








# Atherectomy in Peripheral Artery Disease: Current and Future

## 말초동맥질환에서의 죽종절제술: 현재와 미래

Yohan Kwon, MD<sup>1</sup> , Jinoo Kim, MD<sup>1\*</sup> , Je-Hwan Won, MD<sup>1</sup> ,  
Seong Ho Kim, MD<sup>1</sup>, Jeong-Eun Kim, MD<sup>1</sup> , Sung-Joon Park, MD<sup>2</sup> 

<sup>1</sup>Department of Radiology, Ajou University Hospital, Suwon, Korea

<sup>2</sup>Department of Radiology, Korea University Ansan Hospital, Ansan, Korea

Atherectomy has become a promising treatment option for peripheral artery disease caused by diabetes mellitus or end-stage renal disease. Atherectomy refers to the removal of atheromatous tissue by mechanical method, resulting in an enlarged lumen of the treated blood vessel. Based on this method, the term is limited to the percutaneous minimally invasive approach, and there are currently two types of atherectomy devices available in Korea. The increased prevalence of atherectomy has led to the concept of “vascular preparation” and a new treatment concept of “leave nothing behind.” Various studies have proven the safety and effectiveness of atherectomy; however, there are some limitations. We need to remain focused on patient selection and subsequent large-scale research.

**Index terms** Atherectomy; Drug Eluting Stents; Angioplasty, Balloon;  
Peripheral Arterial Disease

## 서론

말초동맥질환(peripheral artery disease; 이하 PAD)은 죽상동맥경화증(atherosclerosis) 또는 혈전색전(thromboemboli) 병태생리 과정에 의해 대동맥의 내장 동맥 분지, 하지 동맥 등 전신적인 혈관의 협착 또는 폐쇄성 병변을 설명하는 데 일반적으로 사용되는 임상 용어이다. 서구 주요 선진국들의 자료에 따르면 40세 이상의 환자에서 5.9%의 유병률을 보이며 전 세계적으로는 200만 명 이상이 이 질환에 영향을 받고 있다(1). 한국의 경우 참고할만한 자료가 많지는 않으나, 3.2% 정도의 유병률을 보이며 서구에 비해 일반적으로 낮은 경향을 보인다(2, 3). 최근 기대 여명과 노령 인구 비율이 급격히 증가하면서 PAD의 발생률과 유병률도 함께 증가할 것으로 전망된다(4).

PAD는 운동 시 경미한 통증에서 휴지 통증(resting pain), 진행성 궤양, 조직 손실 또는 괴

Received February 23, 2021  
Revised March 22, 2021  
Accepted April 2, 2021

\*Corresponding author

Jinoo Kim, MD  
Department of Radiology,  
Ajou University Hospital,  
164 World cup-ro, Yeongtong-gu,  
Suwon 16499, Korea.


Tel 82-31-219-5858

Fax 82-31-219-5858

E-mail jinoomail@gmail.com

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

## ORCID iDs

Yohan Kwon   
[https://  
orcid.org/0000-0001-9502-386X](https://orcid.org/0000-0001-9502-386X)  
Jinoo Kim   
[https://  
orcid.org/0000-0001-7238-2528](https://orcid.org/0000-0001-7238-2528)  
Je-Hwan Won   
[https://  
orcid.org/0000-0002-5901-295X](https://orcid.org/0000-0002-5901-295X)  
Jeong-Eun Kim   
[https://  
orcid.org/0000-0003-1827-0255](https://orcid.org/0000-0003-1827-0255)  
Sung-Joon Park   
[https://  
orcid.org/0000-0002-1187-7671](https://orcid.org/0000-0002-1187-7671)

저(gangrene)에 이르기까지 다양한 증상으로 나타날 수 있다. PAD의 분류는 증상에 따라 Fontaine (5)과 Rutherford (6)의 두 가지 분류(7)가 흔히 사용되고 있다(Table 1). 치료는 질병의 단계와 증증도에 따라 결정되며 약물 요법, 경피적 혈관 내 중재, 우회 수술(8), 또는 위의 모든 조합이 포함될 수 있으나, PAD의 특성, 증증도, 범위, 해부학적 위치 등이 매우 다양하며, 특히 얇은넙다리동맥(superficial femoral artery; SFA)의 10 cm 이상 또는 심한 석회화를 보이는 병변을 가진 환자를 위한 치료 전략과 방법의 “Gold Standard”가 없는 상황이다(9-11).

