.

Pomimo to pierwszy skuteczny zabieg przezskórnej rekanalizacji CTO został opisany w 1984 roku (Stein J.H., et al., 1984). W tym samym roku Holmes i wsp. opublikowali wyniki przezskórnej angioplastyki zamkniętych tętnic wieńcowych, spośród których wszystkie próby rekanalizacji CTO zakończyły się niepowodzeniem (Holmes D.R., et al., 1984). W kolejnych latach obserwowano stopniową i powolną poprawę skuteczności przezskórnej rewaskularyzacji CTO, która wahała się pomiędzy 50–75% we wczesnych latach 90. XX wieku (Jang Y., 2019). Wiązało się z wprowadzeniem do użytku stentów wieńcowych przez Palmaz-Schatza oraz istotnym udoskonaleniem budowy przewodników wieńcowych (Maiello L., et al., 1992). Szczególnie druga ze wspomnianych rewolucji technologicznych, polegająca na zróżnicowaniu budowy rdzenia oraz kształtu i sztywności końcówki przewodników, a także wprowadzeniu ich hydrofilnej otoczki, istotnie przyczyniła się do lepszej penetracji mikrokanałów w obrębie miejsca niedrożności CTO. Należy podkreślić, że główny postęp technologiczny w zakresie przewodników wieńcowych, a także mikrocewników, cewników prowadzących i koszulek dotętnicznych zawdzięczamy japońskim inżynierom i kardiologom interwencyjnym, którzy stosunkowo szybko stali się pionierami zabiegów przezskórnego udrożnienia CTO. Co ciekawe, wynikało to nie tylko z dużej wytrwałości oraz nienagannej techniki japońskich operatorów, ale również głęboko zakorzenionego w ich kulturze przeświadczenia o nienaruszalności ciała ludzkiego, co było głównym „motorem” rozwijania technik przezskórnych jako alternatywy dla leczenia operacyjnego choroby wieńcowej (Greenman C., et al., 2017). Krokiem milowym w kierunku zwiększenia skuteczności zabiegów przezskórnej rewaskularyzacji CTO do 80–85% była ich rekanalizacja drogą wsteczną. Zapoczątkowali ją w 1990 roku Kahn i wsp., którzy do wstecznego „pasażu” przewodników wykorzystali pomosty aortalno-wieńcowe (Kahn J.K., et al., 1990). Prawdziwą rewolucją we wstecznej rekanalizacji CTO było jednak wykorzystanie kolaterali septalnych i epikardialnych przeciwległej tętnicy wieńcowej, które jako pierwsi zainicjowali Katoh i wsp. w Japonii w 2005 roku (Surmely J.F., et al., 2006). W kolejnych latach wprowadzenie do praktyki klinicznej celowanych technik dyssekcji, które zostały poszerzone o kontrolowany powrót do właściwego światła tętnicy przez operatorów amerykańskich i brytyjskich, umożliwiły zwiększenie skuteczności zabiegów przezskórnego udrożnienia CTO do 90% w dedykowanych ośrodkach kardiologicznych (Brilakis E., 2017).

Histopatologia – „od stołu laboratoryjnego do łóżka chorego”

Unikalną cechą CTO – w porównaniu do zwężeń subtotalnych – jest brak drożności światła tętnicy wieńcowej. Z tego powodu lokalizację blaszki miażdżycowej CTO określa się mianem śródnaczyniowej. Z kolei przestrzeń między błoną a przydanką, która charakteryzuje się dużą rozciągliwością, jest nazywana przestrzenią subintymalną. Badania histopatologiczne poświęcone CTO wskazują na obecność blaszki włóknistej z mikrokanalami naczyniowymi oraz zwapnieniami w obrębie miejsca niedrożności (Katsuragawa M., et al., 1993). Co ciekawe, zwapnienia są najczęściej zlokalizowane w obrębie proksymalnego i dystalnego miejsca zamknięcia CTO (z przewagą w obrębie tego pierwszego), a ich ilość jest wprost proporcjonalna do czasu trwania okluzji tętnicy wieńcowej (Opolski M.P., et al., 2015). Ma to decydujące znaczenie dla powodzenia i strategii zabiegu przezskórnego udrożnienia CTO, ponieważ zwapnienia są głównym czynnikiem utrudniającym penetrację miejsca niedrożności prowadnikiem wieńcowym.

