

Kardiologie 2021 · 15:320–340
<https://doi.org/10.1007/s12181-021-00486-5>
 Angenommen: 26. Mai 2021
 Online publiziert: 20. Juli 2021
 © Deutsche Gesellschaft für Kardiologie - Herz- und Kreislaufforschung e.V. Published by Springer Medizin Verlag GmbH, ein Teil von Springer Nature - all rights reserved 2021



Kambis Mashayekhi¹ · Alexander Bufe² · Gerald S. Werner³ · Nikos Werner⁴ · Markus Meyer-Gessner⁵ · Christoph Liebetrau^{6,7} · Ralf Zahn^{8,13} · Benny Levenson⁹ · Helge Möllmann¹⁰ · Holger Nef¹¹ · Michael Behnes¹²

¹ Klinik für Kardiologie und Angiologie II, Universitäts-Herzzentrum Freiburg/Bad Krozingen, Bad Krozingen, Deutschland; ² Medizinische Klinik I, Helios Klinikum Krefeld, Universität Witten/Herdecke, Krefeld, Deutschland; ³ Medizinische Klinik I, Klinikum Darmstadt GmbH, Darmstadt, Deutschland; ⁴ Herzzentrum Trier, Krankenhaus der Barmherzigen Brüder Trier, Trier, Deutschland; ⁵ Klinik für Kardiologie, Augusta Krankenhaus, Düsseldorf, Deutschland; ⁶ Medizinisches Versorgungszentrum, CCB am AGAPLESION BETHANIEN KRANKENHAUS, Frankfurt am Main, Deutschland; ⁷ Abteilung für Kardiologie, Kerckhoff Heart and Thorax Center, Bad Nauheim, Deutschland; ⁸ Medizinische Klinik B, Klinikum der Stadt Ludwigshafen gGmbH, Ludwigshafen am Rhein, Deutschland; ⁹ Kardiologische Gemeinschaftspraxis und Vivantes Klinikum Am Urban, Berlin, Deutschland; ¹⁰ Klinik für Innere Medizin I, St.-Johannes-Hospital Dortmund, Dortmund, Deutschland; ¹¹ Medizinische Klinik I – Kardiologie und Angiologie, Universitätsklinikum Gießen und Marburg GmbH, Gießen, Deutschland; ¹² I. Medizinische Klinik, Universitätsklinikum Mannheim, Medizinische Fakultät Mannheim der Universität Heidelberg, Mannheim, Deutschland; ¹³ Kommission für Klinische Kardiovaskuläre Medizin, Deutsche Gesellschaft für Kardiologie, Düsseldorf, Deutschland

Behandlung von chronischen Koronarverschlüssen (CTO) – Positionspapier der Deutschen Gesellschaft für Kardiologie

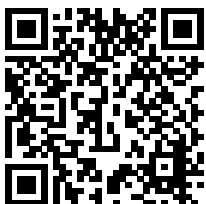
Inhaltsverzeichnis

Präambel

1. Einleitung
 - Definition
 - Prävalenz
 - Ischämieprävention durch Kollateralf Gefäße
2. Indikationsstellung der CTO-PCI
3. Expertise in der interventionellen Behandlung von CTO

Aus Gründen der besseren Lesbarkeit und Verständlichkeit der Texte wird in Springer-Publikationen in der Regel das generische Maskulinum als geschlechtsneutrale Form verwendet. Diese Form impliziert immer alle Geschlechter.

K. Mashayekhi und M. Behnes sind gleichberechtigte Autoren des Positionspapiers



QR-Code scannen & Beitrag online lesen

4. Wissenschaftliche Rationale: Symptomlinderung versus Prognoseverbesserung
 - Eine CTO verschlechtert die Prognose der betroffenen Patienten
 - Einfluss der CTO-PCI auf die Symptomatik und Prognose der betroffenen Patienten
 - Komplettrevascularisation bei koronarer Mehrgefäßerkrankung mit CTO: perkutane Koronarintervention versus operative Myokardrevascularisation
5. Ressourcenplanung zur Durchführung der CTO-PCI
6. Die CTO-PCI
 - Planungsangiographie, Algorithmus, Scoresysteme, histopathologischer Charakter
 - Antegrades Vorgehen
 - Retrogrades Vorgehen
7. Erfolgsaussichten, Risiken und Komplikationsmanagement bei der CTO-PCI
8. Fazit für die Praxis

Präambel

Die perkutane Koronarintervention von chronischen Koronarverschlüssen (CTO-PCI) zählt zu den komplexesten und technisch aufwendigsten Eingriffen in der modernen interventionellen Kardiologie. Hinsichtlich der Indikationsstellung zur Revaskularisation gibt es in der Fachwelt bis heute unterschiedliche Meinungen. Randomisierte Daten konnten zwar eine symptomatische Verbesserung, aber bisher keine Mortalitätssenkung nach erfolgter Koronarintervention zeigen. Umso entscheidender ist die richtige Patientenauswahl verbunden mit einer niedrigen periinterventionellen Komplikationsrate. Um dies zu gewährleisten, hat sich die Deutsche Gesellschaft für Kardiologie (DKG) entschieden, ein Positionspapier für alle in Praxen und Krankenhäusern tätigen Kardiologen, insbesondere aber auch für alle interventionellen Kardiologen zu verfassen.

1. Einleitung

In den letzten beiden Jahrzehnten wurden die interventionelle Therapie mittels perkutaner Koronarintervention (PCI) von chronischen Koronarverschlüssen (CTO = chronische totale Okklusion, englisch: „chronic total occlusion“) durch neue Techniken und Technologien immer weiter verbessert. Durch die wissenschaftlichen, internationalen Kooperationen und den anhaltenden Austausch von Informationen und über Techniken bei nationalen und internationalen Kongressen kam es zu einer stetigen Optimierung von CTO-PCI-Techniken und zu einer Reduktion der Komplikationsraten. Zudem führte die neue Generation von medikamentenbeschichteten Stents in Kombination mit intravaskulärer Bildgebung und optimaler Pharmakotherapie zu einer Reduktion von harten klinischen Endpunkten. Mittlerweile ist die interventionelle Behandlung der CTO mit ihren eigenen Nomenklaturen, speziellen Materialien, eigenen Trainingsanforderungen, weltweiten Netzwerken und vielen internationalen Live-Demonstrationskursen längst zu einer eigenen Subspezialität der interventionellen Kardiologie geworden.

Definition

CTO werden als Verschlüsse der großen epikardialen Koronargefäße ohne antegraden Fluss (definiert nach der Thrombolysis in Myocardial Infarction [TIMI]-Klassifikation: Grad 0 Fluss) und mit einer Verschlussdauer von mehr als 3 Monaten definiert [1]. Die proximale Kappe der CTO ist hierbei frei von Thromben und ohne Nachweis eines stehenden Kontrastmitteldepots. Dadurch sind eine instabile Plaqueruptur und eine kateterinduzierte, iatrogene Koronardissektion ausgeschlossen. Bei den allermeisten CTO liegt eine Kollateralisierung des Koronargefäßes distal des Verschlusses vor, die in aller Regel mittels kontralateraler Kontrastmittelapplikation gut dargestellt werden kann. Hinsichtlich der technischen Komplexität der interventionellen Rekanalisation ist hierbei die Abgrenzung der CTO von „funktionellen Verschlüssen“, die noch einen residu-

ellen antegraden TIMI I-Fluss aufweisen, wichtig. Bei einer länger als 3 Monate zurückliegenden Koronarangiographie mit nachgewiesenem Verschluss kann definitiv von einer CTO ausgegangen werden. Schwieriger ist es allerdings, wenn keine Angiographie vorliegt. Hierbei gibt nur der Beginn anamnestisch geschilderter Symptome Aufschluss in Bezug auf die Dauer der CTO.

Prävalenz der CTO

Eine eindeutige Aussage zur Prävalenz von CTO kann nicht getroffen werden und wird in Studien unterschiedlich angegeben. Allerdings werden CTO bei invasiven Koronarangiographien im klinischen Alltag nahezu täglich angetroffen. In einem großen kanadischen multizentrischen Register, in das 14.439 Patienten mit Koronarangiographie eingeschlossen wurden, fand sich in 14,7% der Patienten eine CTO [2]. Noch häufiger wird eine CTO nach aortokoronarer Bypass (ACB)-Operation vorgefunden (in mehr als der Hälfte der Patienten [54%]). Bei Patienten mit einem akuten Myokardinfarkt wurde in 10% der Patienten eine begleitende CTO verifiziert, wobei gerade dieses Patientenkollektiv durch eine deutlich erhöhte kardiovaskuläre Mortalität charakterisiert ist [3]. In dem prospektiv angelegten schwedischen SCAAR-Register (Swedish Coronary Angiography and Angioplasty Registry) wurden von Januar 2005 bis einschließlich Januar 2012 über 276.931 Koronarangiographien von 215.836 Patienten analysiert [4]. Nach Ausschluss von Patienten mit akutem Myokardinfarkt und vorangegangener ACB-Operation hatten 16,0% des verbliebenen Kollektivs mit diagnostizierter koronarer Herzerkrankung (KHK) eine CTO.

Ischämieprävention durch Kollateralgefäße

In der Regel sind bei einer CTO zusätzlich feine Kollateralgefäße vorhanden. Dieses Kollateralnetz kann unter Ruhebedingungen die Sauerstoffversorgung in das Myokardareal, das eigentlich von der CTO-Arterie versorgt werden

sollte, gerade noch gewährleisten. Dadurch können Myokardnekrosen verhindert werden. Zudem werden die metabolische Versorgung des Myokards und die Kontraktilität in Ruhe aufrechterhalten. Die funktionelle Reserve der retrograden Durchblutung über die Kollateralen reicht in der Regel jedoch nicht aus, um eine relevante Koronarischemie etwa unter Belastung zu verhindern [5–8]. Die Kollateraldurchblutung ist hierbei durch einen wesentlich geringeren retrograden Perfusionsdruck bis etwa 50 mm Hg charakterisiert, der wiederum zu einer funktionellen Verkleinerung und allgemeinen Unterschätzung des Durchmessers des distalen Gefäßabschnitts nach dem CTO-Segment führt [9]. Dabei besteht keine Korrelation zwischen dem Ausmaß und der Größe der Kollateralen, die weder ein Indikator für eine vorhandene Vitalität noch für eine ausreichende Sauerstoffversorgung unter Belastung sind [6]. Ausgeprägte Kollaterale können auch bei Patienten mit akutem Myokardinfarkt bzw. bei großen akinetischen Myokardarealen vorhanden sein. Dies impliziert somit die Notwendigkeit für eine Vitalitätsdiagnostik insbesondere bei akinetischen Arealen und für eine Ischämietestung in Abhängigkeit des Beschwerdebildes vor Durchführung einer CTO-PCI. Darüber hinaus ist eine genaue präinterventionelle Analyse des Kollateralsystems im Hinblick auf die technische Durchführbarkeit einer retrograden CTO-PCI obligat [10–12].

2. Indikationsstellung der CTO-PCI im Vergleich zur ACB-Operation

Folgt man den Leitlinien der europäischen Gesellschaft für Kardiologie (ESC) zur Myokardrevaskularisation aus dem Jahr 2018 [13], sollte die Indikation zur Behandlung einer CTO im Wesentlichen der von nichtokklusiven Koronarstenosen entsprechen. Die Empfehlung für die CTO-PCI hat hier einen Empfehlungsgrad II mit einem Evidenzgrad B. Jedoch müssen aufgrund der Komplexität des Eingriffs bestimmte Voruntersuchungen und Befunde vorausgesetzt werden (s. **Tab. 1**). Zunächst sollte der betroffene Patient unter KHK-typischen Sympto-

men wie typischer Angina pectoris oder Dyspnoe in Ruhe oder Belastung leiden. Die Symptome sollten trotz optimaler medikamentöser, antianginöser Therapie weiter nachweisbar sein. Bei fehlenden Symptomen wurde bisher der Nachweis einer relevanten Myokardischämie von mindestens 10 % verlangt, die zuvor durch moderne invasive oder nichtinvasive Bildgebung (z. B. durch Stress-MRT, PET-CT, Myokardszintigraphie bzw. Stressechokardiographie) dokumentiert sein muss. Allerdings konnte der kürzlich publizierte ISCHEMIA-Trial keine Prognoseverbesserung auch bei relevanter Myokardischämie durch eine Myokardrevaskularisation zeigen [14]. Ob die Ergebnisse der ISCHEMIA-Studie auch auf CTO-Patienten zutreffen, wird in 2 derzeit rekrutierenden, großen randomisierten Studien untersucht, dem ISCHEMIA-CTO-Trial (Nordic and Spanish Randomized Trial on the Effect of Revascularization or Optimal Medical Therapy of Chronic Total Coronary Occlusions With Myocardial Ischemia; NCT03563417) und der NOBLE-CTO Studie (Nordic-Baltic Randomized Registry Study for Evaluation of PCI in Chronic Total Coronary Occlusion; NCT03392415).

Weitere Voraussetzung für jede CTO-PCI ist der Nachweis von vitalem Myokardgewebe im CTO-Versorgungsbe- reich. Hierfür reicht in der Regel der echokardiographische Nachweis von Kinetik. Im Falle einer ausgeprägten Akinesie sollte dann ergänzend eine Vitalitätsdiagnostik (z. B. durch ein Kar- dio-MRT) durchgeführt werden, um den transmuralen Narbenanteil zu bestimmen (i. e. < als 50 %).

Über den Nutzen der operativen Myokardrevaskularisation einer CTO durch eine ACB-Operation mit Anastomosierung distal des CTO-Segments sind kaum aktuelle Daten verfügbar. Häufige, für die operative Komplettrevaskularisation limitierende Faktoren sind gerade das Vorhandensein einer CTO, Bifurkationsstenosen, diffuse KHK inklusive schmalkalibriger Gefäße, instabile Angina pectoris und mehrfache sequenzielle Koronarstenosen [15]. Ein Venengraft der Vv. saphenae auf dünne, diffus erkrankte Koronargefäße ist mit einer höheren Rate von

Kardiologie 2021 · 15:320–340 <https://doi.org/10.1007/s12181-021-00486-5>
© Deutsche Gesellschaft für Kardiologie - Herz- und Kreislaufforschung e.V. Published by Springer Medizin Verlag GmbH, ein Teil von Springer Nature - all rights reserved 2021

K. Mashayekhi · A. Bufe · G. S. Werner · N. Werner · M. Meyer-Gessner · C. Liebetrau · R. Zahn · B. Levenson · H. Möllmann · H. Nef · M. Behnes

Behandlung von chronischen Koronarverschlüssen (CTO) – Positionspapier der Deutschen Gesellschaft für Kardiologie

Zusammenfassung

Die perkutane Koronarintervention (PCI) von chronischen Koronarverschlüssen (CTO-PCI) hat sich in der letzten Dekade stetig weiterentwickelt und geht mittlerweile mit Erfolgsraten von über 85 % einher. Die Ausbildung zum selbstständigen CTO-Operateur dauert oft mehrere Jahre und Bedarf neben institutionellen Voraussetzungen eines hohen Eigenengagements zur ständigen Weiterbildung. Randomisierte Daten konnten zwar eine symptomatische Verbesserung, aber bisher keine Mortalitätssenkung nach erfolgreicher Koronarintervention zeigen. Umso entscheidender ist die richtige Patientenauswahl verbunden mit einer niedrigen periinterventionellen Komplikationsrate. Um dies zu gewährleisten, hat sich die

Deutsche Gesellschaft für Kardiologie (DGK) entschieden, ein Positionspapier für alle in Praxen und Krankenhäusern tätigen Kardiologen, insbesondere aber auch für alle interventionellen Kardiologen zu verfassen. Zielführend erscheint eine bundesweite Etablierung von spezialisierten CTO-Zentren. Nur dadurch können diese hochkomplexen Prozeduren dem Patienten gegenüber mit einem niedrigen und somit vertretbaren Risiko angeboten werden.