## 기존 치료

혈관 내 치료 기법이 발달함에 따라 대부분의 증상이 있는 환자의 초기 치료에서 기존의 외과적 접근 방식보다 최소 침습적 경피적 접근 방식이 더 널리 사용되게 되었다. 경피적 혈관 성형술(percutaneous transluminal angioplasty; 이하 PTA) 또는 풍선 혈관 성형술(balloon angioplasty)은 전통적으로 국소 병변의 치료에 사용되었다(12). 그러나 조기 탄성반동(elastic recoil)과 빈번한 박리(dissection) 등으로 인하여 긴 병변에 대한 1차 및 2차 개통률이 좋지 않으며, 결과적으로 bail-out 스텐트 설치가 필요한 경우가 40~50%에 달해(13), 높은 기술적 성공률에도 불구하고 심한 석회화 병변에서의 풍선 혈관 성형술은 임상적 성공률에 한계가 있다.

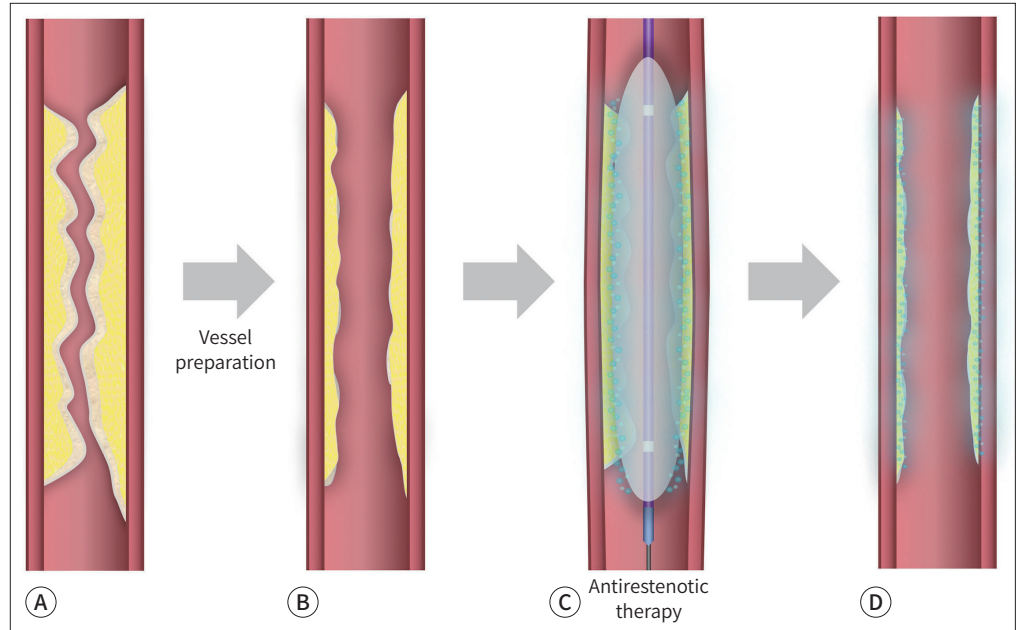
자가 확장형 nitinol 스텐트(self expandable nitinol stent or bare metal stent; BMS)를 사용하면 국소 병변에 효과적인 치료법이 될 수 있지만 재협착률이 6~24개월에 10~40%까지 높을 수 있으며(14), 약물 방출 스텐트(drug eluting stent; 이하 DES)의 경우도 30% 수준까지 높을 수 있다(15). 더불어, 과도한 움직임과 굴곡 부위에서 스텐트 골절이 발생할 수 있고 특히, 심한 석회화 plaque의 존재는 불안정한 스텐트 확장과 상당한 잔류 협착을 초래할 수 있다(16). 이러한 한계 때문에 기존 PTA, 약물 코팅 풍선(drug coated balloon; 이하 DCB), DES 등의 치료 전에 “혈관 준비”라는 개념의 중요성이 주목받게 되었으며(Fig. 1), 죽종제거술 기구를 이용하여 석회화 plaque를 용적감소(debulk) 시키고 혈관 내에는 어떠한 영구 인공 구조물도 남기지 않는 치료 전략이 대두되게 되었다(17).