Ponieważ wykonanie badania histopatologicznego nie jest możliwe w warunkach *in vivo*, najczęściej podczas zabiegów przezskórnego udrożnienia CTO wykorzystuje się badanie ultrasonografii wewnątrzwieńcowej i/lub tomografię komputerową tętnic wieńcowych. Badanie ultrasonografii wewnątrzwieńcowej pozwala na wyodrębnienie następujących warstw zamkniętej tętnicy w przekroju poprzecznym: właściwe światło naczynia, blaszka miażdżycowa zlokalizowana pomiędzy błoną wewnętrzną i mięśniową, przestrzeń subintymalna między błoną mięśniową i przydanką oraz ewentualnie krwaki pozawieńcowy obserwowany w przypadku perforacji tętnicy wieńcowej (Jang Y., 2019). Dodatkowym atutem ultrasonografii wewnątrzwieńcowej, podobnie jak tomografii komputerowej, jest umiejętność wykrywania zwapnień (ryc. 2).



Ryc. 2. Przewlekle niedrożna prawa tętnica wieńcowa w badaniu tomografii komputerowej. Zwraca uwagę brak wysycenia środkiem kontrastującym miejsca niedrożności (strzałka) oraz fokalne zwapnienie w miejscu zamknięcia tętnicy

Co istotne, obecność masywnych zwapnień w miejscu niedrożności powinna wymuszać zastosowanie bardziej „agresywnych” prowadników o sztywnej końcówce. Z kolei brak lub niewielka ilość zwapnień umożliwia zastosowanie prowadników hydrofilnych o umiarkowanej lub małej sztywności.

Przygotowanie do zabiegu przezskórnego udrożnienia CTO

Zabieg przezskórnego udrożnienia niedrożnej przewlekle tętnicy wieńcowej wymaga przygotowania specjalistycznego instrumentarium zabiegowego, jak i odpowiedniego zaplanowania preferowanej strategii rekanalizacji CTO na podstawie badania angiograficznego. W praktyce klinicznej najczęściej wykorzystuje się w tym celu dedykowane skale (kalkulatory) angiograficzne (skala J-CTO) i/lub tomograficzne (skala CT-RECTOR), określające stopień trudności CTO (Morino Y., et al., 2011; Opolski M.P., et al., 2015).

Zaleca się uzyskanie 2 dostępuw tętniczych celem jednoczesowego zakontrastowania obu ujść tętnic wieńcowych w czasie wyjściowej akwizycji obrazów (Brilakis E., 2017). W tym celu nakłuwa się najczęściej tętnice udowe w pachwinie i/lub tętnice promieniowe na przedramieniu z zastosowaniem koszulek dotętnicznych o wymiarach od 6-8 F. Zabieg wykonuje się w znieczuleniu miejscowym, jednak niektórzy operatorzy preferują rutynowe stosowanie opioidowych leków przeciwbólowych i/lub sedatywnych. Z uwagi na wysoki stopień trudności oraz potencjalnie długi czas zabiegu zaleca się wykonywanie przezskórnej rekanalizacji CTO w trybie planowym, a nie doraźnym.

Techniki zabiegowe – per aspera ad astra!

Wyróżnia się cztery różne rodzaje strategii zabiegu przezskórnej angioplastyki wieńcowej CTO, które zostały wyodrębnione na podstawie kierunku udrożnienia (*antegrade* lub *retrograde*) oraz lokalizacji przewodnika wieńcowego (śródnacyniowa lub śródścienna/subintymalna).

Techniki *antegrade*

Najczęściej stosowaną i relatywnie najprostszą techniką przezskórnej rekanalizacji CTO jest strategia eskalacji przewodników drogą *antegrade*, tj. od proksymalnego do dystalnego segmentu zamkniętej tętnicy wieńcowej (ang. *antegrade wire escalation*). Strategia ta polega na wprowadzeniu mikrocewnika tuż przed miejsce okluzji, a następnie próbie rekanalizacji zamkniętej tętnicy wieńcowej z wykorzystaniem stopniowanych na podstawie sztywności końcówki i obecności polimerowej/hydrofilnej otoczki przewodników wieńcowych. Po sforsowaniu miejsca niedrożności oraz potwierdzeniu śródnacyniowej lokalizacji przewodnika (najczęściej poprzez wstrzyknięcie środka kontrastującego do kontralateralnej tętnicy wieńcowej), operator poszerza miejsca zamknięcia mikrocewnikiem, a następnie cewnikami balonowymi i implantuje stent wieńcowy (metalowa „sprężynka” w celu przywrócenia drożności tętnicy. W przypadku niepowodzenia przesunięcia przewodnika do właściwego światła zamkniętej tętnicy wieńcowej, historycznie pozostawiono pierwszy przewodnik w ścianie tętnicy i próbowano sforsować miejsce niedrożności za pomocą ustawionego równolegle drugiego prowad-