Schlüsselwörter

Deutsche Gesellschaft für Kardiologie · Chronischer Koronarverschluss · Perkutane Koronarintervention · Koronare Revaskularisation · Koronare Herzerkrankung

Treatment of chronic coronary artery occlusion (CTO)—Position paper of the German Cardiac Society

Abstract

Percutaneous coronary intervention of chronic coronary artery occlusions (CTO PCI) has developed steadily over the past decade and is now accompanied by success rates of more than 85%. The training to become an independent CTO operator often takes several years and, in addition to the institutional requirements, requires a high level of personal commitment for ongoing further training. Randomized data showed symptomatic improvement but so far no reduction in mortality after CTO PCI. The right choice of patients, combined with a low peri-interventional complication rate, is all the more important. To ensure this, the German

Cardiac Society (DGK) has decided to write a position paper for all cardiologists working in outpatient clinic and hospitals especially addressing all interventional cardiologists. A nationwide establishment of specialized CTO centers appears expedient. This approach will offer these highly complex procedures to the patient with a low and therefore justifiable risk.

Keywords

German Society of Cardiology · Chronic coronary occlusion · Percutaneous coronary intervention · Coronary revascularization · Coronary artery disease

Bypassverschlüssen in der Folge assoziiert. Darüber hinaus sind nicht immer ausreichend viele Bypassconduits verfügbar, um hier alle notwendigen Zielgebiete zu anastomosieren. Für die Revaskularisation im CTO-Gebiet wird häufig noch das Konzept der „angemessenen“ inkompletten Revaskularisation vertreten, das zum Teil jedoch auf älteren Daten beruht, die keinen Überlebensnachteil infolge der konservativen Therapie

von Nicht-RIVA-Territorien erbrachten [16–18].

3. Expertise in der interventionellen Behandlung von CTO

Die interventionelle Behandlung der CTO setzt eine ausreichende und jahrelange Erfahrung in der Behandlung von komplexen Koronar anatomien und -läsionen voraus. Die CTO-PCI ist durch die

Tab. 1 Indikationsstellung für die CTO-PCI

1.	Typische Angina pectoris oder Dyspnoe trotz optimaler medikamentöser Therapie
2.	Nachweis von Vitalität: durch den Nachweis von Wandbewegung/Kinetik in der transthorakalen Echokardiographie
3.	Beurteilung des transmuralen Narbenanteils im Kardio-MRT (<50%), wenn echokardiographisch eine Akinesie nachzuweisen ist

damit verbundenen zusätzlichen Materialkenntnisse und speziellen Techniken zu einer eigenen Disziplin der interventionellen Kardiologie geworden und sollte nur von sehr erfahrenen, speziell dafür trainierten Operateuren durchgeführt werden. Die Europäischen Leitlinien zur Myokardrevaskularisation [13] nehmen zur Behandlung von „Hoch-Risiko“-Interventionen spezifisch Stellung. Hierbei sollten komplexe Eingriffe wie die PCI am letzten verbliebenen – *entweder funktionell oder anatomisch offenen* – Koronargefäß, von Hauptstamminterventionen sowie die Behandlung von CTO nur von erfahrenen Operateuren in Zentren mit der Möglichkeit zur Herz-Kreislauf-Unterstützung und intensivmedizinischer Überwachung erfolgen (IIa, C Empfehlung). Die Mindestvoraussetzungen für einen selbstständigen CTO-Operateur bestehen laut eines Konsensdokuments des europäischen CTO-Clubs (EuroCTO Club) [19] aus mindestens 50 eigenständig durchgeführten CTO-PCI pro Jahr. Spezielle Techniken wie das retrograde Vorgehen oder sog. Dissektions-Reentry-Techniken sollten nur von Spezialisten an Zentren durchgeführt werden.

Bei komplexeren Prozeduren sind oft 2 erfahrene CTO-Operateure, zusätzliches Assistenzpersonal und die Unterstützung durch einen Anästhesisten oder Intensivmediziner erforderlich. Zudem muss allen Beteiligten die Indikationsstellung und Notwendigkeit zur Intervention im Vorfeld klar kommuniziert werden. Der letztendliche Erfolg einer komplexeren Prozedur hängt neben der Teamexpertise nicht selten von der Geduld des Operateurs ab.

Darüber hinaus sollte sich jeder interventionelle Kardiologe, der die sichere

und zuverlässige interventionelle Rekanalisation von CTO erlernen möchte, neben dem selbstständigen Literatur- und Fallstudium mindestens 1-mal jährlich in Workshops (z. B. im Rahmen der Interventionsakademie der AGIK) fortbilden und einen regelmäßigen Austausch mit erfahrenen Operateuren pflegen. Letzterer impliziert die regelmäßige präprozedurale Besprechung des Patienten, der Planungskoronarangiographie und der möglichen Rekanalisationstechniken, die sich für den individuellen Patienten am besten eignen. Dies ist insbesondere deshalb von großer Bedeutung, weil der CTO-Patient häufig ein Patient mit einem chronischen Koronarsyndrom (CCS) ist, der durch eine lange Krankheitsgeschichte mit vorangeschrittener Komorbidität inklusive arterieller Hypertonie, Diabetes mellitus Typ 2, peripherer arterieller Verschlusskrankheit (PAVK), Herz- und Niereninsuffizienz charakterisiert sein kann [20].

Als Hauptansprechpartner für Fort- und Weiterbildung dienen der Arbeitskreis CTO der Arbeitsgruppe interventionelle Kardiologie (AGIK) der DGK (<https://agik.de/arbeitskreise/cto/>) und der europäische CTO-Club (<https://www.eurocto.eu>).

4. Wissenschaftliche Rationale: Symptomlinderung versus Prognoseverbesserung

Eine CTO verschlechtert die Prognose der betroffenen Patienten

Es gibt viele retrospektive Registeranalysen, die eine erhöhte **kardiovaskuläre Mortalität** bei CTO-Patienten belegen [3, 21–23]. In dem bereits zuvor dargestellten *SCAAR-Register* [3] wurden 14.441 CTO-Patienten gegenüber 75.431 Nicht-CTO-Patienten mit einer KHK, definiert als das Vorliegen von mindestens einer über 50%-Koronarstenose, hinsichtlich ihrer Langzeitmortalität verglichen. CTO-Patienten hatten innerhalb von 3,2 Jahren eine signifikant erhöhte adjustierte Langzeitmortalität, sodass das Vorhandensein einer CTO einen unabhängigen Mortalitätsprädiktor darstellte (HR: 1,29%, 95 %

CI: 1,22–1,37, $p < 0,001$). In einer Subgruppenanalyse war die Mortalität von Patienten mit stabiler KHK am niedrigsten, während Patienten mit einem **akuten Myokardinfarkt** die höchste Mortalität hatten. In der *HORIZONS-AMI* (The Harmonizing Outcomes with Revascularization and Stents in Acute Myocardial Infarction)-Studie [22] wurden CTO-Patienten mit akutem Myokardinfarkt untersucht. Auch hier war das Vorhandensein einer CTO in multivariablen Regressionsanalysen ein unabhängiger Prädiktor für eine erhöhte Mortalität nach 30 Tagen (HR 2,88, 95 % CI 1,41–5,88, $p = 0,004$) und nach 3 Jahren (HR 1,98, 95 % CI 1,19–3,29, $p = 0,009$) [23]. Gerade Patienten mit CTO und koronarer Mehrgefäßerkrankung, die das initiale Infarktereignis überlebt hatten, hatten im Vergleich zu Patienten mit Mehrgefäßerkrankung ohne CTO die höchste Mortalität (10,2 % vs. 4,1 %, $p < 0,01$). Beim Vorliegen eines **kardiogenen Schocks** ist eine zusätzlich nachweisbare CTO von prognostischer Bedeutung. Eine *kanadische Arbeitsgruppe* untersuchte hierfür die 30-Tages-Mortalität von Patienten im kardiogenen Schock infolge eines akuten Myokardinfarktes [24]. In dieser retrospektiven Datenanalyse lag die kardiovaskuläre Mortalität insgesamt bei 40,2 %. Beim Vorliegen einer CTO lag diese sogar bei 65,6 %. Keiner der Patienten mit mindestens 2 CTO und kardiogenem Schock hatte die ersten 30 Tage überlebt. Die CTO war auch in diesem Hochrisikokollektiv ein unabhängiger Mortalitätsprädiktor (HR 1,83, 95 % CI 1,10–3,01, $p = 0,02$). In der Subgruppenanalyse der prospektiv randomisierten *IABP-Schock-II-* [25] und *Culprit-Shock-Studien* [26] wurde der prognostische Nachteil von CTO-Patienten im kardiogenen Schock auch nach 1 Jahr der Nachbeobachtung bestätigt [27].

Besonderes Augenmerk sollte darüber hinaus auf Patienten mit einem erhöhten Risiko für **ventrikuläre Tachyarrhythmien** gelegt werden. Hier konnten mehrere Registerarbeiten einen ungünstigen prognostischen Einfluss für CTO-Patienten dokumentieren. Die „*VACTO Primary*“ (Ventricular Arrhythmias and Chronic Total Coronary Occlusion)-

Studie konnte dabei belegen, dass bei Patienten mit einem implantierbaren Defibrillator (ICD) zur Primärprävention dann vermehrt adäquate ICD-Therapien ausgelöst wurden, wenn sie an einer CTO litten und darüber hinaus eine erhöhte Langzeitmortalität vorwiesen [28]. In der folgenden „VACTO Secondary“-Studie konnte entsprechend nachgewiesen werden, dass auch CTO-Patienten mit sekundär prophylaktisch implantiertem ICD ($n = 425$) eine signifikant höhere 4-Jahres-Mortalität (51,7 % vs. 36,3 %; $p = 0,001$) und eine erhöhte Rezidivrate für ventrikuläre Tachyarrhythmien hatten [29]. Eine weitere Studie bei Patienten nach primärprophylaktischer ICD-Implantation konnte sogar zeigen, dass eine CTO das Risiko für ventrikuläre Tachyarrhythmien und Mortalität bei Patienten mit einem zurückliegenden stummen Myokardinfarkt (i. e. Konzept der „infarct-related CTO artery“) triggern kann [30]. In der zum aktuellen Zeitpunkt noch nicht veröffentlichten „VACTO Tertiary“ Study gibt es Hinweise, dass sich eine Rekanalisation insbesondere bei einer „infarct-related CTO artery“ als prognostisch vorteilhaft erweisen könnte. Das weltweit größte monozentrische „all-comers“-Register der Mannheimer Arbeitsgruppe (Registry of Malignant Arrhythmias and Sudden Cardiac Death – Influence of Diagnostics and Interventions, RACE-IT) untersuchte den prognostischen Einfluss der CTO bei insgesamt 1416 konsekutiven Patienten (von 2002 bis 2016) mit ventrikulären Tachyarrhythmien und durchgeführter Koronarangiographie im stationären Setting. Hierbei konnte gezeigt werden, dass Patienten mit ventrikulären Tachyarrhythmien und einer CTO (20 %) sowohl mit einer erhöhten Gesamtmortalität nach 18 Monaten als auch mit einer höheren Rate des kombinierten Endpunkts bestehend aus kardialen Tod innerhalb von 24 h nach Indexereignis, Rezidiven von ventrikulären Tachyarrhythmien und adäquaten ICD-Therapien nach 18 Monaten assoziiert waren. Multiple CTO waren innerhalb der CTO-Gruppe häufig nachweisbar (22 %) [31]. Auch innerhalb der Patienten, die mit einem ICD versorgt waren, blieb die CTO mit einem hö-

heren Rezidiv- und ICD-Therapierisiko nach 5 Jahren assoziiert, während eine geringere Kollateralisierung und eine komplexere CTO-Kategorie, gemessen an einem J-CTO-Score von ≥ 3 , die stärksten Prädiktoren für Rezidive innerhalb der CTO-Gruppe waren (25 % von 422 ICD-Patienten) [32].

Der Einfluss der CTO auf die **elektrophysiologischen Veränderungen des Myokards** konnte bisher nur in kleineren nicht randomisierten Studien untersucht werden. So konnte eine südeuropäische Arbeitsgruppe zeigen, dass Patienten mit einer „infarct-related“ CTO sowohl größere Narbenareale als auch größere elektroanatomische Grenz-zonen („border zones“) vorwiesen und entsprechend ein höheres Rezidivrisiko für ventrikuläre Tachykardien hatten [33]. Im Gegensatz dazu konnte eine japanische Arbeitsgruppe in einem kleinen Patientenkollektiv zeigen, dass sich infolge einer erfolgreichen CTO-PCI diese Grenzzonen verringerten, während sich Bereiche mit erhaltener Leitfähigkeit vergrößerten und Narbenareale unverändert blieben [34].

Einfluss der CTO-PCI auf die Symptomatik und Prognose der betroffenen Patienten

Infolge der zunehmenden praktischen Erfahrung und neuer interventioneller Techniken in den letzten beiden Jahrzehnten können erfolgreiche Rekanalisationsraten in bis zu 90 % aller CTO-PCI-Prozeduren erreicht werden [35]. Der wissenschaftlich belegte Nutzen der CTO-PCI bezieht sich hierbei v. a. auf die Verringerung von Symptomen wie typischer Angina pectoris oder Dyspnoe bzw. auf einen möglichen Überlebensvorteil.

Vier randomisierte kontrollierte Studien erforschten bisher den Nutzen der CTO-PCI im Vergleich zur konservativen Therapie der CTO in verschiedenen Patientengruppen. Die EXPLORE-Studie (Evaluating XIENCE and Left Ventricular Function in Percutaneous Coronary Intervention on Occlusions After ST-Elevation Myocardial Infarction) untersuchte, ob die zusätzliche PCI einer CTO innerhalb von 7 Tagen nach einem

erfolgreich intervenierten ST-Streckenhebungsinfarkt (STEMI) zu einer Verbesserung der linksventrikulären Ejektionsfraktion (LVEF) und des LV enddiastolischen Volumens (LVEDV) nach 4 Monaten führt [36]. Dabei konnte keine signifikante Verbesserung der LVEF bzw. LVEDV nachgewiesen werden (i. e. mittlere LVEF bei Einschluss 40 %). Die Interpretation der Ergebnisse wird jedoch durch eine geringe CTO-PCI-Erfolgsrate von nur 73 % sowie einer hohen Rate an Crossover-Patienten (23 %) und Patienten mit Tod infolge eines kardiogenen Schocks erschwert.