Table 1. Classification of Peripheral Artery Disease by Clinical Symptoms

Fontaine (5)		Rutherford (6)		
Stage	Clinical Symptoms	Stage	Category	Clinical Symptoms
I	Asymptomatic	0	0	Asymptomatic
IIa	Claudication at a distance > 200 m	I	1	Mild claudication
IIb	Claudication at a distance < 200 m		2	Moderate claudication
			3	Severe claudication
III	Rest pain, mostly in the feet	II	4	Ischemic rest pain
IV	Necrosis and/or gangrene of the limb	III	5	Minor tissue loss
		IV	6	Major tissue loss

Fig. 1. Atherectomy and drug-coated balloon angioplasty.

- A. Removal of calcific tissue, resulting in luminal gain without barotrauma.
- B. Schematic image of result of atherectomy.
- C. Following low-pressure balloon angioplasty to decrease the chance of dissection and the need for stent placement.
- D. Drug delivery to the vessel wall is increased, lowering the chance of restenosis in the long term.



## 죽종절제술

### 정의

죽종절제술은 절단, 분쇄 또는 구멍을 뚫는 등의 기계적 방법을 통해 죽종 조직을 제거하여 혈관의 내경을 확대하는 것을 말한다. 방법의 특성상 주로 경피적 미세 침습 접근 방식에 국한하여 통용되는 용어이며, 현재 통용되는 죽종절제술 장치는 작용 메커니즘에 따라 다음의 범주로 분류된다. 레이저 죽종절제술(photoablative or laser atherectomy); 궤도 죽종절제술(orbital atherectomy); 절제 또는 방향성 죽종절제술(excisional or directional atherectomy); 회전 죽종절제술(rotational atherectomy); 두 방법을 합친 혼종형 죽종절제술(hybrid atherectomy).

이러한 각 장치들의 안전성과 효능에 대해 비교한 연구는 딱히 없으나, 병변 특성과 관련하여 각각 고유의 기능들이 있으며, 따라서 서로의 장단점이 다르다. 일반적으로 죽종절제술은 다양한 병변에 사용할 수 있지만 병변의 내막하 통과했을 때나 사용 지침에 표시된 것보다 혈관 직경이 작을 때 사용하는 것은 상대적 금기 사항이다.

이 종설에서는 2021년 현재, 한국에서 사용 가능한 directional atherectomy와 rotational atherectomy에 대해 다루도록 한다.

### Directional Atherectomy

Directional atherectomy 기구는 탄소합금 소재로 만들어진 회전하는 칼날을 이용하여 대폐와

비슷한 원리로 죽상경화반을 잘라내고 제거한다. 이 회전하는 칼날은 일반적으로 기구 내에 숨겨져 있고 기구를 작동시킬 때 기구 밖으로 나와 플라크를 제거하는 역할을 한다. 이름에서 유추할 수 있듯, 이 칼날을 술자가 의도한 방향으로 회전시킬 수 있다는 장점이 있어서 원치 않는 혈관벽 손상을 방지할 수 있고, 동심성(concentric) 병변보다는 편심성(eccentric) 병변에 더 효과적이다. 단점으로는 플라크를 충분히 제거하기 위해서는 병변을 여러 번 기구로 통과시켜야 한다는 점이며, 제거된 플라크들을 코뿔(nose cone)에 모아놓기 때문에 서너 번만 atherectomy를 시행하면 기구를 제외로 꺼내어 비워줘야 한다. 기구에는 죽종절제와 동반된 흡인 기능이 없고 따라서 원위부 색전의 가능성을 반드시 염두해야 하며, 특히 심한 석회화 병변에선 이를 막기 위해 원위부에 색전방지 기구(embolic protection device) 설치가 거의 필수적이다(Fig. 2).