nika wieńcowego (ang. *parallel wire technique*), jednak obecnie najczęściej przechodzi się do strategii dyssekcji tętnicy drogą *antegrade* lub próby wstecznej rekanalizacji (Ochiai M., et al., 2005). W konkluzji technika eskalacji przewodników drogą *antegrade* jest najczęściej wybieraną wyjściowo strategią przezkórnej rekanalizacji CTO i zwykle opiera się na szybkiej wymianie 3-4 przewodników przez kanał mikrocewnika.

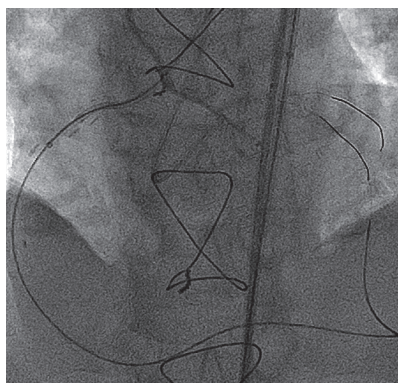
Technika dyssekcji drogą *antegrade* polega na kontrolowanym przesuwaniu przewodnika wieńcowego w obrębie przestrzeni subintymalnej zamkniętej tętnicy wieńcowej z intencją jego powrotu do właściwego światła naczynia za miejscem niedrożności. Najczęściej w tym celu wykorzystuje się uformowaną w pętlę końcówkę hydrofilnych przewodników pokrytych polimerem (ang. *knuckle wire technique*), które z łatwością penetrują przestrzeń subintymalną tętnic wieńcowych (Sianos G., et al., 2012). Niewątpliwie najistotniejszym aspektem techniki dyssekcji jest potwierdzenie „pasażu” przewodnika w obrębie „architektury” naczynia, co *per se* zapewnia bezpieczeństwo zabiegu i pozwala uniknąć potencjalnie śmiertelnej perforacji tętnicy wieńcowej. Ponadto decydujące dla skuteczności zabiegu udrożnienia CTO z wykorzystaniem techniki dyssekcji drogą *antegrade* jest ponowne przeprowadzenie przewodnika z przestrzeni subintymalnej do właściwego światła tętnicy wieńcowej (*reentry*). W tym celu historycznie stosowano technikę powrotu z zastosowaniem sztywnego przewodnika o mocno zagiętej końcówce (ang. *limited antegrade subintimal tracking*) lub hydrofilnego przewodnika pokrytego polimerem z końcówką uformowaną w niewielką pętlę (ang. *subintimal tracking and reentry*). Potencjalną wadą wspomnianych technik jest ich niska skuteczność i/lub brak kontroli miejsca powrotu do właściwego światła tętnicy. Alternatywą o znacznie większej skuteczności jest zastosowanie dedykowanego ceownika dyssekcyjnego (Crossboss) i balonu z kanałem centralnym oraz odchodzącymi od niego i ustawionymi poprzecznie pod kątem 180° dwoma otworami (Stingray), które umożliwiają kontrolowany powrót do właściwego światła tętnicy poniżej miejsca niedrożności.

Techniki *retrograde*

Techniki przezkórnej rekanalizacji drogą wsteczną stanowią ok. 15–34% wszystkich zabiegów udrożnienia CTO w międzynarodowych rejestrach najbardziej doświadczonych ośrodków amerykańskich i europejskich (Greenman C., et al., 2017). Do wstecznego pasażu przewodnika najczęściej wykorzystuje się kolaterale septalne, biegnące w obrębie mięśnia przegrody międzykomorowej oraz w drugiej kolejności kolaterale epikardialne. Kolaterale septalne są zdecydowanie bezpieczniejsze do pasażu przewodnika i mikrocewnika od kolaterali epikardialnych, których uszkodzenie najczęściej prowadzi do wynaczynienia krwi do worka osierdziowego i potencjalnie zagrażające życiu tamponady serca. Ze względu na delikatną budowę kolaterali septalnych i epikardialnych najczęściej w ich obrębie używa się miękkich i atraumatycznych prowad-

ników wieńcowych. W przypadku pacjentów po rewaskularyzacji kardiochirurgicznej często do wstecznej rekanalizacji zamkniętych tętnic wieńcowych wykorzystuje się pomosty aortalno-wieńcowe (*bypassy*).