Die multizentrische randomisierte DECISION-CTO-Studie wurde aufgrund ihrer langsamen Rekrutierung vorzeitig beendet (834 von 1284 Patienten eingeschlossen). Sie zeigte nur einen numerischen Vorteil bezüglich der Lebensqualität nach CTO-PCI im Vergleich zur alleinigen optimalen medikamentösen Therapie [37]. Der kombinierte Endpunkt aus Tod, Myokardinfarkt, Schlaganfall und erneuter Revaskularisation innerhalb von 3 Jahren unterschied sich trotz der hohen Erfolgsrate der CTO-PCI von 91 % zwischen beiden Gruppen nicht (21,2 % vs. 19 %). Dies wurde als Hinweis für eine Nichtunterlegenheit der alleinigen medikamentösen Therapie gedeutet. Kritisiert wurde diese Studie wegen des vorzeitigen Studierendens, der langsamen Rekrutierung, aber v. a. wegen der zu hohen Crossover-Rate, die zu einer Schwächung der statistischen Aussagekraft führte. Etwa 20 % der Studienteilnehmer im medikamentösen Therapiearm wurden innerhalb der ersten 72 h mittels CTO-PCI behandelt und infolge der geplanten „Intention-to-Treat“-Analyse statistisch dem medikamentösen Arm zugeordnet. Darüber hinaus wurden nichtokklusiv Koronarstenosen bei einem Großteil der Patienten erst nach Randomisierung interveniert. Schließlich war die Studie für den prognostischen Mortalitätsendpunkt nicht ausreichend statistisch gepowert, um einen möglichen prognostischen Einfluss der CTO-PCI zu belegen [38].

Zwei randomisiert kontrollierte Studien konnten dagegen bisher die Überlegenheit der CTO-PCI gegenüber der

konservativen Therapie im Hinblick auf die Verringerung von Symptomen, myokardialer Ischämiebelastung und Verbesserung der Lebensqualität sowie Belastbarkeit nachweisen. In der multizentrischen *Euro-CTO*-Studie konnte bei 396 Patienten gezeigt werden, dass nach der Behandlung aller nichtokklusiven Koronarstenosen die zusätzliche CTO-PCI (i. e. Erfolgsrate: 86,3%) im Vergleich zu einer optimalen medikamentösen Therapie die Anginahäufigkeit und CCS(Canadian Cardiovascular Society)-Klasse verringerte und damit zu einer symptomatischen Verbesserung und der Lebensqualität innerhalb von 12 Monaten führte [39]. Die kleinere *IMPACTOR*(Impact on Inducible Myocardial Ischemia of Percutaneous Coronary Intervention versus Optimal Medical Therapy in Patients with Right Coronary Artery Chronic Total Occlusion)-Studie, in die 94 Patienten mit CTO der RCA eingeschlossen wurden, zeigte, dass die CTO-PCI im Vergleich zur medikamentösen Therapie die myokardiale Ischämiebelastung, gemessen im Adenosin-Kardio-MRT, signifikant innerhalb von 12 Monaten senkte und die subjektive Belastbarkeit und Lebensqualität verbesserte [40]. Das Ergebnis der *IMPACTOR*-Studie deckt sich mit den Ergebnissen einer nicht randomisierten Studie, die eine signifikante Verbesserung der kardiopulmonalen Belastbarkeit innerhalb von 7 Monaten nach erfolgreicher CTO-PCI belegte. Hier konnten neben der Verbesserung der subjektiven Symptomatik objektivierbare, signifikante Verbesserungen der gängigen Parameter der Spiroergometrie (i. e. maximale Sauerstoffaufnahme, anaerober Grenzwert und Sauerstoffpuls) nachgewiesen werden [41]. Zusammenfassend wurde somit der symptomatische Nutzen der CTO-PCI im Vergleich zur alleinigen medikamentösen Therapie in 2 randomisierten Studien belegt.

Über den prognostischen Nutzen der CTO-PCI existieren derzeit noch immer keine prospektiv randomisierten Studien, jedoch eine Fülle nicht randomisierter Studien. In diesen werden in der Regel Patienten mit erfolgreicher gegenüber erfolgloser CTO-PCI hinsichtlich verschiedener prognostischer Endpunk-

te evaluiert. So kann auch das bereits erwähnte *SCAAR-Register* angeführt werden [3]. Von den zwischen 2005 und 2012 insgesamt 6442 CTO-Patienten waren 54,2% der Patienten mit erfolgreicher CTO-PCI mit einer geringeren Gesamtmortalität nach 5 Jahren assoziiert (HR: 0,85, 95% CI: 0,73–0,98, $p < 0,034$). Auch anhand der *United Kingdom Central Cardiac Audit Database* konnte ein Überlebensvorteil bei 14.439 CTO-Patienten durch die CTO-PCI (70,6%) innerhalb von 2,65 Jahren nahegelegt werden (HR: 0,72, 95% CI: 0,62–0,83, $p < 0,001$) [42]. Der größte Überlebensvorteil war dabei für die Patienten nachweisbar, die eine komplette Koronarrevaskularisation erhielten (HR: 0,70, 95% CI: 0,56–0,87, $p = 0,002$). Unklar bleibt, ob es sich hierbei tatsächlich um einen Behandlungseffekt oder einen Selektionseffekt handelt.

Während insbesondere die *Euro-CTO-Studie* eine Verringerung der Angina pectoris und Verbesserung der Lebensqualität bei Patienten mit normaler LVEF darlegen konnte, ist der prognostische Vorteil der CTO-PCI möglicherweise bei Patienten mit systolischer Herzinsuffizienz belegbar. Der Zusammenhang zwischen den unterschiedlichen Symptomkonstellationen von CTO-Patienten in Abhängigkeit der LVEF wurde kürzlich in einer weiteren nicht randomisierten, multizentrischen Arbeit dargelegt [43]; 839 CTO-Patienten wurden über 16 Monate nachbeobachtet. Die Erfolgsrate der CTO-PCI lag bei 93,6%. CTO-Patienten mit LVEF von $\geq 50\%$ litten eher an Angina-pectoris-Beschwerden als CTO-Patienten mit einer LVEF $\leq 35\%$, die vermehrt an verminderter Belastbarkeit und vermehrter Kurzatmigkeit litten. Gerade bei Patienten mit fortgeschrittener systolischer Herzinsuffizienz wurde durch die CTO-PCI eine Verbesserung der gemittelten LVEF von 29,1 auf 41,6% nach 6 Monaten erreicht. Eine weitere Arbeit der Bad Krozinger-Arbeitsgruppe konnte darüber hinaus an 2002 konsekutiven CTO-Patienten nahelegen, dass die CTO-PCI sowohl bei Patienten mit einer LVEF $>$ oder $\leq 40\%$ mit einer besseren Lebenserwartung innerhalb von 2,5 Jahren assoziiert war (relative Risikoreduktionen, LVEF $> 40\%$: 6,6% vs. 16,9%,

adjustiert HR 0,48, $p < 0,001$; Mortalität: LVEF $\leq 40\%$: 26,2% vs. 45,2%, adjustiert HR 0,63, $p = 0,04$) [44].

Komplettrevaskularisation bei koronarer Mehrgefäßerkrankung mit CTO: perkutane Koronarintervention versus operative Myokardrevaskularisation

Es gibt ausreichend viele Hinweise, dass Patienten mit einer koronaren Mehrgefäßerkrankung von einer kompletten Myokardrevaskularisation unabhängig vom Revaskularisationsverfahren profitieren. Die größte Metaanalyse beinhaltet Daten von fast 90.000 Patienten aus 35 Studienkohorten, allerdings bereits aus den Jahren 1970 bis 2012 [15]. Die komplette Revaskularisation war assoziiert mit einer 29%igen Reduktion der Gesamtmortalität (relatives Risiko [RR]: 0,71, 95% CI: 0,65–0,77, $p < 0,001$), einer Reduktion der Infarktrate (RR: 0,78, 95% CI: 0,68–0,90, $p = 0,001$) und einer geringen Re-Interventionsrate (RR: 0,74, 95% CI: 0,65–0,83, $p < 0,001$) innerhalb des Nachbeobachtungszeitraum von 4,6 (± 4) Jahren. Ernüchternd war jedoch, dass nur die Hälfte der Patienten komplett revaskularisiert wurde. Die Rate der inkompletten Revaskularisationen war nach PCI deutlich größer als nach einer Bypassoperation (56% vs. 25%; $p < 0,001$). Innerhalb des *New York State Registry*, das über 21.000 Patienten zwischen 1997 und 2000 eingeschlossen hatte, konnte nur bei einem Drittel der Patienten eine komplette Koronarrevaskularisation durchgeführt werden. Dennoch war diese mit einem verbesserten Langzeitüberleben assoziiert, während das Vorhandensein einer unbehandelten CTO das Überleben verschlechterte (adjustierte HR = 1,35, 95% CI 1,14–1,59, $p < 0,001$) [45].

Als Ursache für die inkomplette Revaskularisation wird häufig die CTO angeführt. In einer Subgruppenanalyse der sog. *SYNTAX-Studie* zur Erfassung der Prädiktoren der inkompletten Revaskularisation war die CTO – nachweisbar bei 20% aller Patienten – der stärkste Prädiktor für eine inkomplette Koronarrevaskularisation (Hazard Ratio: 2,70, 95% CI: 1,98–3,67, $p < 0,001$) [46]. Ins-

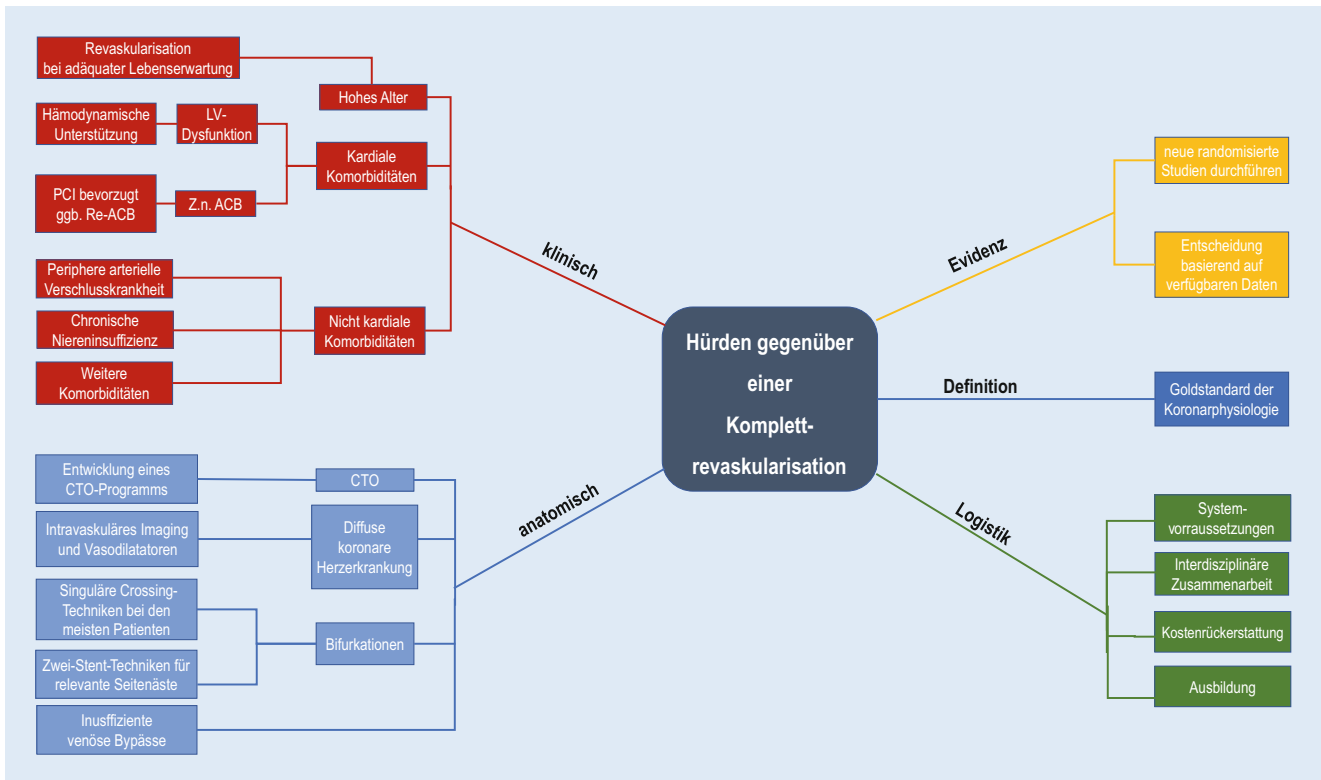


Abb. 1 ▲ Limitierende Faktoren, die die Notwendigkeit der koronaren Komplettrevaskularisation im klinischen Alltag behindern können. ACB aortokoronare Bypassoperation, CTO chronischer Koronarverschluss, LV-Dysfunktion linksventrikuläre Dysfunktion, PCI perkutane Koronarintervention (adaptiert nach [52])

gesamt war die Bypassoperation der PCI hinsichtlich einer kompletten Revaskularisation überlegen (52,8 % PCI vs. 66,9 % Bypass). In einer weiteren Subgruppenanalyse konnten die Ursachen einer inkompletten Revaskularisation nach Bypassoperation eruiert werden. Häufigster Grund waren eine instabile Angina pectoris bei Einschluss (OR = 1,42, 95 % CI 1,02–1,98, $p = 0,038$), ein krankes distales Zielgefäß (<2 mm) (OR = 1,87, 95 % CI 1,31–2,69, $p = 0,001$) sowie die Anzahl notwendiger Bypassanastomosen (OR = 1,70, 95 % CI 1,53–1,89, $p < 0,001$) [47]. Leider sind die Daten zu den Offenheitsraten von Bypässen auf CTO-Gefäße sehr rar. Ähnlich wie bei der PCI hängt der Erfolg der operativen Komplettrevaskularisation zusätzlich von der Expertise des Herzchirurgen ab. Da mittlerweile in speziellen CTO-Zentren sehr hohe Erfolgsraten mittels PCI (i. e. >90 %) zu erzielen sind, sollte die CTO per se nicht als einziges Entscheidungskriterium im Hinblick auf PCI oder ACB herangezogen werden. Grundsätzlich sollten Patienten

mit einer Mehrgefäßerkrankung und erhöhtem Syntax-Score im Heart-Team besprochen werden. Entsprechend den aktuellen europäischen Leitlinien aus dem Jahr 2018 sollte das Revaskularisationsverfahren priorisiert werden, mit dem die prognostisch vorteilhafte Komplettrevaskularisation tatsächlich erreicht werden kann, also entweder die ACB-Operation, die PCI oder ein Hybridverfahren in Abhängigkeit von Ausprägung und Komplexität der KHK (Empfehlungsgrad IIa, Evidenzgrad B) [13]. Faktoren, die die Durchführung einer koronaren Komplettrevaskularisation ungünstig beeinflussen können, sind in **Abb. 1** dargestellt.

5. Ressourcenplanung zur Durchführung der CTO-PCI

Um eine CTO erfolgreich und komplikationslos interventionell zu rekanalisieren, ist es wichtig, bestimmte Voraussetzungen im Sinne einer optimalen Ressourcenplanung im eigenen Herzkatheterlabor fest zu etablieren.