현재 한국에서 사용 가능한 directional atherectomy 기구는 HawkOne™ (Medtronic, Dublin, Ireland)이 있다. 2003년 SilverHawk™, 2009년 TurboHawk™에 이어 2015년 미국 식품의약품기구(Food and Drug Administration) 승인을 받은 제품으로 3.5~7.0 mm (7Fr)과 2.0~4.0 mm (6Fr) 혈관범위에서 사용 가능하다(18).

Directional atherectomy 장치의 안전성과 효능은 여러 전향적 다기관 연구를 통해 입증되었다(19-25). Directional atherectomy의 안전성과 효능에 대한 최초의 전향적 다기관 연구는 “Determination of Effectiveness of SilverHawk Peripheral Plaque Excision for the Treatment of Infrainguinal Vessels (이하 DEFINITIVE LE)”인데, 여기에는 미국과 유럽의 50개 기관에서 등록된 파행(claudication) 증상 또는 임계하지허혈(critical limb ischemia; 이하 CLI)이 있는 800명의 환자가 포함되었다(20). 시술 성공률은 89%, bail-out 스텐트 설치율은 3.2%였으며 원위 색전, 박리, 천공 및 급성 혈관 폐색 비율은 각각 3.8%, 2.3%, 5.3% 및 2.0%였다. 평균 병변 길이는 상대적으로 낮았으며(파행 환자에서 7.5 cm, CLI 환자에서 7.2 cm) 석회화된 병변은 전체의 40%였다. 또한 bail-out 스텐트 설치율은 3.2%로 이전 소규모 연구에 등록된 것보다 훨씬 낮았다(19). 2개월 추적 조사에서 1차 개통률은 파행이 있는 환자에서 78%였고, CLI 환자의 95%가 계획되지 않은 주요 절단이 없었다.

DEFINITIVE LE 연구에서 슬와 및 슬와하 병변에 있는 하위 그룹에 대한 추가 결과 데이터가 따로 보고되기도 했다(21-23). 중등도에서 중증의 석회화가 있는 168개의 병변에 대해 원위부 색전방지 기구와 병행하여 장치의 안전성과 효능을 보고한 DEFINITIVE Ca trial도 있었다(24). 1차 종점을  $\leq 50\%$  잔류 협착으로 정의했고 병변의 92%에서 달성하였으며, 원위부 색전방지 기구는 절제된 조직이 원위부 색전방지 기구에 걸린 122건 중 97.5%에서 색전을 예방했다( $n = 119$ ).