Po pasażu kolaterali i umieszczeniu mikrocewnika za miejscem niedrożności zamkniętej tętnicy wieńcowej, udrożnienie CTO drogą wsteczną może zostać wykonane poprzez: 1) przeprowadzenie przewodnika w obrębie właściwego światła naczynia lub 2) śródściennego pasażu przewodnika do przestrzeni subintymalnej z intencją powrotu do właściwego światła CTO (Brilakis E., 2017). Pierwsza z opisanych strategii zabiegowych jest określana mianem techniki eskalacji przewodników drogą wsteczną (ang. *retrograde wire escalation*) i polega na stopniowanej eskalacji przewodników o zwiększonej sztywności końcówki. W przypadku skutecznej rekanalizacji tętnicy wieńcowej, operator przesuwając przewodnik i mikrocewnik do światła cewnika prowadzącego umieszczonego w ujściu CTO, a następnie wymienia krótki przewodnik na przewodnik do eksternalizacji (przeprowadzony przez cały układ tętniczy serca), umożliwiając wykonanie predylatacji balonowej i implantację stentu (ryc. 3). Szacuje się, że technika eskalacji przewodników, umożliwiającą śródnaczyniową rekanalizację CTO, stanowi < 30% wszystkich zabiegów udrożnień drogą wsteczną (Greenman C., et al., 2017).



Ryc. 3. Zabieg przezskórnego udrożnienia niedrożnej przewlekle gałęzi przedniej zstępującej lewej tętnicy wieńcowej drogą wsteczną. Zwraca uwagę przewodnik do eksternalizacji przeprowadzony wstecznie z prawej tętnicy wieńcowej do cewnika prowadzącego, umieszczonego w ujściu lewej tętnicy wieńcowej

Strategia pasażu przewodnika w obrębie przestrzeni subintymalnej od dystalnego do początkowego miejsca niedrożności jest określana mianem techniki dyssekcji drogą wsteczną i stanowi większość zabiegów rekanalizacji CTO z wykorzystaniem krążenia obocznego. Najczęściej stosowaną odmianą tej techniki jest obecnie kontrolowany *tracking* przestrzeni subintymalnej przez przewodniki umieszczone zarówno w początkowym (droga *antegrade*) jak i dystalnym (droga *retrograde*) odcinku niedrożnej tętnicy wieńcowej z następczą angioplastyką balonową początkowego odcinka CTO (ang. *reverse controlled antegrade and retrograde subintimal tracking*) (Rathore S., et al., 2010). Angioplastyka balonowa ma na celu wytworzenie połączenia pomiędzy znajdującą

cymi się w różnych częściach przestrzeni subintymalnej przewodnikami, co ułatwia ich komunikację i przesunięcie dystalnego przewodnika do właściwego światła tętnicy. Kolejne etapy zabiegu dyssekcji techniką *retrograde* są analogiczne do techniki eskalacji przewodników i sprowadzają się do eksternalizacji umieszczonego wstecznie przewodnika do systemu *antegrade*. Ze względu na potencjalnie większe ryzyko powikłań okołozabiegowych podczas wstecznej rekanalizacji CTO w porównaniu do technik udrożnienia drogą *antegrade*, krytyczne dla bezpieczeństwa pacjenta wydaje się zminimalizowanie czasu zabiegu i agresywne leczenie przeciwkrzepliwe, zapobiegające powikłaniom zakrzepowo-zatorowym.