Der Hauptansprechpartner für CTO – und damit auch der *Haupt-CTO-Operateur* – sollte dokumentierte, weitreichende, jahrelange praktische Erfahrungen mit der PCI von Notfällen (also den akuten Myokardinfarkten STEMI und NSTEMI) vorweisen, konventionelle und komplexe Koronarinterventionen (an ostialen Läsionen, Hauptstammstenosen, Bifurkationsstenosen, Instent-Rezidiv-Stenosen, diffus und schwer verkalkten Läsionen) sicher beherrschen. Darüber hinaus sollten bestimmte PCI-Techniken sicher beherrscht werden (i. e. Mother-in-Child-Techniken, Anchor-Ballon-Techniken, Trapping-Techniken, Snare-Systeme, Cutting/Scoring-Ballons, Rotablation, intravaskuläres Imaging [im Speziellen mittels IVUS], Coiling, Implantation von gecoverten Stents, Notfallperikardiozentese). Neben der erfolgreichen CTO-PCI-Prozedur muss das erste Ziel eine Prozedurbedingte Risikoreduktion sein, denn nur dadurch kann der Mehraufwand im Hinblick auf den Patientenbenefit und ökonomischen Aspekt gerechtfertigt

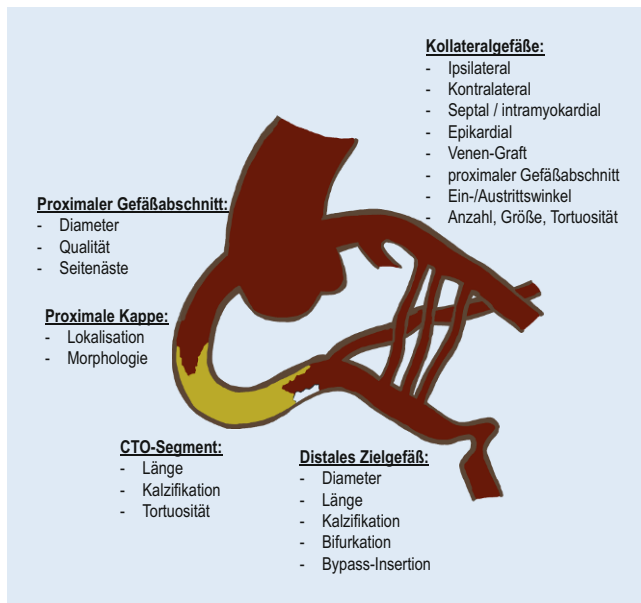


Abb. 2 ◀ Anatomische und topografische CTO-Charakteristiken zur Beurteilung der zu wählenden Interventionsstrategie, des Schwierigkeitsgrades und der Erfolgsaussichten. CTO chronischer Koronarverschluss

werden. Der für das CTO-Programm verantwortliche interventionelle Kardiologe sollte mit anderen erfahrenen CTO-Operateuren gut vernetzt sein, um einen engen und regelmäßigen Erfahrungsaustausch (i. e. in derselben oder anderen Institutionen) pflegen zu können (s. unter Kap. 3).

Die *organisatorische Ressourcenplanung* umfasst mindestens 2 einsatzfähige Herzkatheterlabore in einem CTO-Zentrum, geplante Slots in einem der 2 Labore für eine Mindestdauer von 3 h pro Prozedur, ein eingearbeitetes Team aus mindestens 2 Pflegekräften und ggf. einen zweiten CTO-Operateur bzw. Katheterassistenten. Die CTO-PCI sollte niemals ad hoc, sondern immer geplant und damit elektiv im Team durchgeführt werden.

Die *patientenbezogene Ressourcenplanung* soll die weitreichende Absicherung des Patienten während der Prozedur gewährleisten. Dies bedeutet, dass jeder Patient umfassend aufgeklärt und vorbereitet wird, gerade im Hinblick auf seine Komorbiditäten und die präprozedurale Herangehensweise während der CTO-PCI (i. e. antegrad vs. retrograd). Wichtige Aspekte, die hierbei von Bedeutung sein können, sind notwendige kombinierte arterielle Punktionsorte (bifemoral vs. radial-femoral vs. biradial), Defibrillatorschutz mit Klebepads, Anlage eines Urindauerkatheters oder einer Urin-

flasche, ggf. die Gabe von Sedativa, periinterventionelle intravenöse Volumengabe, intensivmedizinisches Back-up, erweitertes Monitoring im Falle einer CTO-PCI mit einem Herzunterstützungssystem (i. e. Pulmonalkatheter, zentraler Venenkatheter, ggf. geplante Intubationsnarkose, Katecholamin-Therapie).

Periprozedural sind folgenden Aspekte zu beachten: Die Anwendung effektiver Maßnahmen zum Strahlenschutz umfassen das Auflegen einer Strahlenschutzmatte auf den Patienten, um die Streustrahlenbildung zu reduzieren, eine erhöhte Tischposition, ein regelmäßiges Variieren der Angulationen zur Verhinderung von potenziellen Strahlenschäden, Einblenden, weniger Zoom, Anwendung digitaler Bildbearbeitungstechniken, Durchleuchtungsspeicher, niedrige Bildraten (i. e. 6 bis 7,5 pro Sekunde während der Durchleuchtung und 7,5 pro Sekunde beim Filmen), höhere Bildraten nur bei Bedarf, das Tragen einer Bleischutzbrille, ggf. Bleischutzhaube durch den Operateur. Die Wahl der adäquaten Zugangsschleusen ist essenziell (i. e. mindestens 6 French für einfachere antegrade Techniken, und 7 French für komplexere antegrade Techniken, zudem retrograd ab 6 French und größer, ggf. lange 45-cm-Schleusen zum besseren Back-up und zur Reduktion des Kinkings im Bereich der Iliakalgefäße). Ein kontrastmittelparendes Vorgehen (i. e. maxima-

le Kontrastmittelmenge 4-fach der Ausgangs-GFR) und die Auswahl geeigneter Interventionskatheter mit guten Backup-Eigenschaften (i. e. für RCA Amplatz Left $\geq 0,75-1,0$; für LCA Extra Back-up Katheter $\geq 3,5$) werden empfohlen.

Für die *materielle Ressourcenplanung* stellt **Tab. 2** eine Auflistung spezifischer CTO-Materialien zur Verfügung. Unabdingbar ist für jeden CTO-Operateur die genaue Kenntnis über die Eigenschaften, Beschaffenheit und das Rekanalisationsverhalten der einzelnen CTO-PCI-spezifischen Materialien. Das Vorhalten aller Materialien in einem einheitlichen Schranksystem oder mobilen CTO-Wagen ist zu empfehlen. Für die periprozedurale Antikoagulation ist Heparin zu geben mit einem Ziel der „activated clotting time“ (ACT) von über 300 s bei antegraden Prozeduren und >350 s bei retrograden Prozeduren. Die ACT muss regelmäßig mindestens alle 30 min kontrolliert werden. Vor Abschluss der Intervention ist eine Bildgebung mittels IVUS vor und nach Stentimplantation (gerade bei langen Stentstrecken) zur Optimierung des Stentresultates sinnvoll [48, 49].

Nach erfolgreicher CTO-PCI sind für das *postprozedurale Management* folgende Aspekte wichtig: Verordnung der dualen antithrombotischen oder Triple-Therapie entsprechend internationaler Empfehlung (hierbei duale Thrombozytenhemmung in der Regel 6 bis 12 Monate) [20], mehrzeitiger echokardiographischer Ausschluss eines Perikardergusses, intramuralen Hämatoms und Kontrolle der Herzfunktion, postinterventionelles Monitoring ggf. auf der Intensivstation, Kontrolle der renalen Retentionswerte sowie Herzenzymkontrolle, ggf. invasive Kontrollkoronarangiographie nach 6 bis 12 Monaten, Echokardiographie nach 3 bis 9 Monaten zur Verlaufskontrolle der Herzleistung, ggf. Spiroergometrie prä und post CTO-PCI [41].

6. Die CTO-PCI

Planungsangiographie, Algorithmus, Scoringsysteme, histopathologische Merkmale

Um die Erfolgchancen der CTO-PCI zu steigern, sollte im Vorfeld jeder Untersu-

Tab. 2 Auswahl und Beispiele verschiedener CTO-PCI-spezifischer Materialien		
Kategorie	Typen	Zusatzinformation
Schleusen	6–8 French Standard- radiale und femorale Schleusen	45 cm lange Schleusen Metallschleusen
Katheter	EBU 3.0, 3.5, 3.75, 4.0, 4.5 AL 0.75, AL 1.0–2.0 JR4.0	90 cm Länge Sideholes Sheathless-Katheter
Y-Ventile	Guardian OKAY II	Blutstopper
Guide-Extension	Guideliner, Trapliner Guidezilla, Guidion Telescope	–
Trapping	Trapper Trapp it	–
Mikrokatheter (antegrad)	Corsair Pro Turnpike Turnpike Spiral Turnpike Gold Mamba Mamba Flex Teleport Finecross NHancer ProX	≥135 cm für antegrad
Mikrokatheter (retrograd)	<i>Septal:</i> Corsair Pro Corsair Pro XS Turnpike Turnpike LP Mamba Flex <i>Epikardial:</i> Caravel Finecross	150 cm für retrograd
Spezielle Mikrokathe- ther	<i>Angulation:</i> Supercross XT, 45°, 90°, 120° <i>Duallumen:</i> Sasuke TwinPass Torque Nhancer RX FineDuo	–
CTO-Drähte	Fielder Fielder XT Fielder XT-A Fielder XT-R Fighter Bandit Pilot 150 und 200 Ultimate 3 Gladius Raider Gaia 1, 2, 3 Judo 1, 3, 6 Miracle 3, 6, 12 Confianza pro 9, 12 Hornet 14 Warrior	<i>Kollateralpassage:</i> Sion Sion black Suoh 3 <i>Externalisation:</i> RG3 R350 <i>ExtraSupport Drähte:</i> Sion blue ES Grand Slam Choice PT ES IronMan BHW ES
Dissection Reen- try Devices	Stingray LP Ballon	–
Mikroballons	NIC Nano hydro Sapphire III pro 0.85 Ikazuchi zero 1.0 Ryurei 1.0 Blimp	–

chung eine **detaillierte Besprechung** der technischen Komplexität des Koronarangiographiebefundes im Kontext der klinischen Komorbiditäten des Patienten im Herzkatheter-team erfolgen. Um die CTO anatomisch zu verstehen, ist eine **Planungsangiographieaufnahme in simultaner (dualer) Injektionstechnik** notwendig [50]. Nur so kann die CTO-PCI mit dem geringsten Risiko für den Patienten und der größten Sicherheit durch den Untersucher und sein Team durchgeführt werden. Die Simultaninjektion sollte technisch einwandfrei unter Beachtung wichtiger Aspekte durchgeführt worden sein (■ **Tab. 3**). Hierbei müssen verschiedene Charakteristiken in Augenschein genommen werden, die letztlich über die zu wählende Interventionsstrategie, den zu erwartenden Schwierigkeitsgrad und deren Erfolgsaussichten entscheiden (■ **Abb. 2**). Zu diesen Merkmalen zählen insbesondere die Konfiguration der proximalen CTO-Verschlusskappe, der proximale Gefäßabschnitt vor der CTO, die Länge der CTO-Läsion und deren Verlauf sowie die Qualität des distalen Gefäßabschnitts nach dem Verschlusssegment. Darüber hinaus werden alle visualisierten Kollateralgefäße genau betrachtet. Hierbei wird zwischen ipsilateralen, kontralateralen, epikardialen und intramyokardialen/septalen Kollateralverbindungen unterschieden. Zudem werden die Anzahl, Größe und Tortuosität der Kollateralen, deren Ein- und Austrittswinkel sowie -lokalisation beurteilt. Eine gesonderte, detaillierte Analyse muss bei Patienten nach Bypassoperation erfolgen. Dabei können teilweise alte, verschlossene Bypässe als retrograde Option dienen. Es sollten alle verfügbaren, alten Koronarangiographien im Vorfeld der CTO-PCI mit beurteilt und einstudiert werden. Anhand der beurteilten Charakteristiken sowie der weiteren individuellen Koronar-anatomie wird dann das interventionelle Vorgehen geplant. Für diesen sehr wichtigen Planungsschritt sollte bei geringerer Erfahrung eine Teambesprechung mit einem erfahrenen, ggf. externen CTO-Operateur durchgeführt werden. Die ■ **Abb. 3** fasst die **europäischen Empfehlungen** [51] in Anlehnung an den **modifizierten Hybridalgorithmus**

Tab. 2 (Fortsetzung)

Kategorie	Typen	Zusatzinformation
Snare	Expro Elite EnSnare One Snare	–
Embolisation	Axium Concerto	0,018 Inch kompatibel
Coverstents	Papyrus BeGraft Graftmaster	–
Plaquemodifizierung	Ultrahochdruckballon – OPNC Rotablator, RotaPro Laser Schockwave	–
Bildgebung	IVUS IVUS HD OCT CT Co-Registrierung	–

mus für CTO-PCI-Strategien in einem Flow-Chart unter Berücksichtigung der anatomischen Besonderheiten grafisch zusammen. In den letzten Jahren wurden verschiedene **Scoringssysteme** etabliert, die darüber hinaus den zu erwartenden technischen Schwierigkeitsgrad sowie die technische Erfolgsrate im Vorfeld der Prozedur abbilden (i. e. Euro CTO CASTLE, Progress CTO, J-CTO-Scores) [52–55].

Wie in **Abb. 4** dargestellt, berücksichtigen diese 3 Scoringssysteme in verschiedenen Kombinationen das Vorhandensein eines ACB, das Patientenalter, die Beschaffenheit der proximalen CTO-Verschlusskappe, die Tortuosität des CTO-Verlaufs, die Okklusionslänge und den Nativkalkanteil der CTO, das Vorhandensein interventionell nutzbarer Kollateralfäße, das CTO-Zielgefäß sowie vorangegangene CTO-PCI-Fehlversuche. Die Homogenität der Scoresysteme und deren prognostischer Nutzen wurden mehrfach belegt [56, 57].

Um die morphologischen Charakteristiken der CTO grundsätzlich zu verstehen, hilft die Veranschaulichung histopathologischer Merkmale (**Abb. 5**). Häufig besteht die antegrade proximale Verschchlusskappe der CTO aus fibrotischem oder fibrotisch kalzifiziertem Gewebe mit dichten Kollagenanteilen. Im Verschlusssegment selbst findet sich häufig eher hartes fibrotisch kalzifiziertes Gewebe. Die distale Verschchlusskappe der CTO enthält wiederum fibrotisches Gewebe mit Kollagen in geringerer Aus-

prägung und ist damit in der Regel dünner und weicher als die proximale Kappe. Diese Eigenschaften der distalen Verschchlusskappe der CTO sind im Wesentlichen durch die geringeren retrograden Füllungsdrücke bedingt. Ausnahmen können Patienten nach ACB-Operation darstellen. Hier kann die retrograde Kappe nach vielen Jahren infolge des hohen Perfusionsdruckes über den Bypass häufig stark fibrotisch verändert und schwierig zu penetrieren sein. Generell weist die distale CTO-Kappe eine eindeutigere Morphologie als die proximale Kappe auf. Diese Charakteristiken sind für die im Folgenden beschriebenen antegraden und retrograden Vorgehen bei der CTO-PCI von entscheidender Bedeutung.