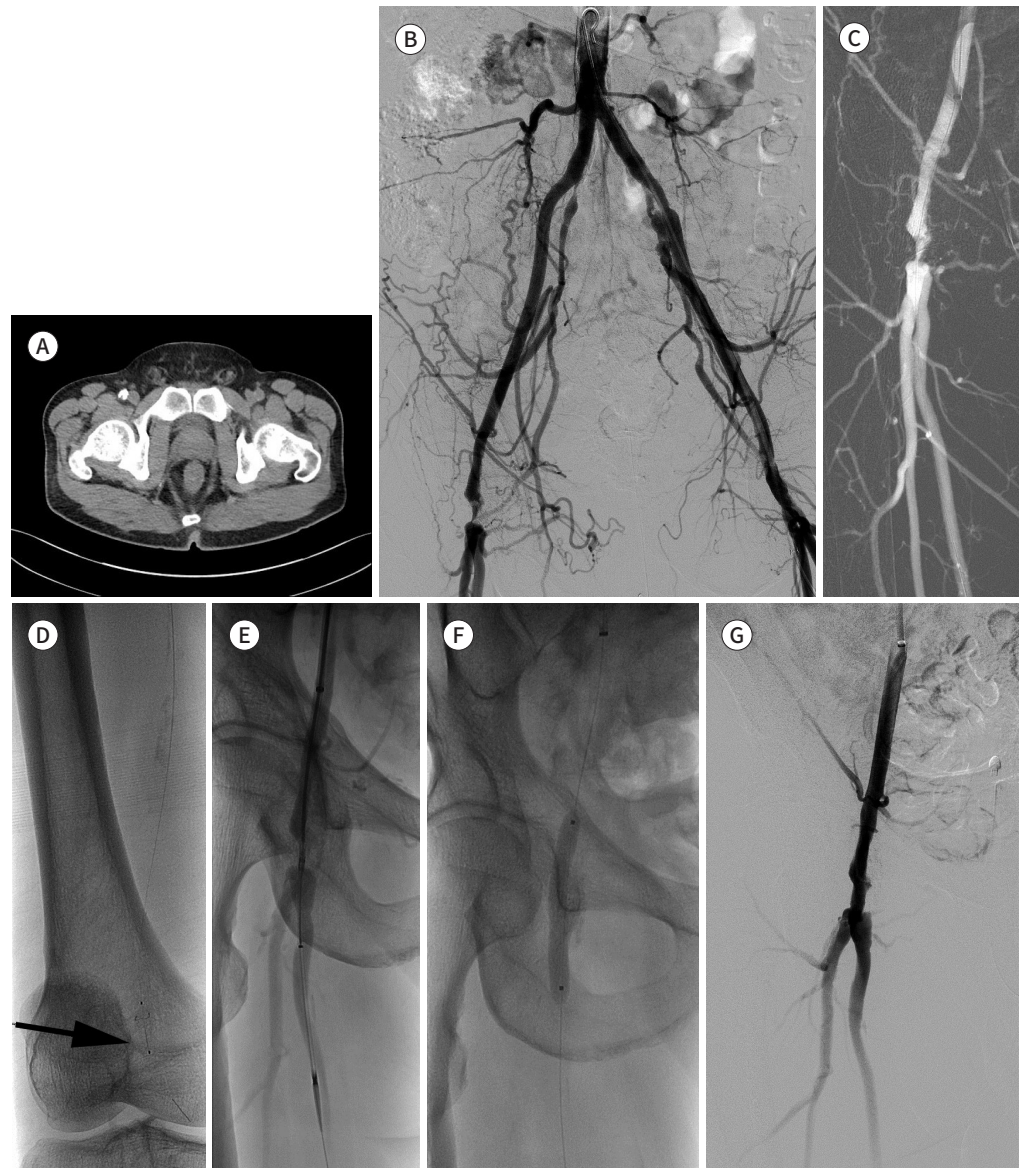
이어진 DEFINITIVE AR 임상 시험은 이른바 Directional Atherectomy & Anti-Restenotic Therapy (이하 DAART)의 개념을 소개하였는데, 당시 유일하게 입증(26)된 Paccocath™ 기술을 적용한 Cotavance™ DCB (Bayer HealthCare, formerly MEDRAD, now Medtronic, Dublin, Ireland)를 사용하여, DCB + directional atherectomy와 DCB만을 이용한 치료를 무작위 방식으로 비교했다(25). Directional atherectomy와 DCB를 병행한 치료는 효과적이고 안전했지만 DCB만을 이용한 치료의 1년 추적 결과와 비교했을 때 부가적인 이득은 없어, 더 큰 전향적 연구가 필요할 것이라고 결론지었다.

온넙다리동맥(common femoral artery) 협착 또는 폐색이 있는 30명의 환자에서 DCB와 directional atherectomy를 함께 시행한 단일 기관 연구에서 100%의 시술 성공률과 낮은 bail-out 스텐트 설치율(10%)과 함께 1년 추적 결과, 97%의 매우 높은 개통률을 보고하였다(27).