Algorytm hybrydowy – *vademecum* operatora CTO

Algorytm hybrydowy, opracowany przez Brilakisa i wsp., stanowi prosty protokół wyboru preferowanej strategii przezskórnej rewaskularyzacji CTO w zależności od anatomii zamkniętej tętnicy wieńcowej w inwazyjnej koronarografii (Brilakis E.S., et al., 2012). Do ocenianych kryteriów angiograficznych należą: 1) miejsce początku niedrożności (umożliwiający lub uniemożliwiający określenie przebiegu tętnicy); 2) wielkość i stopień zmiażdżycowania dystalnego odcinka CTO za miejscem niedrożności; 3) długość niedrożności (klasyfikowana jako < 20 mm lub ≥ 20 mm) oraz 4) obecność „interwencyjnych” kolaterali, umożliwiających wsteczny pasaż instrumentarium zabiegowego. Dobrze zdefiniowane miejsce niedrożności, określające właściwy przebieg zamkniętej tętnicy wieńcowej, oraz duży kaliber naczynia za miejscem niedrożności (optymalnie nierozpoczynający się w miejscu rozwidlenia i pozbawiony istotnych zwężeń miażdżycowych) stanowią przesłanki za rozpoczęciem zabiegu techniką *antegrade*. Z kolei niespełnienie któregoś z wymienionych kryteriów przy obecności interwencyjnych kolaterali sugeruje możliwość wykonania zabiegu techniką wsteczną. Kryterium długości niedrożności warunkuje natomiast strategię przeprowadzenia przewodnika w obrębie właściwego światła tętnicy (w przypadku krótkiego odcinka niedrożności) lub zamierzonej dyssekcji z pasażem przewodnika do przestrzeni subintymalnej (w przypadku długiego odcinka niedrożności). Ponieważ w ok. 40% przypadków wyjściowa strategia rekanalizacji CTO zakończy się niepowodzeniem, algorytm automatycznie sugeruje wybór kolejnej techniki zabiegowej. Tym samym algorytm hybrydowy stanowi cenny i często wykorzystywany w praktyce klinicznej protokół decyzyjny, mający na celu zwiększenie skuteczności i efektywności zabiegów przezskórnego udrożnienia CTO.

„Style” zabiegowe – różnice geograficzne

W praktyce klinicznej duża ilość i złożoność technik rekanalizacji CTO determinuje różnorodność i oryginalność preferowanych strategii zabiegowych w zależności od doświadczenia i lokalizacji geograficznej danego ośrodka kardiologicznego. Z tego powodu

można pokusić się o wyodrębnienie trzech różnych i wiodących stylów zabiegowych w przezskórnej angioplastyce CTO. W krajach anglosaskich, Beneluksu oraz Skandynawii szczególny nacisk kładzie się na wykorzystanie algorytmu hybrydowego z natychmiastową zmianą strategii zabiegu w przypadku jej niepowodzenia. Takie podejście pozwala na optymalizację czasu trwania zabiegu i zwiększenie jego efektywności. Ponadto w wymienionych krajach szczególną popularnością cieszą się techniki dyssekcji z wykorzystaniem urządzeń Crossboss/Stingray, które w niektórych przypadkach mogą być wyjściową i preferowaną strategią zabiegu rekanalizacji CTO (Greenman C., et al., 2017). Z kolei w Japonii (kolebce technik *retrograde*), Korei Południowej i Chinach szczególny nacisk kładzie się na rozwój technik śródnaczyniowego udrożnienia CTO z wykorzystaniem ultrasonografii wewnątrzwieńcowej oraz rekanalizacji drogą wsteczną, co *per se* warunkuje wydłużenie czasu trwania zabiegu (Asakura Y., 2008). Odmienny styl reprezentują natomiast operatorzy z krajów Europy Południowej i Środkowej, w tym Polski (tzw. EuroCTO Club), który jest połączeniem stylu charakterystycznego dla krajów azjatyckich i anglosaskich (z pominięciem rutynowego stosowania technik dyssekcji drogą *antegrade*) (Sianos G., et al., 2012).

Bariery do leczenia przezskórnego CTO – perspektywa autorów

Wysoki stopień trudności, potencjalne ryzyko powikłań okołozabiegowych oraz wysoki koszt (często nierfundowanego) instrumentarium zabiegowego stanowią najistotniejsze bariery do szerszego stosowania przezskórnej rekanalizacji CTO w praktyce klinicznej. W rezultacie większość pacjentów z przewlekle zamkniętymi tętnicami wieńcowymi – i często opornymi na leczenie farmakologicznie bólami dławicowymi – nie jest kwalifikowana do rewaskularyzacji przezskórnej. Tajemnicą poliszynela jest również fakt, że alternatywne leczenie za pomocą operacji pomostowania aortalno-wieńcowego (*bypassów*) jest związane z przedłużoną hospitalizacją i rehabilitacją, potencjalnie groźnymi powikłaniami okołoperacyjnymi (nierzadko częstszymi niż w przypadku przezskórnej angioplastyki wieńcowej) oraz wysokim kosztem leczenia. Ponadto duża grupa pacjentów z CTO i wskazaniami do leczenia rewaskularyzacyjnego (do 50%) ma w wywiadzie przebyte leczenie kardiochirurgiczne, co najczęściej dyskwalifikuje ich z kolejnej operacji „bypassów”.