Antegrades Vorgehen

Antegrade Techniken der CTO-PCI zählen zu den einfachsten und am weitesten verbreiteten Techniken und sind selbst in nicht selektionierten CTO-Kollektiven in 50–70% der Fälle erfolgreich. Besonders gute Erfolgsaussichten bestehen insbesondere dann, wenn die proximale Kappe konisch endet und mit einem weichen Polymer-beschichteten Draht (d.h. Fielder XT-Serie) penetriert werden kann. Dies ist häufig dann der Fall, wenn die CTO-Läsion nicht länger als 20 mm ist oder ein chronischer In-Stent-Verschluss besteht. Für diese Technik wird stets ein antegrader konventioneller Mikrokatheter (**Tab. 2**) über

Tab. 3 Wichtige Aspekte bei der Durchführung der simultanen (dualen) Injektionstechnik bei der Koronarangiographie zur optimalen Darstellung der CTO und Planung der CTO-PCI

- Kein Zoom, z. B. 25er-Vergrößerung
- Kein Einblenden
- Bildrate: 15 Bilder pro Sekunde
- Langes Filmen bis zum kompletten Abfluss des injizierten Kontrastmittels
- Tisch vorher so einstellen, dass die komplette Herzsilhouette abgebildet ist
- Tisch bei der Aufnahme nicht bewegen
- Durchführung von 3 bis 5 Planungsaufnahmen in Standardprojektionen
- Standardprojektionen je nach betroffenem Gefäß (Beispiel: CTO der RCA: LAO, kranial zur Darstellung des Verschlusses und der Crux cordis; RAO zur Darstellung der septalen Kollateralen)
- Simultane ante- und retrograde Kontrastmittelgabe
- Intubationsreihenfolge bei Verwendung eines AL 1 für die rechte Herzkranzarterie: zuerst AL 1 für RCA, danach den LCA-Katheter
- Ggf. Anwendung der Slow-Replay-Funktion und digitalen Post-Processing-Techniken
- Genau Besprechung des Planungsangiogramms im Herzkatheter-team im Hinblick auf wichtige anatomische Charakteristiken
- Ggf. Hinzuziehen der Einschätzung eines erfahrenen externen CTO-Operateurs (präprozedural)

einen sog. Workhorse-Draht kurz vor das proximale CTO-Segment geschoben. Daraufhin wird der Workhorse-Draht entfernt und der erste CTO-Rekanalisationsdraht über den liegenden Mikrokatheter vorgebracht. Der antegrade Mikrokatheter stabilisiert den Draht, beugt einem Drahttwist vor, gibt mehr Back-up, erleichtert das Drahtwechseln und verbessert die Steuerbarkeit und damit das Eindringen des CTO-Drahtes an der richtigen Stelle der proximalen Verschchlusskappe.

Bei der sog. **antegraden Drahtskalationstechnik (englisch: „antegrade wire escalation“ [AWE])** wird zunächst der am wenigsten harte CTO-Draht gewählt (z. B. Fielder XT-Serie) (**Tab. 2**). Nach leichtem Vorbiegen der weichen Drahtspitze wird der Draht durch den liegenden antegraden Mikrokatheter an

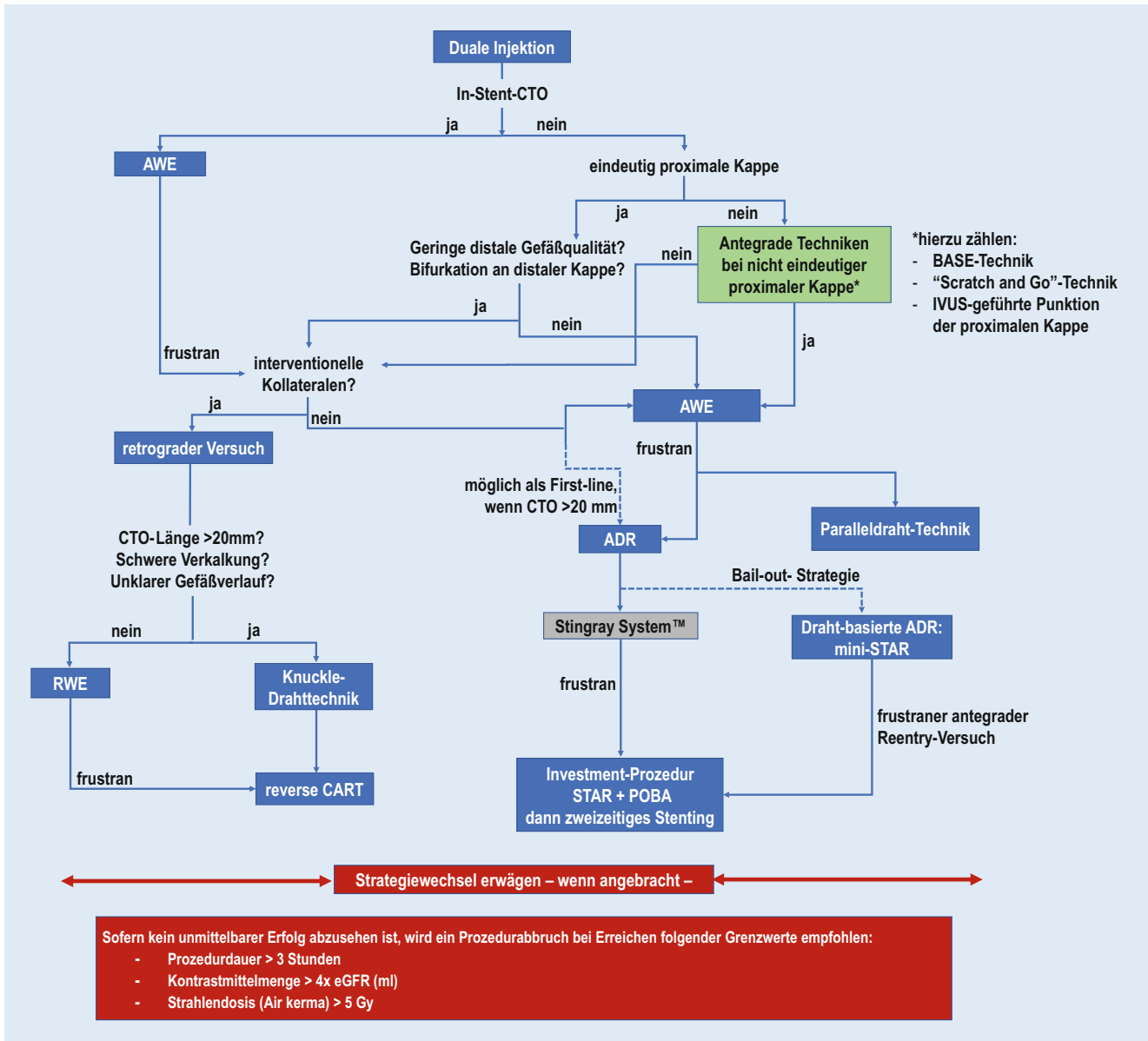


Abb. 3 ▲ Modifiziertes Hybridvorgehen bei der CTO-PCI (adaptiert nach dem EuroCTO Club Konsensus-Dokument 2019 [51]). AWE „antegrade wire escalation“, ADR „antegrade dissection re-entry“, BASE-Technik „Balloon assisted sub-intimal entry“-Technik, CTO chronischer Koronarverschluss, IVUS intravaskulärer Ultraschall, POBA „poor balloon angioplasty“, reverse CART „reverse controlled antegrade and retrograde tracking technique“, RWE „retrograde wire escalation“, RDR „retrograde dissection re-entry“, STAR „subintimal tracking and re-entry technique“

die proximale Verschlusskappe vorge-schoben. Die Steuerung des Drahtes kann hierbei mit oder ohne Torquer erfolgen. Nach Passieren der Kappe mit der sog. „Sliding“-Technik wird vorhandenes weiches Gewebe durch vorsichtige Rotationen der Drahtspitze sondiert. Dieses Manöver kann bereits zum weiteren Vorankommen innerhalb des CTO-Segments und zur Passage in das distale wahre Lumen führen. Beim Feststecken der Drahtspitze oder wenn

kein Drahtvorschub möglich ist, sollte nach kurzen Repositionierungsversuchen auf einen etwas härteren Draht eskaliert werden. Zu diesen zählen z. B. die Gaia- oder Judo-Drähte (Tab. 2). Mit diesen nicht polymerbeschichteten sehr gut steuerbaren Drähten können härtere Kalkanteile innerhalb des CTO-Segments überwunden werden. Hierfür werden kontrollierte, maximal 90-Grad-Drehbewegungen in abwechselnd entgegengesetzte Richtungen am besten

mittels Torquer durchgeführt, wodurch der CTO-Draht durch das CTO-Segment manövriert wird. Sieht oder fühlt der CTO-Operateur kein suffizientes Vorankommen des eskalierten Drahtes aufgrund von hoher Kalklast, kann man sich für noch härtere CTO-Drähte mit größerer Penetrationskraft entscheiden. Zu diesen zählen die Drähte der Confianza-Familie (8–12 g) und der Hornet 14 g (Tab. 2). Mittels dieser Drähte können kurze, harte Kalkanteile wie bei einer

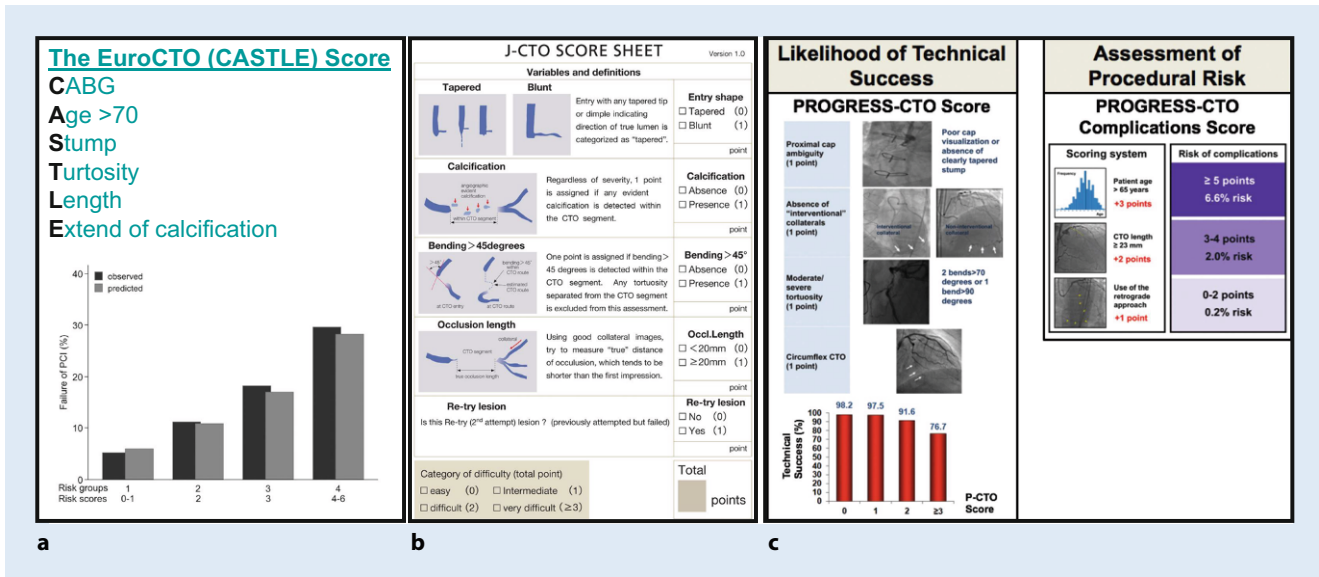


Abb. 4 ▲ Scoresysteme zur Beurteilung der Erfolgsrate der CTO-PCI, a CASTLE-Score, b J-CTO-Score, c Progress-CTO-Score (adaptiert nach [52, 54, 55]). CABG „coronary artery bypass graft surgery“, CTO chronischer Koronarverschluss



Abb. 5 ◀ Morphologische Charakteristiken der CTO

Nadelspitze penetriert werden, um distal davon erneut auf einen weichen CTO-Draht zu deeskalieren („Step-up-Step-down“-Technik). Die beschriebenen Schritte implizieren die Verwendung einzelner CTO-Drähte unterschiedlicher Stärke, die jeweils über den liegenden Mikrokatheter nacheinander eingewechselt werden (i. e. *Single-Wire-Technik*). Die korrekte Positionierung der Drahtspitze und des proximalen Drahtendes wird in regelmäßigen Abständen über die kontralaterale Gabe von Kontrastmittel geprüft. Eine antegrade Kontrastmitteldosis ist hierbei strengstens untersagt, da diese zu einem großen subintimalen Depot mit ausgeprägter Hämatombildung führen kann.

Sollte es im Bereich der distalen Kappe zum Eintritt des Drahtes in den subintimalen Raum gekommen sein, bieten sich die sog. *Paralleldrahttechniken* an. Zu diesen zählt man die eigentliche „Parallel-Wire“-Technik, die sog. „See-Saw“-Technik und die Doppel-Lumen-Mikrokatheter-Technik. Bei allen Paralleldrahttechniken verbleibt der erste CTO-Draht vor Ort, während ein zweiter härterer Draht zusätzlich verwendet wird. Der erste CTO-Draht dient somit als Markerdraht, der den „Entry“ in das falsche Lumen blockiert bzw. markiert, zudem noch den Gefäßverlauf stabilisiert. Bei der „Parallel-Wire“-Technik wird der erste Mikrokatheter per „Trapping“-Technik vom ersten, im CTO-Segment zurückliegenden Draht

entfernt. Der zweite härtere Draht wird – unterstützt durch den nun freien Mikrokatheter – parallel durch das CTO-Segment manövriert. Im Vergleich dazu wird bei der „See-Saw“-Technik sowohl der erste Mikrokatheter mit dem liegenden ersten CTO-Draht belassen und der zweite Parallelversuch mit einem zweiten Draht in einem zweiten Mikrokatheter unternommen. Bei der „Doppel-Lumen-Mikrokatheter“-Technik wird der erste Mikrokatheter über den liegenden ersten CTO-Draht durch einen Doppel-Lumen-Mikrokatheter ausgetauscht, über dessen zweites freies Lumen schließlich ein härterer Draht durch das CTO-Segment manövriert wird.

Wenn die antegraden Drahtskalationstechniken nicht zur sicheren intraluminalen CTO-Passage geführt haben und damit frustriert verliefen, können *antegrade Dissektions- und Reentry(ADR)-Techniken* angewandt werden. Diese Techniken erfordern jedoch eine große Erfahrung des Operateurs und sollten niemals nach dem „Try-and-Error“-Prinzip durchgeführt werden. Das Konzept dieser Techniken basiert darauf, den Verschluss nicht in der Plaque („intraplaque“), sondern um die Plaque herum („extraplaque“) zu passieren [58], indem man einen Polymer-beschichteten Draht mittels Schlaufenbildung („Knuckle Wire“) an der CTO vorbei manövriert, um

im Anschluss mit einem Re-Entry-Ballon (z. B. „Stingray LP“) den Wiedereintritt in das wahre Gefäßlumen zu schaffen. Voraussetzungen für ADR-Techniken sind unter anderem großkalibrige distale Gefäßabschnitte distal der CTO und lange CTO-Segmente über 20 mm. Diese Technik kommt insbesondere bei stark geschlängelten und massiv verkalkten Verschlüssen zum Tragen. Der Eintritt in den Subintimalbereich kann ballon-, draht- oder kontrastmittelassistent durchgeführt werden (i. e. sog. „Ballon Assisted Subintimal Entry (BASE)“-Technik, „Scratch and Go“-Technik, „Carlino“-Technik [59]). Nach aktueller Datenlage birgt die ADR-Technik mit dem Stingray-Ballon ein geringeres Risiko als das retrograde Vorgehen [60], darf jedoch nur im Falle ausgewiesener CTO-Expertise und unter Anleitung eines CTO-Proktors erlernt werden.

Retrogrades Vorgehen

Das retrograde Vorgehen bei der CTO-PCI ist v. a. bei den folgenden Situationen sinnvoll: ostiale Verschlüsse, CTO mit einer proximalen stumpfen oder nicht eindeutigen Verschlusskappe, einer von antegrad nicht zu penetrierenden Kappe, CTO mit einer Bifurkation an der distalen Kappe, CTO mit sehr kranken distalen Gefäßabschnitten, lange und stark gewundene, verkalkte CTO-Verläufe über 20 mm, CTO mit zurückliegenden antegraden Fehlversuchen, CTO mit einem unklaren distalen Zielgebiet und für die retrograde „Marker“- oder „Kissing-Wire“-Technik. Entscheidender Schritt beim retrograden Vorgehen ist die *interventionelle Passage von geeigneten, in der Regel intramyokardialen bzw. septalen Kollateralgefäßen*. Dies gelingt mittels spezieller feinerer und flexiblerer Kollateralpassagedrähte (z. B. Sion Black-Draht) und entsprechend dünneren „Low-profile“-Mikrokatheter (z. B. Corsair Pro XS, Caravel, Turnpike LP). Für die Passage septaler Kollateralen kommt entweder die sog. „Septal-Surfing-Technik“ [61] oder die über einen Mikrokatheter applizierte kontrastmittelgeführte Kollateralpassage in Betracht („Tip Injection“). Genaue angiographische Planungsaufnahmen und

Referenzbildeinstellungen sind hierbei sehr hilfreich. In Ausnahmesituationen können auch Bypass-Grafts oder epikardiale Kollateralgefäße für das retrograde Vorgehen verwendet werden, obliegen jedoch dezidiert CTO-Operateuren mit großer Erfahrung. Nach erfolgreicher Kollateralpassage mittels retrograden Koronar Drahts und Mikrokatheters wird der Kollateralpassagedraht über den liegenden retrograden Mikrokatheter in einen CTO-Rekanalisationsdraht ausgetauscht (z. B. Fielder XT-R, Gaia-Drähte). Daraufhin erfolgen die Penetration der distalen CTO-Verschlusskappe und die Drahtpassage der CTO von retrograd (s. oben). Dabei gelingt in 20–40 % der Fälle ein direkter retrograder Eintritt („direct retrograde wiring“) in das wahre proximale Gefäßlumen. Sollte retrograd keine Drahtpassage gelingen, kommt das sog. „Reverse controlled antegrade and retrograde tracking“(reverse CART)-Manöver zur Anwendung [62]. Dabei wird über den antegrad liegenden CTO-Draht, dessen distales Ende – wie das des retrograden Drahtes – im CTO Segment liegt, eine antegrade Mikrofenestrierung über einen PTCA-Ballon (Durchmesser 2,0–2,5 mm) durchgeführt. Nach Deflation wird noch während der Ballonretraktion zeitgleich der retrograde CTO-Draht mit Schlaufen(Knuckle)-Bildung über die iatrogen hergestellte Querverbindung (Fenestrierung) nach antegrad in das wahre Gefäßlumen und bestenfalls in den antegraden Führungskatheter vorgeschoben (i. e. *DRAFT-Technik* [63]). Daraufhin wird der retrograde Mikrokatheter über den retrograden Draht, der per Trapping-Technik im antegraden Führungskatheter passager fixiert wird, zusätzlich in den antegraden Mikrokatheter gebracht.

Als letzter Schritt des retrograden Vorgehens folgt dann die sog. *Drahtexternalisation* [64]. Nach Entfernen des retrograden Drahtes aus dem retrograden Mikrokatheter wird ein 3 m langer Externalisationsdraht über den retrograden Mikrokatheter in den antegraden Führungskatheter gebracht und über das extrakorporale proximale Ende externalisiert [64]. Schließlich können über diesen Draht die Prädilataion und folgende PCI

mit Stentimplantation der CTO antegrad durchgeführt werden.

In den letzten 2 Jahrzehnten wurden detaillierteste Techniken für diverse Problemsituationen während der CTO-PCI veröffentlicht. Die genaue Ausführung dieser Techniken geht jedoch über den Inhalt dieses Positionspapiers hinaus. Die Autoren verweisen hier ausdrücklich auf weiterführende Literatur der jeweiligen Konsensdokumente [50, 51, 65, 66] und den bereits vorgestellten **modifizierten Hybridalgorithmus** (■ Abb. 3).

7. Erfolgsaussichten, Risiken und Komplikationsmanagement bei der CTO-PCI

Die Erfolgsaussichten der CTO-PCI liegen in den meisten großen CTO-Registern heute bei über 85 %. Im ursprünglich in den USA initiierten PROGRESS-CTO-Register, das über 3122 Prozeduren aus 20 verschiedenen Zentren einschließt, wurde zwischen 2012 und 2017 eine technische Erfolgsrate von 87 % dokumentiert [60]. Ähnliche Ergebnisse fanden sich mit jeweils 86 % technischer Erfolgsrate im amerikanischen OPEN-CTO(Outcomes, Patient Health Status, and Efficiency in Chronic Total Occlusion Hybrid Procedures) [67] und im europäischen RECHARGE(Registry of Crossboss and Hybrid procedures in France, the Netherlands, Belgium and United Kingdom)-Register [68]. Im japanischen J-CTO-Register war die Erfolgsrate sogar noch höher und lag bei 89 % [69]. Daten aus dem weltweit größten Register, dem europäischen Euro CTO-Register, mit über 17.000 behandelten CTO-Patienten zeigen einen Anstieg der prozeduralen Erfolgsrate von 79,7 % auf 89,3 % zwischen 2008 und 2015 [70].

Die Inzidenz von Komplikationen wurde hingegen im PROGRESS-CTO-Register am genauesten untersucht. Hierbei lag die periinterventionelle kombinierte Komplikationsrate, bestehend aus Tod, Myokardinfarkt und Re-Intervention, bei 3,0 %. Die Mortalität der interventionellen Behandlung lag bei 0,9 % und die Schlaganfallrate bei 0,3 %. In 1,1 % der Fälle zeigte sich ein periinterventioneller Myokardinfarkt. Eine der

schwerwiegendsten Komplikationen der CTO-PCI ist die Koronarperforation mit konsekutiver Perikardtamponade, die hier in 0,9% der Fälle eintrat. Die größte Gefahr für eine Perikardtamponade besteht bei der retrograden Passage von epikardialen Kollateralgefäßen. Grundsätzlich korreliert in allen Registern die intrahospitale Komplikationsrate am stärksten mit der anatomischen Komplexität der CTO-Läsion und begleitenden KHK, die in der Praxis durch den J-CTO-Score bestimmt wird [54]. Aufgrund möglicherweise fehlenden Monitorings von Komplikationen in den gängigen Registerstudien sollte am ehesten von einer potenziellen Unterrepräsentation der Komplikationsraten ausgegangen werden. Gerade in Bezug auf die Koronarperforation konnte eine kürzlich publizierte multizentrische europäische Arbeit zeigen, dass Perforationen häufiger vorkommen [71]. Insgesamt zeigte sich hierbei eine Perforationsrate von 5,5% während der CTO-PCI, die in 20% der Patienten zu einer klinisch relevanten Tamponade führte. Besondere Vorsicht ist v. a. bei der Passage von epikardialen Kollateralen geboten. Im Falle einer Ruptur kann es hier zu einer sofortigen Tamponade kommen. Besonders problematisch sind Patienten mit Zustand nach ACB-Operation, da sich das Blut nicht im Perikard ausdehnen kann, sondern zu einer potenziell letalen Hämatombildung führen kann. Daher sollten Blutungen im Bereich epikardialer Kollateralen – wann immer möglich – sofort mittels Coils embolisiert werden. Zudem sollte eine Prozedur bei nicht erfolgreicher intraluminaler Drahtlage und Erreichen eines Strahlenwertes von 5 Gy (Air kerma; Gesamtkörperdosis) oder einer Kontrastmitteldosis von $>4 \times$ GFR, insbesondere bei eingeschränkter Nierenfunktion, vom Untersucher beendet werden [51].

8. Fazit für die Praxis

Die interventionelle Behandlung chronischer Koronarverschlüsse hat sich in der letzten Dekade stetig weiterentwickelt und geht mittlerweile mit Erfolgsraten von über 85% einher. Hauptindikation ist der symptomatische Nut-

zen der CTO-PCI. Die Ausbildung zum selbstständigen CTO-Operateur dauert oft mehrere Jahre und Bedarf neben institutionellen Voraussetzungen eines hohen Eigenengagements zur ständigen Weiterbildung. Zielführend erscheint eine bundesweite Etablierung von spezialisierten CTO-Zentren. Nur dadurch können diese hochkomplexen Prozeduren dem Patienten mit einem niedrigen und somit vertretbaren Risiko angeboten werden.

Korrespondenzadresse



**PD Dr. med.
Kambis Mashayekhi**
Klinik für Kardiologie und
Angiologie II, Universitäts-
Herzzentrum Freiburg/Bad
Krozingen
Südring 15, 79189 Bad
Krozingen, Deutschland
kambis.mashayekhi@
universitaets-herzzentrum.de

Einhaltung ethischer Richtlinien

Interessenkonflikt. Den Interessenkonflikt der Autoren finden Sie online auf der DGK-Homepage unter <http://leitlinien.dgk.org/> bei der entsprechenden Publikation.

Für diesen Beitrag wurden von den Autoren keine Studien an Menschen oder Tieren durchgeführt. Für die aufgeführten Studien gelten die jeweils dort angegebenen ethischen Richtlinien.

Literatur

1. Stone GW, Kandzari DE, Mehran R, Colombo A, Schwartz RS, Bailey S, Moussa I, Teirstein PS, Dangas G, Baim DS, Selmon M, Strauss BH, Tamai H, Suzuki T, Mitsudo K, Katoh O, Cox DA, Hoyer A, Mintz GS, Grube E, Cannon LA, Reifart NJ, Reisman M, Abizaid A, Moses JW, Leon MB, Serruys PW (2005) Percutaneous recanalization of chronically occluded coronary arteries: a consensus document: part I. *Circulation* 112(15):2364–2372
2. Fefer P, Knudtson ML, Cheema AN, Galbraith PD, Oshero AB, Yalonetsky S, Gannot S, Samuel M, Weisbrod M, Bierstone D, Sparkes JD, Wright GA, Strauss BH (2012) Current perspectives on coronary chronic total occlusions: the Canadian multicenter chronic total occlusions registry. *J Am Coll Cardiol* 59(11):991–997
3. Ramunddal T, Hoebbers LP, Henriques JP, Dworeck C, Angeras O, Odenstedt J, Ioanes D, Olivecrona G, Harnek J, Jensen U, Aasa M, Albertsson P, Wedel H, Omerovic E (2016) Prognostic impact of chronic total occlusions: a report from SCAAR (Swedish coronary angiography and angioplasty registry). *JACC Cardiovasc Interv* 9(15):1535–1544
4. Ramunddal T, Hoebbers LP, Henriques JP, Dworeck C, Angeras O, Odenstedt J, Ioanes D, Olivecrona G, Harnek J, Jensen U, Aasa M, Jussila R, James S, Lagerqvist B, Matejka G, Albertsson P, Omerovic E (2014) Chronic total occlusions in Sweden—a report from the Swedish coronary angiography and angioplasty registry (SCAAR). *PLoS One* 9(8):e103850
5. Werner GS, Surber R, Ferrari M, Fritzenwanger M, Figulla HR (2006) The functional reserve of collaterals supplying long-term chronic total coronary occlusions in patients without prior myocardial infarction. *Eur Heart J* 27(20):2406–2412
6. Stuijzand WJ, Driessen RS, Raijmakers PG, Rijnierse MT, Maeremans J, Hollander MR, Lammertsma AA, van Rossum AC, Dens J, Nap A, van Royen N, Knaapen P (2017) Prevalence of ischaemia in patients with a chronic total occlusion and preserved left ventricular ejection fraction. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging* 18(9):1025–1033
7. Schumacher SP, Kockx M, Stuijzand WJ, Driessen RS, van Diemen PA, Bom MJ, Everaars H, Raijmakers PG, Boellaard R, van Rossum AC, Opolski MP, Nap A, Knaapen P (2020) Ischaemic burden and changes in absolute myocardial perfusion after chronic total occlusion percutaneous coronary intervention. *EuroIntervention* 16(6):e462–e471
8. Schumacher SP, Everaars H, Stuijzand WJ, Huynh JW, van Diemen PA, Bom MJ, de Winter RW, van Loon RB, van de Ven PM, van Rossum AC, Opolski MP, Nap A, Knaapen P (2020) Coronary collaterals and myocardial viability in patients with chronic total occlusions. *EuroIntervention* 16(6):e453–e61
9. Werner GS, Fritzenwanger M, Prochnau D, Schwarz G, Ferrari M, Aarnoudse W, Pijls NH, Figulla HR (2006) Determinants of coronary steal in chronic total coronary occlusions donor artery, collateral, and microvascular resistance. *J Am Coll Cardiol* 48(1):51–58
10. McEntegart MB, Badar AA, Ahmad FA, Shaikat A, MacPherson M, Irving J, Strange J, Bagnall AJ, Hanratty CG, Walsh SJ, Werner GS, Spratt JC (2016) The collateral circulation of coronary chronic total occlusions. *EuroIntervention* 11(14):e1596–603
11. Mashayekhi K, Behnes M, Akin I, Kaiser T, Neuser H (2016) Novel retrograde approach for percutaneous treatment of chronic total occlusions of the right coronary artery using ipsilateral collateral connections: a European centre experience. *EuroIntervention* 11(11):e1231–6
12. Azzalini L, Agostoni P, Benincasa S, Knaapen P, Schumacher SP, Dens J, Maeremans J, Kraaijeveld AO, Timmers L, Behnes M, Akin I, Toma A, Neumann FJ, Colombo A, Carlino M, Mashayekhi K (2017) Retrograde chronic total occlusion percutaneous coronary intervention through ipsilateral collateral channels: a multicenter registry. *JACC Cardiovasc Interv* 10(15):1489–1497
13. Neumann FJ, Sousa-Uva M, Ahlsson A, Alfonso F, Banning AP, Benedetto U, Byrne RA, Collet JP, Falk V, Head SJ, Juni P, Kastrati A, Koller A, Kristensen SD, Niebauer J, Richter DJ, Seferovic PM, Sibbing D, Stefanini GG, Windecker S, Yadav R, Zembala MO, ESC Scientific Document Group (2019) 2018 ESC/EACTS guidelines on myocardial revascularization. *Eur Heart J* 55(1):4–90. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehy289>
14. Maron DJ, Hochman JS, Reynolds HR, Bangalore S, O'Brien SM, Boden WE et al (2020) Initial invasive or conservative strategy for stable coronary disease. *N Engl J Med* 382:1395–1407