Niewątpliwie nie bez znaczenia dla zahamowania wdrażania pełnego spektrum technik przezskórnej rekanalizacji CTO są ograniczenia mentalne operatorów kardiologii interwencyjnej, polegające na braku akceptacji technik dyssekcji. Wynika to z faktu, że dyssekcja (rozwarstwienie) drożnej tętnicy wieńcowej jest błędem w sztuce i należy się jej wystrzegać podczas standardowych zabiegów angioplastyki wieńcowej. W odróżnieniu do rozwarstwienia drożnej tętnicy wieńcowej (która zawsze jest przypadkowa i nieumyślna), intencjonalna i prawidłowo przeprowadzona dyssekcja przewlekle zam-

kniętych tętnic wieńcowych nie jest związana z podwyższonym ryzykiem powikłań okołozabiegowych. Co więcej, w wielu przypadkach złożonych angiograficznie zmian CTO techniki dyssekcji stanowią jedyną szansę na powodzenie zabiegu. Tym samym nadzwyczaj aktualne wydają się słowa światowej klasy amerykańskiego operatora CTO – Williama Lombardi – który powiedział: „Spróbuj oduczyć się tego, co ci wpajano” i „Zacznij czuć się komfortowo w niekomfortowych sytuacjach”. Tylko spełnienie tych dwóch warunków charakteryzuje uniwersalnych operatorów, wykorzystujących pełen „wachlarz” przezkórnych technik rekanalizacji CTO i zwiększa szanse powodzenia zabiegu. Dodatkową umiejętnością, która jest nieodzowna w czasie przezkórnej rewaskularyzacji CTO i powinna charakteryzować każdego operatora wykorzystującego algorytm hybrydowy, jest zachowanie pewności siebie mimo czasowego niepowodzenia danej techniki zabiegowej. Wpisuje się to w słowa Winstona Churchilla, który zwykł mawiać, że „Sukces polega na przechodzeniu od porażki do porażki bez utraty entuzjazmu”.

Piśmiennictwo

- Asakura Y. (2008). *Standard Japanese CTO Technique*. Cardiac Interventions Today 10–11, 34–39.
- Brilakis E.S., Grantham J.A., Rinfret S., Wyman R.M., Burke M.N., Karpaliotis D., Lembo N., Pershad A., Kandzari D.E., Buller C.E., DeMartini T., Lombardi W.L., Thompson C.A. (2012). *A percutaneous treatment algorithm for crossing coronary chronic total occlusions*. JACC Cardiovasc. Interv. 5, 367–379.
- Brilakis E. (2017). *Manual of Chronic Total Occlusion Interventions: A Step-by-Step Approach*. Academic Press.
- Christofferson R.D., Lehmann K.G., Martin G.V., Every N., Caldwell J.H., Kapadia S.R. (2005). *Effect of chronic total coronary occlusion on treatment strategy*. Am. J. Cardiol. 95, 1088–1091.
- Claessen B.E., van der Schaaf R.J., Verouden N.J., Stegenga N.K., Engstrom A.E., Sjaauw K.D., Kikkert W.J., Vis M.M., Baan J., Koch K.T., de Winter R.J., Tijssen J.G., Piek J.J., Henriques J.P. (2009). *Evaluation of the effect of a concurrent chronic total occlusion on long-term mortality and left ventricular function in patients after primary percutaneous coronary intervention*. JACC Cardiovasc. Interv. 2, 1128–1133.
- George S., Cockburn J., Clayton T.C., Ludman P., Cotton J., Spratt J., Redwood S., de Belder M., de Belder A., Hill J., Hoyer A., Palmer N., Rathore S., Gershlick A., Di Mario C., Hildick-Smith D. (2014). *Long-Term Follow-Up of Elective Chronic Total Coronary Occlusion Angioplasty: Analysis From the U.K. Central Cardiac Audit Database*. J. Am. Coll. Cardiol. 64, 235–243.
- Gierlotka M., Tajstra M., Gašior M., Hawranek M., Osadnik T., Wilczek K., Olszowski D., Dyrbuś K., Poloński L. (2013). *Impact of chronic total occlusion artery on 12-month mortality in patients with non-ST-segment elevation myocardial infarction treated by percutaneous coronary intervention (from the PL-ACS Registry)*. Int. J. Cardiol. 168, 250–254.
- Greenman C., Spratt J., Lombardi W. (2017). *Chronic total occlusion*. [W:] Samir R. Kapadia