15. Garcia S, Sandoval Y, Roukoz H, Adabag S, Canoniero M, Yannopoulos D, Brilakis ES (2013) Outcomes after complete versus incomplete revascularization of patients with multivessel coronary artery disease: a meta-analysis of 89,883 patients enrolled in randomized clinical trials and observational studies. *J Am Coll Cardiol* 62(16):1421–1431
16. Sandoval Y, Brilakis ES, Garcia S (2016) Completeness of revascularization in multivessel coronary artery disease. *J Thorac Dis* 8(11):E1493–E6
17. Vander Salm TJ, Kip KE, Jones RH, Schaff HV, Shemin RJ, Aldea GS, Detre KM (2002) What constitutes optimal surgical revascularization? Answers from the bypass angioplasty revascularization investigation (BARI). *J Am Coll Cardiol* 39(4):565–572
18. Leviner DB, Torregrossa G, Puskas JD (2018) Incomplete revascularization: what the surgeon needs to know. *Ann Cardiothorac Surg* 7(4):463–469
19. Sianos G, Werner GS, Galassi AR, Papafaklis MI, Escaned J, Hildick-Smith D, Christiansen EH, Gershlick A, Carlino M, Karlas A, Konstantinidis NV, Tomasello SD, Di Mario C, Reifart N, EuroCTO Club (2012) Recanalisation of chronic total coronary occlusions: 2012 consensus document from the EuroCTO club. *EuroIntervention* 8(1):139–145
20. Knuuti J, Wijns W, Saraste A, Capodanno D, Barbato E, Funck-Brentano C, Prescott E, Storey RF, Deaton C, Cuisset T, Agewall S, Dickstein K, Edwardsen T, Escaned J, Gersh BJ, Svtilil P, Gilard M, Hasdai D, Hatala R, Mahfoud F, Masip J, Muneretto C, Valgimigli M, Achenbach S, Bax JJ, ESC Scientific Document Group (2020) 2019 ESC guidelines for the diagnosis and management of chronic coronary syndromes. *Eur Heart J* 41(3):407–477
21. Tomasello SD, Boukhris M, Giubilato M, Marza F, Garbo R, Contegiacomo G, Marzocchi A, Niccoli G, Gagnor A, Varbella F, Desideri A, Rubartelli P, Cioppa A, Baralis G, Galassi AR (2015) Management strategies in patients affected by chronic total occlusions: results from the Italian registry of chronic total occlusions. *Eur Heart J* 36(45):3189–3198
22. Mehran R, Brodie B, Cox DA, Grines CL, Rutherford B, Bhatt DL, Dangas G, Feit F, Ohman EM, Parise H, Fahy M, Lansky AJ, Stone GW (2008) The harmonizing outcomes with Revascularization and stents in acute myocardial infarction (HORIZONS-AMI) trial: study design and rationale. *Am Heart J* 156(1):44–56
23. Claessen BE, Dangas GD, Weisz G, Witzensbichler B, Guagliumi G, Mockel M, Brener SJ, Xu K, Henriques JP, Mehran R, Stone GW (2012) Prognostic impact of a chronic total occlusion in a non-infarct-related artery in patients with ST-segment elevation myocardial infarction: 3-year results from the HORIZONS-AMI trial. *Eur Heart J* 33(6):768–775
24. Bataille Y, Dery JP, Larose E, Dery U, Costerousse O, Rodes-Cabau J, Gleeton O, Proulx G, Abdelaal E, Machaalany J, Nguyen CM, Noel B, Bertrand OF (2012) Deadly association of cardiogenic shock and chronic total occlusion in acute ST-elevation myocardial infarction. *Am Heart J* 164(4):509–515
25. Thiele H, Zeymer U, Neumann FJ, Ferenc M, Olbrich HG, Hausleiter J, Richardt G, Hennesdorf M, Empen K, Fuernau G, Desch S, Eitel I, Hambrecht R, Fuhrmann J, Bohm M, Ebel H, Schneider S, Schuler G, Werdan K, IABP-SHOCK II Trial Investigators (2012) Intraaortic balloon support for myocardial infarction with cardiogenic shock. *N Engl J Med* 367(14):1287–1296
26. Braik N, Guedeny P, Behnes M, Desch S, Barthelemy O, Sandri M, de Waha-Thiele S, Fuernau G, Rouanet S, Hauguel-Moreau M, Zeitouni M, Overtchouk P, Ouarrak T, Schneider S, Zeymer U, Thiele H, Montalescot G, Akin I (2021) Impact of chronic total occlusion and revascularization strategy in patients with infarct-related cardiogenic shock: a subanalysis of the culprit-shock trial. *Am Heart J* 232:185–193
27. Saad M, Fuernau G, Desch S, Eitel I, de Waha S, Poss J, Ouarrak T, Schneider S, Zeymer U, Thiele H (2018) Prognostic impact of non-culprit chronic total occlusions in infarct-related cardiogenic shock: results of the randomised IABP-SHOCK II trial. *EuroIntervention* 14(3):e306–e13
28. Nombela-Franco L, Mitroi CD, Fernandez-Lozano I, Garcia-Touchard A, Toquero J, Castro-Urda V, Fernandez-Diaz JA, Perez-Pereira E, Beltran-Correas P, Segovia J, Werner GS, Javier G, Luis AP (2012) Ventricular arrhythmias among implantable cardioverter-defibrillator recipients for primary prevention: impact of chronic total coronary occlusion (VACTO primary study). *Circ Arrhythm Electrophysiol* 5(1):147–154
29. Nombela-Franco L, Iannaccone M, Anguera I, Amat-Santos IJ, Sanchez-Garcia M, Bautista D, Calvelo MN, Di Marco A, Moretti C, Pozzi R, Scaglione M, Canadas V, Sandin-Fuentes M, Arenal A, Bagur R, Perez-Castellano N, Fernandez-Perez C, Gaita F, Macaya C, Escaned J, Fernandez-Lozano I (2017) Impact of chronic total coronary occlusion on recurrence of ventricular arrhythmias in ischemic secondary prevention implantable cardioverter-defibrillator recipients (VACTO secondary study): insights from coronary angiogram and electrogram analysis. *JACC Cardiovasc Interv* 10(9):879–888
30. Di Marco A, Anguera I, Teruel L, Dallaglio P, Gonzalez-Costello J, Leon V, Nunez E, Manito N, Gomez-Hospital JA, Sabate X, Cequier A (2017) Chronic total occlusion of an infarct-related artery: a new predictor of ventricular arrhythmias in primary prevention implantable cardioverter defibrillator patients. *Europace* 19(2):267–274
31. Behnes M, Akin I, Kuche P, Schupp T, Reiser L, Bol-low A, Taton G, Reichelt T, Ellguth D, Engelke N, El-Battrawy I, Lang S, Brilakis ES, Azzalini L, Galassi AR, Boukhris M, Neuser H, Neumann F-J, Niennaber C, Weiß C, Borggreffe M, Mashayekhi K (2020) Coronary chronic total occlusions and mortality in patients with ventricular tachyarrhythmias. *EuroIntervention* 15(14):1278–1285
32. Behnes M, Mashayekhi K, Kuche P, Kim SH, Schupp T, von Zworowsky M, Reiser L, Bollow A, Taton G, Reichelt T, Borggreffe M, Ellguth D, Engelke N, Weidner K, Lindner S, Muller J, Ansari U, Meininghaus DG, Bertsch T, Lang S, Akin I (2020) Prognostic impact of coronary chronic total occlusion on recurrences of ventricular tachyarrhythmias and ICD therapies. *Clin Res Cardiol*. <https://doi.org/10.1007/s00392-020-01758-y>
33. Di Marco A, Paglino G, Oloriz T, Maccabelli G, Baratto F, Vergara P, Bisceglia C, Anguera I, Sala S, Sora N, Dallaglio P, Marzi A, Trevisi N, Mazzone P, Della Bella P (2015) Impact of a chronic total occlusion in an infarct-related artery on the long-term outcome of ventricular tachycardia ablation. *J Cardiovasc Electrophysiol* 26(5):532–539
34. Yamashita K, Igawa W, Ono M, Kido T, Okabe T, Isomura N, Araki H, Ochiai M (2019) Impact of recanalization of chronic total occlusion on left ventricular electrical remodeling. *Pacing Clin Electrophysiol* 42(6):712–721
35. Suzuki Y, Tsuchikane E, Katoh O, Muramatsu T, Muto M, Kishi K, Hamazaki Y, Oikawa Y, Kawasaki T, Okamura A (2017) Outcomes of percutaneous coronary interventions for chronic total occlusion performed by highly experienced Japanese specialists: the first report from the Japanese CTO-PCI expert registry. *JACC Cardiovasc Interv* 10(21):2144–2154
36. Henriques JP, Hoehrs LP, Ramunddal T, Laanmets P, Eriksen E, Bax M, Ioanes D, Suttrop MJ, Strauss BH, Barbato E, Nijveldt R, van Rossum AC, Marques KM, Elias J, van Dongen IM, Claessen BE, Tijssen JG, van der Schaaf RJ, EXPLORE Trial Investigators (2016) Percutaneous intervention for concurrent chronic total occlusions in patients with STEMI: the EXPLORE trial. *J Am Coll Cardiol* 68(15):1622–1632
37. Lee SW, Lee PH, Ahn JM, Park DW, Yun SC, Han S, Kang H, Kang SJ, Kim YH, Lee CW, Park SW, Hur SH, Rha SW, Her SH, Choi SW, Lee BK, Lee NH, Lee JY, Cheong SS, Kim MH, Ahn YK, Lim SW, Lee SG, Hiremath S, Santoso T, Udachalerm W, Cheng JJ, Cohen DJ, Muramatsu T, Tsuchikane E, Asakura Y, Park SJ (2019) Randomized trial evaluating percutaneous coronary intervention for the treatment of chronic total occlusion. *Circulation* 139(14):1674–1683
38. Brilakis ES, Mashayekhi K, Burke MN (2019) How DECISION-CTO can help guide the decision to perform chronic total occlusion percutaneous coronary intervention. *Circulation* 139(14):1684–1687
39. Werner GS, Martin-Yuste V, Hildick-Smith D, Boudou N, Sianos G, Gelev V, Rumoroso JR, Erglis A, Christiansen EH, Escaned J, di Mario C, Hovasse T, Teruel L, Bufe A, Lauer B, Bogaerts K, Goicolea J, Spratt JC, Gershlick AH, Galassi AR, Louvard Y, EUROCTO trial investigators (2018) A randomized multicentre trial to compare revascularization with optimal medical therapy for the treatment of chronic total coronary occlusions. *Eur Heart J* 39(26):2484–2493
40. Obedinskiy AA, Kretov EI, Boukhris M, Kurbatov VP, Osiev AG, Ibn Elhadj Z, Obedinskaya NR, Kasbaoui S, Grazhdankin IO, Prokhorikhin AA, Zubarev DD, Biryukov A, Pokushalov E, Galassi AR, Baystrukov VI (2018) The IMPACTOR-CTO trial. *JACC Cardiovasc Interv* 11(13):1309–1311
41. Mashayekhi K, Neuser H, Kraus A, Zimmer M, Dalibor J, Akin I, Werner G, Aurel T, Neumann FJ, Behnes M (2017) Successful percutaneous coronary intervention improves cardiopulmonary exercise capacity in patients with chronic total occlusions. *J Am Coll Cardiol* 69(8):1095–1096
42. George S, Cockburn J, Clayton TC, 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, British Cardiovascular Intervention Society, National Institute for Cardiovascular Outcomes Research (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(3):235–243
43. Galassi AR, Boukhris M, Toma A, Elhadj Z, Laroussi L, Gaemperl O, Behnes M, Akin I, Luscher TF, Neumann FJ, Mashayekhi K (2017) Percutaneous coronary intervention of chronic total occlusions in patients with low left ventricular ejection fraction. *JACC Cardiovasc Interv* 10(21):2158–2170
44. Toma A, Stahl BE, Gick M, Gebhard C, Kaufmann BA, Mashayekhi K, Ferenc M, Buettner HJ, Neumann FJ (2017) Comparison of benefit of successful percutaneous coronary intervention for chronic total occlusion in patients with versus without reduced ($\leq 40\%$) left ventricular ejection fraction. *Am J Cardiol* 120(10):1780–1786
45. Hannan EL, Racz M, Holmes DR, King SB 3rd, Walford G, Ambrose JA, Sharma S, Katz S, Clark LT,

- Jones RH (2006) Impact of completeness of percutaneous coronary intervention revascularization on long-term outcomes in the stent era. *Circulation* 113(20):2406–2412
46. Farooq V, Serruys PW, Garcia-Garcia HM, Zhang Y, Bourantas CV, Holmes DR, Mack M, Feldman T, Morice MC, Stahle E, James S, Colombo A, Diletti R, Papafaklis MI, de Vries T, Morel MA, van Es GA, Mohr FW, Dawkins KD, Kappetein AP, Sianos G, Boersma E (2013) The negative impact of incomplete angiographic revascularization on clinical outcomes and its association with total occlusions: the SYNTAX (synergy between percutaneous coronary intervention with taxus and cardiac surgery) trial. *J Am Coll Cardiol* 61(3):282–294
 47. Head SJ, Mack MJ, Holmes DR Jr., Mohr FW, Morice MC, Serruys PW, Kappetein AP (2012) Incidence, predictors and outcomes of incomplete revascularization after percutaneous coronary intervention and coronary artery bypass grafting: a subgroup analysis of 3-year SYNTAX data. *Eur J Cardiothorac Surg* 41(3):535–541
 48. Hong SJ, Kim BK, Shin DH, Kim JS, Hong MK, Gwon HC, Kim HS, Yu CW, Park HS, Chae IH, Rha SW, Lee SH, Kim MH, Hur SH, Jang Y, Registry KC (2014) Usefulness of intravascular ultrasound guidance in percutaneous coronary intervention with second-generation drug-eluting stents for chronic total occlusions (from the multicenter Korean-chronic total occlusion registry). *Am J Cardiol* 114(4):534–540
 49. Kim BK, Shin DH, Hong MK, Park HS, Rha SW, Mintz GS, Kim JS, Kim JS, Lee SJ, Kim HY, Hong BK, Kang WC, Choi JH, Jang Y, CTO-IVUS Study Investigators (2015) Clinical impact of intravascular ultrasound-guided chronic total occlusion intervention with Zotarolimus-eluting versus Biolimus-eluting stent implantation: randomized study. *Circ Cardiovasc Interv* 8(7):e2592
 50. Brilakis ES, Mashayekhi K, Tsuchikane E, Abi Rafeh N, Alaswad K, Araya M, Avran A, Azzalini L, Babunashvili AM, Bayani B, Bhindi R, Boudou N, Boukhris M, Bozinovic NZ, Bryniarski L, Bufe A, Buller CE, Burke MN, Buttner HJ, Cardoso P, Carlino M, Christiansen EH, Colombo A, Croce K, Damas de Los Santos F, de Martini T, Dens J, di Mario C, Dou K, Egred M, ElGuindy AM, Escaned J, Furkalo S, Gagnor A, Galassi AR, Garbo R, Ge J, Goel PK, Goktekin O, Grancini L, Grantham JA, Hanratty C, Harb S, Harding SA, Henriques JPS, Hill JM, Jaffer FA, Jang Y, Jussila R, Kalnins A, Kalyanasundaram A, Kandzari DE, Kao HL, Karpaliotis D, Kassem HH, Knaapen P, Kornowski R, Krestyaninov O, Kumar AVG, Laanmets P, Lamelas P, Lee SW, Lefevre T, Li Y, Lim ST, Lo S, Lombardi W, McEntegart M, Munawar M, Navarro Lecaro JA, Ngo HM, Nicholson W, Olivecrona GK, Padilla L, Postu M, Quadros A, Quesada FH, Prakasa Rao VS, Reifart N, Saghatelayan M, Santiago R, Sianos G, Smith E, Spratt JC, Stone GW, Strange JW, Tammam K, Ungli, Vo M, Vu VH, Walsh S, Werner GS, Wollmuth JR, Wu EB, Wyman RM, Xu B, Yamane M, Ybarra LF, Yeh RW, Zhang Q, Rinfret S (2019) Guiding principles for chronic total occlusion percutaneous coronary intervention. *Circulation* 140(5):420–433
 51. Galassi AR, Werner GS, Boukhris M, Azzalini L, Mashayekhi K, Carlino M, Avran A, Konstantinidis NV, Grancini L, Bryniarski L, Garbo R, Bozinovic N, Gershlick AH, Rathore S, Di Mario C, Louvard Y, Reifart N, Sianos G (2019) Percutaneous recanalisation of chronic total occlusions: 2019 consensus document from the EuroCTO Club. *EuroIntervention* 15(2):198–208
 52. Christopoulos G, Kandzari DE, Yeh RW, Jaffer FA, Karpaliotis D, Wyman MR, Alaswad K, Lombardi W, Grantham JA, Moses J, Christakopoulos G, Tarar MNJ, Rangan BV, Lembo N, Garcia S, Copher D, Thompson CA, Banerjee S, Brilakis ES (2016) Development and validation of a novel scoring system for predicting technical success of chronic total occlusion percutaneous coronary interventions: the PROGRESS CTO (prospective global registry for the study of chronic total occlusion intervention) score. *JACC Cardiovasc Interv* 9(1):1–9
 53. Daneke BA, Karatasakis A, Karpaliotis D, Alaswad K, Yeh RW, Jaffer FA, Patel MP, Mahmud E, Lombardi WL, Wyman MR, Grantham JA, Doing A, Kandzari DE, Lembo NJ, Garcia S, Toma C, Moses JW, Kirtane AJ, Parikh MA, Ali ZA, Karacsonyi J, Rangan BV, Thompson CA, Banerjee S, Brilakis ES (2016) Development and validation of a scoring system for predicting periprocedural complications during percutaneous coronary interventions of chronic total occlusions: the prospective global registry for the study of chronic total occlusion intervention (PROGRESS CTO) complications score. *J Am Heart Assoc* 5(10):e4272. <https://doi.org/10.1161/JAHA.116.004272>
 54. 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, J-CTO Registry Investigators (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(2):213–221
 55. Szijgyarto Z, Rampat R, Werner GS, Ho C, Reifart N, Lefevre T, Louvard Y, Avran A, Kambis M, Buettner HJ, Di Mario C, Gershlick A, Escaned J, Sianos G, Galassi A, Garbo R, Goktekin O, Meyer-Gessner M, Lauer B, Elhadad S, Bufe A, Boudou N, Sievert H, Martin-Yuste V, Thuesen L, Erglis A, Christiansen E, Spratt J, Bryniarski L, Clayton T, Hildick-Smith D (2019) Derivation and validation of a chronic total coronary occlusion intervention procedural success score from the 20,000-patient EuroCTO registry: the EuroCTO (CASTLE) score. *JACC Cardiovasc Interv* 12(4):335–342
 56. Kalogeropoulos AS, Alsanjari O, Keeble TR, Tang KH, Konstantinou K, Katsikis A, Jagathesan R, Aggarwal RK, Clesham GJ, Kelly PA, Werner GS, Hildick-Smith D, Davies JR, Karamasis G (2020) CASTLE score versus J-CTO score for the prediction of technical success in chronic total occlusion percutaneous revascularisation. *EuroIntervention* 15(18):e1615–e23
 57. Forouzandeh F, Suh J, Stahl E, Ko YA, Lee S, Joshi U, Sabharwal N, Almuwaqqat Z, Gandhi R, Lee HS, Ahn SG, Gogas BD, Douglas JS, Robertson G, Jaber W, Karpaliotis D, Brilakis ES, Nicholson WJ, King SB 3rd, Samady H (2018) Performance of J-CTO and PROGRESS CTO scores in predicting angiographic success and long-term outcomes of percutaneous coronary interventions for chronic total occlusions. *Am J Cardiol* 121(1):14–20
 58. Ybarra LF, Rinfret S, Brilakis ES, Karpaliotis D, Azzalini L, Grantham JA, Kandzari DE, Mashayekhi K, Spratt JC, Wijeyesundera HC, Ali ZA, Buller CE, Carlino M, Cohen DJ, Cutlip DE, De Martini T, Di Mario C, Farb A, Finn AV, Galassi AR, Gibson CM, Hanratty C, Hill JM, Jaffer FA, Krucoff MW, Lombardi WL, Maehara A, Magee PFA, Mehran R, Moses JW, Nicholson WJ, Onuma Y, Sianos G, Sumitsui S, Tsuchikane E, Virmani R, Walsh SJ, Werner GS, Yamane M, Stone GW, Rinfret S, Stone GW, Chronic Total Occlusion Academic Research Consortium (2021) Definitions and clinical trial design principles for coronary artery chronic total occlusion therapies: CTO-ARC consensus recommendations. *Circulation* 143(5):479–500
 59. Azzalini L, Uretsky B, Brilakis ES, Colombo A, Carlino M (2019) Contrast modulation in chronic total occlusion percutaneous coronary intervention. *Catheter Cardiovasc Interv* 93(1):E24–E9
 60. Tajti P, Karpaliotis D, Alaswad K, Jaffer FA, Yeh RW, Patel M, Mahmud E, Choi JW, Burke MN, Doing AH, Dattilo P, Toma C, Smith AJC, Uretsky B, Holper E, Wyman RM, Kandzari DE, Garcia S, Krestyaninov O, Khelimski D, Koutouzis M, Tsiafoutis I, Moses JW, Lembo NJ, Parikh M, Kirtane AJ, Ali ZA, Doshi D, Rangan BV, Ungli I, Banerjee S, Brilakis ES (2018) The hybrid approach to chronic total occlusion percutaneous coronary intervention: update from the PROGRESS CTO registry. *JACC Cardiovasc Interv* 11(14):1325–1335
 61. Dautov R, Urena M, Nguyen CM, Gibrat C, Rinfret S (2017) Safety and effectiveness of the surfing technique to cross septal collateral channels during retrograde chronic total occlusion percutaneous coronary intervention. *EuroIntervention* 12(15):e1859–e67
 62. Matsuno S, Tsuchikane E, Harding SA, Wu EB, Kao HL, Brilakis ES, Mashayekhi K, Werner GS (2018) Overview and proposed terminology for the reverse controlled antegrade and retrograde tracking (reverse CART) techniques. *EuroIntervention* 14(1):94–101
 63. Carlino M, Azzalini L, Colombo A (2017) A novel maneuver to facilitate retrograde wire externalization during retrograde chronic total occlusion percutaneous coronary intervention. *Catheter Cardiovasc Interv* 89(1):E7–E12
 64. Mashayekhi K, Valuckiene Z, Neuser H, Akin I, Reifart N, Toma A, Neumann FJ, Behnes M (2017) Wire externalisation techniques for retrograde percutaneous coronary interventions of chronic total occlusions. *EuroIntervention* 13(12):e1489–e90
 65. Harding SA, Wu EB, Lo S, Lim ST, Ge L, Chen JY, Quan J, Lee SW, Kao HL, Tsuchikane E (2017) A new algorithm for crossing chronic total occlusions from the asia pacific chronic total occlusion club. *JACC Cardiovasc Interv* 10(21):2135–2143
 66. Brilakis ES, Grantham JA, Rinfret S, Wyman RM, Burke MN, Karpaliotis D, Lembo N, Pershad A, Kandzari DE, Buller CE, DeMartini T, Lombardi WL, Thompson CA (2012) A percutaneous treatment algorithm for crossing coronary chronic total occlusions. *JACC Cardiovasc Interv* 5(4):367–379
 67. Sapontis J, Salisbury AC, Yeh RW, Cohen DJ, Hirai T, Lombardi W, McCabe JM, Karpaliotis D, Moses J, Nicholson WJ, Pershad A, Wyman RM, Spaedy A, Cook S, Doshi P, Federici R, Thompson CR, Marso SP, Nugent K, Gosch K, Spertus JA, Grantham JA (2017) Early procedural and health status outcomes after chronic total occlusion angioplasty: a report from the OPEN-CTO registry (outcomes, patient health status, and efficiency in chronic total occlusion hybrid procedures). *JACC Cardiovasc Interv* 10(15):1523–1534
 68. Maeremans J, Walsh S, Knaapen P, Spratt JC, Avran A, Hanratty CG, Faurie B, Agostini P, Bressollette E, Kayaert P, Bagnall AJ, Egred M, Smith D, Chase A, McEntegart MB, Smith WH, Harcombe A, Kelly P, Irving J, Smith EJ, Strange JW, Dens J (2016) The hybrid algorithm for treating chronic total occlusions in europe: the RECHARGE registry. *J Am Coll Cardiol* 68(18):1958–1970

69. Morino Y, Kimura T, Hayashi Y, Muramatsu T, Ochiai M, Noguchi Y, Kato K, Shibata Y, Hiasa Y, Doi O, Yamashita T, Morimoto T, Abe M, Hinohara T, Mitsudo K, J-CTO Registry Investigators (2010) In-hospital outcomes of contemporary percutaneous coronary intervention in patients with chronic total occlusion insights from the J-CTO registry (multicenter CTO registry in Japan). *JACC Cardiovasc Interv* 3(2):143–151
70. Konstantinidis NV, Werner GS, Deftereos S, Di Mario C, Galassi AR, Buettner JH, Avran A, Reifart N, Goktekin O, Garbo R, Bufe A, Mashayekhi K, Boudou N, Meyer-Gessner M, Lauer B, Elhadad S, Christiansen EH, Escaned J, Hildick-Smith D, Carlino M, Louvard Y, Lefevre T, Angelis L, Giannopoulos G, Sianos G, Euro CTO Club (2018) Temporal trends in chronic total occlusion interventions in europe. *Circ Cardiovasc Interv* 11(10):e6229
71. Azzalini L, Poletti E, Ayoub M, Ojeda S, Zivelonghi C, La Manna A, Bellini B, Lostalo A, Luque A, Venuti G, Montorfano M, Agostoni P, Pan M, Carlino M, Mashayekhi K (2019) Coronary artery perforation during chronic total occlusion percutaneous coronary intervention: epidemiology, mechanisms, management, and outcomes. *EuroIntervention* 15(9):e804–e11

Schaufensterkrankheit

Unterversorgung: Jeder pAVK-Patient sollte ein Statin nehmen

Bis zu 8 Millionen Menschen in Deutschland leiden an einer peripheren arteriellen Verschlusskrankheit (pAVK), der sogenannten „Schaufensterkrankheit“. Doch nur etwa die Hälfte dieser Patienten mit Durchblutungsstörungen in den Beinen erhält ein preisgünstiges Statin, das Schlaganfall, Herzinfarkt, Amputation und Tod um 30 % reduziert.

Stattdessen zeichnet sich ab, dass Ärzte zunehmend neue Medikamente verordnen, die um den Faktor 100 teurer, aber nicht wesentlich wirksamer oder sicherer als Statine sind. Darauf weist die Deutsche Gesellschaft für Gefäßchirurgie und Gefäßmedizin e. V. (DGG) anhand neuer Daten hin. „Die mangelhafte Statinverordnung verursacht unnötige Gesundheitskosten“, betont DGG-Experte PD Dr. med. Christian-Alexander Behrendt. Jeder pAVK-Patient sollte ab Diagnosestellung ein Statin einnehmen, auch um schweren Folgeerkrankungen vorzubeugen. Hauptursache der Schaufensterkrankheit ist eine Verkalkung der Gefäße, die das Bein mit Blut versorgen. Die Verengung führt bei körperlicher Belastung zu einem Sauerstoffmangel in der Muskulatur, der sich wie ein Muskelkrampf oder Muskelkater anfühlt und die Betroffenen zum Stehenbleiben zwingt.

Wirksamkeit weltweit eindeutig bewiesen

Ein Faktor, der zur Verstopfung der Arterien führt, ist die Einlagerung von ungünstigen Blutfetten – von LDL-Cholesterin – in den Gefäßwänden. Statine reduzieren diese LDL-Blutfette und hemmen gleichzeitig Entzündungen in den Gefäßwänden. „Ihre Wirksamkeit ist in vielen hochwertigen Studien weltweit belegt“, fügt Behrendt hinzu. Aus diesem Grund empfehlen alle involvierten medizinischen Fachdisziplinen die Verordnung von Statinen für pAVK-Patienten in ihren Leitlinien. Statine sind aber nicht nur wirkungsvoll, sie sind zugleich sehr sicher. So wurde in einer Analyse mit 22.208 Patienten neben der Effektivität die Sicherheit der Blutfettsenker untersucht. Ergebnis: Es gibt keinen Hinweis, dass Statine Diabetes mellitus oder behandlungsbedürftige Muskelerkrankungen fördern. Auch die Furcht vor Beinschmerzen als Nebenwirkung ist in vielen Fällen unbegründet. Als weiterer Pluspunkt kommt bei den Statinen der Preis hinzu: Eine Tagesdosis kostet nur etwa 20 Cent.

7.000 Euro pro Jahr und Patient für moderne Präparate

Trotz dieser Vorteile werden zu wenig Statine verordnet und eingenommen. Wie eine umfassende, aktuelle Auswertung von Daten der Barmer Ersatzkasse zeigt, erhielten im Jahr 2018 nur etwa die Hälfte der pAVK-Patienten einen Blutfettsenker. „Stattdessen zeichnet sich ein Trend ab, wonach Ärzte zunehmend neue Lippenker verschreiben, die 100-fach teurer als Statine sind“, kritisiert Behrendt. Während sich die Kosten für Statine pro Jahr und Patient auf etwa 100 Euro belaufen, sind beispielsweise für moderne PCSK-9-Hemmer 7.000 Euro fällig. Insgesamt gaben die gesetzlichen Krankenkassen laut Arzneimittelverordnungsreport im Jahr 2019 für die Versorgung von 14.000 Patienten mit neuen Fettsenker-Präparaten knapp 100 Millionen Euro aus – allein im Jahr 2019 schnellte die Verschreibungsquote um fast 29 % hoch.

Ärzte sollen Patienten intensiver aufklären

Auch für den Präsidenten der DGG, Professor Dr. med. Dittmar Böckler, liegen die Konsequenzen klar auf der Hand. „Jeder Arzt, insbesondere jeder Hausarzt, und jeder Patient sollte wissen: Sobald die Diagnose pAVK vorliegt, muss täglich ein Statin eingenommen werden“, so Böckler. „Ängste vor Nebenwirkungen sind dabei unberechtigt. Wir müssen dazu verstärkt das Gespräch suchen, denn nur der informierte Patient arbeitet mit.“ Neue Präparate sollten nur in Ausnahmefällen zum Einsatz kommen.

Quelle: Deutsche Gesellschaft für Gefäßchirurgie und Gefäßmedizin, www.gefaesschirurgie.de