- S.R., Chew D., Cura F. (red.), *Textbook of Interventional Cardiology: A Global Perspective*, New Delhi, Jaypee Brothers Medical Pub.
- Hannan E.L., Racz M., Holmes D.R., King S.B. 3rd, Walford G., Ambrose J.A., Sharma S., Katz S., Clark L.T. (2006). Jones R.H. *Impact of completeness of percutaneous coronary intervention revascularization on long-term outcomes in the stent era*. *Circulation* 113, 2406–2412.
- Hoebers L.P., Claessen B.E., Elias J., Dangas G.D., Mehran R., Henriques J.P. (2015). *Meta-analysis on the impact of percutaneous coronary intervention of chronic total occlusions on left ventricular function and clinical outcome*. *Int. J. Cardiol.* 187, 90–96.
- Holmes D.R., Vlietstra R.E., Reeder G.S., Bresnahan J.F., Smith H.C., Bove A.A., Schaff H.V. (1984). *Angioplasty in total coronary artery occlusion*. *J. Am. Coll. Cardiol.* 3, 845–849.
- Jang Y. (2019). *Percutaneous Coronary Interventions for Chronic Total Occlusion: A Guide to Success*. Singapore, Springer Singapore.
- Kahn J.K., Hartzler G.O. (1990). *Retrograde coronary angioplasty of isolated arterial segments through saphenous vein bypass grafts*. *Catheter Cardiovasc. Diagn.* 20, 88–93.
- Katsuragawa M., Fujiwara H., Miyamae M., Sasayama S. (1993). *Histologic studies in percutaneous transluminal coronary angioplasty for chronic total occlusion: comparison of tapering and abrupt types of occlusion and short and long occluded segments*. *J. Am. Coll. Cardiol.*, 21, 604–611.
- Lexis C.P., van der Horst I.C., Rahel B.M., Lexis M.A., Kampinga M.A., Gu Y.L., de Smet B.J., Zijlstra F. (2011). *Impact of chronic total occlusions on markers of reperfusion, infarct size, and long-term mortality: a substudy from the TAPAS-trial*. *Catheter Cardiovasc. Interv.* 77, 484–491.
- Maiello L., Colombo A., Almagor Y., Bouzon R., Thomas J., Zerboni S., Finci L. (1992). *Coronary stenting with a balloonexpandable stent after the recanalization of chronic total occlusions*. *Catheter Cardiovasc. Diagn.* 25, 293–296.
- Morino Y., Abe M., Morimoto T., Kimura T., Hayashi Y., Muramatsu T., Ochiai M., Noguchi Y., Kato K., Shibata Y., Hiasa Y., Doi O., Yamashita T., Hinohara T., Tanaka H., Mitsudo K. (2011). *Predicting successful guidewire crossing through chronic total occlusion of native coronary lesions within 30 minutes: the J-CTO (Multicenter CTO Registry in Japan) score as a difficulty grading and time assessment tool*. *JACC Cardiovasc. Interv.* 4, 213–221.
- Neumann F.J., Sousa-Uva M., Ahlsson A., Alfonso F., Banning A.P., Benedetto U., Byrne R.A., Collet J.P., Falk V., Head S.J., Jüni P., Kastrati A., Koller A., Kristensen S.D., Niebauer J., Richter D.J., Seferovic P.M., Sibbing D., Stefanini G.G., Windecker S., Yadav R., Zembala M.O. (2019). *2018 ESC/EACTS Guidelines on myocardial revascularization*. *Eur. Heart J.* 40, 87–165.
- Ochiai M., Ashida K., Araki H., Ogata N., Okabayashi H., Obara C. (2005). *The latest wire technique for chronic total occlusion*. *Ital. Heart J.* 6, 489–493.
- Opolski M.P., Ó Hartaigh B., Berman D.S., Budoff M.J., Achenbach S., Al-Mallah M., Andreini D., Cademartiri F., Chang H.J., Chinnaiyan K., Chow B.J., Hadamitzky M., Hausleiter J., Feuchtner G., Kim Y.J., Kaufmann P.A., Leipsic J., Maffei E., Pontone G., Raff G., Shaw L.J., Villines T.C., Min J.K. (2015). *Current trends in patients with chronic total occlusions undergoing coronary CT angiography*. *Heart* 101, 1212–1218.
- Opolski M.P., Achenbach S. (2015). *CT Angiography for Revascularization of CTO: Crossing the Borders of Diagnosis and Treatment*. *JACC Cardiovasc. Imaging* 8, 846–858.
- Opolski M.P., Achenbach S., Schuhbäck A., Rolf A., Möllmann H., Nef H., Rixe J., Renker M.,

- Witkowski A, Kepka C., Walther C., Schlundt C., Debski A., Jakubczyk M., Hamm C.W. (2015). *Coronary computed tomographic prediction rule for time-efficient guidewire crossing through chronic total occlusion: insights from the CT-RECTOR multicenter registry (Computed Tomography Registry of Chronic Total Occlusion Revascularization)*. JACC Cardiovasc. Interv. 8, 257–267.
- Rathore S., Katoh O., Tuschikane E., Oida A., Suzuki T., Takase S. (2010). *A novel modification of the retrograde approach for the recanalization of chronic total occlusion of the coronary arteries intravascular ultrasound-guided reverse controlled antegrade and retrograde tracking*. JACC Cardiovasc. Interv. 3, 155–164.
- Rees J.R. (1969). *The myocardial collateral circulation*. Br. Heart J. 31, 1–4.
- Schumacher S.P., Driessen R.S., Stuijzand W.J., Raijmakers P.G., Danad I., Dens J., Spratt J.C., Hanratty C.G., Walsh S.J., Boellaard R., van Rossum A.C., Opolski M.P., Nap A., Knaapen P. (2019). *Recovery of myocardial perfusion after percutaneous coronary intervention of chronic total occlusions is comparable to hemodynamically significant non-occlusive lesions*. Catheter Cardiovasc. Interv. 93, 1059–1066.
- Sianos G., Werner G.S., Galassi A.R., Papafaklis M.I., Escaned J., Hildick-Smith D., Christiansen E.H., Gershlick A., Carlino M., Karlas A., Konstantinidis N.V., Tomasello S.D., Di Mario C., Reifart N. (2012). *Recanalisation of chronic total coronary occlusions: 2012 consensus document from the EuroCTO club*. EuroIntervention 8, 139–145.
- Stein J.H., Weiss M.B., Ro J.H., Herman M.V. (1984). *Percutaneous transluminal coronary angioplasty of a coronary artery with a total occlusion*. Arch. Intern. Med. 144, 1875–1877.
- Stone G.W., Kandzari D.E., Mehran R., Colombo A., Schwartz R.S., Bailey S., Moussa I., Teirstein P.S., Dangas G., Baim D.S., Selmon M., Strauss B.H., Tamai H., Suzuki T., Mitsudo K., Katoh O., Cox D.A., Hoyer A., Mintz G.S., Grube E., Cannon L.A., Reifart N.J., Reisman M., Abizaid A., Moses J.W., Leon M.B., Serruys P.W. (2005). *Percutaneous recanalization of chronically occluded coronary arteries: a consensus document: part I*. Circulation 112, 2364–2372.
- Surmely J.F., Tsuchikane E., Katoh O., Nishida Y., Nakayama M., Nakamura S., Oida A., Hattori E., Suzuki T. (2006). *New concept for CTO recanalization using controlled antegrade and retrograde subintimal tracking: the CART technique*. J. Invasive Cardiol. 18, 334–338.
- Tomasello S.D., Boukhris M., Giubilato S., Marzà F., Garbo R., Contegiacomo G., Marzocchi A., Niccoli G., Gagnor A., Varbella F., Desideri A., Rubartelli P., Cioppa A., Baralis G., Galassi A.R. (2015). *Management strategies in patients affected by chronic total occlusions: results from the Italian Registry of Chronic Total Occlusions*. Eur. Heart J. 36, 3189–3198.
- Werner G.S., Martin-Yuste V., Hildick-Smith D., Boudou N., Sianos G., Gelev V., Rumoroso J.R., Erglis A., Christiansen E.H., Escaned J., di Mario C., Hovasse T., Teruel L., Bufe A., Lauer B., Bogaerts K., Goicolea J., Spratt J.C., Gershlick A.H., Galassi A.R., Louvard Y. (2018). *A randomized multicentre trial to compare revascularization with optimal medical therapy for the treatment of chronic total coronary occlusions*. Eur. Heart J. 39, 2484–2493.

Percutaneous revascularization of coronary chronic total occlusions – per aspera ad astra!

Patients with coronary chronic total occlusions have usually anginal symptoms, reversible ischemia on stress testing and viable myocardium subtended by the occluded artery. Notwithstanding the optimal clinical characteristics for revascu-

larization by means of percutaneous coronary intervention, the majority of subjects with chronic total occlusions are treated medically or referred for coronary artery bypass grafting. This review highlights the evolution and latest advancements in percutaneous techniques and technologies for revascularization of CTO.

Key words: coronary chronic total occlusion, percutaneous coronary intervention