긴 중등도-중증의 석회화된 넙다리오금 병변에서 가장 최근 연구는 “DiRectional AthErectomy + Drug-CoAted BaLloon to Treat Long, Calcified Femoropopliteal ArterY Lesions (RE-

**Fig. 2.** A case of atherectomy of severe stenosis of right common femoral artery by a heavily calcification plaque in a 50-year-old male patient.

- A. Non contrast enhance CT image shows heavily calcified common femoral artery.
- B. Initial digital subtraction angiography shows well correlated findings with CT.
- C. Magnificated roadmap image confirms true luminal wire passage.
- D. Spot image shows distally placed 7 mm Spider™ filter (arrow) to protect distal emboli.
- E. Directional artherectomy was performed using HawkOne™ LS catheter for several times.
- F. Captured fluoroscopic image demonstrates drug coated balloon angioplasty as an anti restenotic therapy.
- G. Final angiographic result shows completely recanalized superficial femoral artery flow.



ALITY)”인데, 150명의 환자를 등록하여 directional atherectomy와 In.Pact™ Admiral™ DCB (Medtronic, Dublin, Ireland) 치료를 병행하여 평가하는 전향적 단일팔 다기관 연구(Prospective Single-Arm Multicenter Trial)이다. 최근인 2020년 11월 VIVA (Vascular InterVentional Advances, Las Vegas, NV, USA)에서, Dr. Rocha-Singh가 1년 결과를 발표하였는데, 92.6%의 환자가 clinically driven-target lesion revascularization (CD-TLR)이 없었으며 76.7%의 개통률을 보였고, 8.8%의 낮은 bail-out 스텐트 설치율을 보였다. 국내에서 사용 가능한 DCB를 사용한 연구 이기에 그 결과가 기대된다.

## Rotational Atherectomy

Rotational atherectomy는 특수하게 제작되어 회전하는 칩단 또는 칼날을 이용하여 죽상경화 조직을 동심성으로 제거하는 기구이다. 따라서 내경 확보는 이 칩단 또는 칼날 부분의 직경과 직접적으로 상관관계가 있다. 어떤 rotational atherectomy 기구는 내경 확보를 극대화하기 위해서 추가적인 칼날이 달려있는 경우도 있다. 한국에서 사용할 수 있는 Jetstream™ (Boston Scientific, Boston, MA, USA)이 그러하다(Fig. 3).

Jetstream™은 2008년 처음 개발되어 기능향상과 단점 보완을 거듭한 끝에 2013년 최근 세대 모델이 현재 사용되고 있다. 흡인기능을 동반하기 위해 대형 콘솔과 catheter를 연결하여 사용하는 방식이라, 따로 콘솔을 구매해야 한다는 단점이 있지만 죽종 제거와 흡인이 동시에 이뤄지기에 아급성 동맥 패색 같은 혈전성 병변이 동반되었을 때 특히 효과적이다. 7Fr 기반의 플랫폼으로 2가지의 catheter를 사용할 수 있는데, 상기한 바와 같이 칩단 부위에 한 개의 칼날을 가지고 있는 SC atherectomy catheter (2.50~2.75 mm)와 칩단 부위 외에도 추가적으로 옆에 칼날이 달려있는 XC atherectomy catheter (3.0~4.5 mm)가 있다.

넙다리오금 병변에 대한 Jetstream™의 첫 연구는 172명을 대상으로 한 다기관 연구였는데 기술적 성공률 99%, 1년 추적 기간 동안 TLR 무관율 74%였다(28, 29). Jetstream 장치를 사용하여 병변을 치료한 증례의 7%에서 bail-out 스텐트 설치를 시행하였고, 도플러 초음파를 통해 추적한 1차 및 2차 개통률은 각각 61.8% 및 81.3%였다(28).

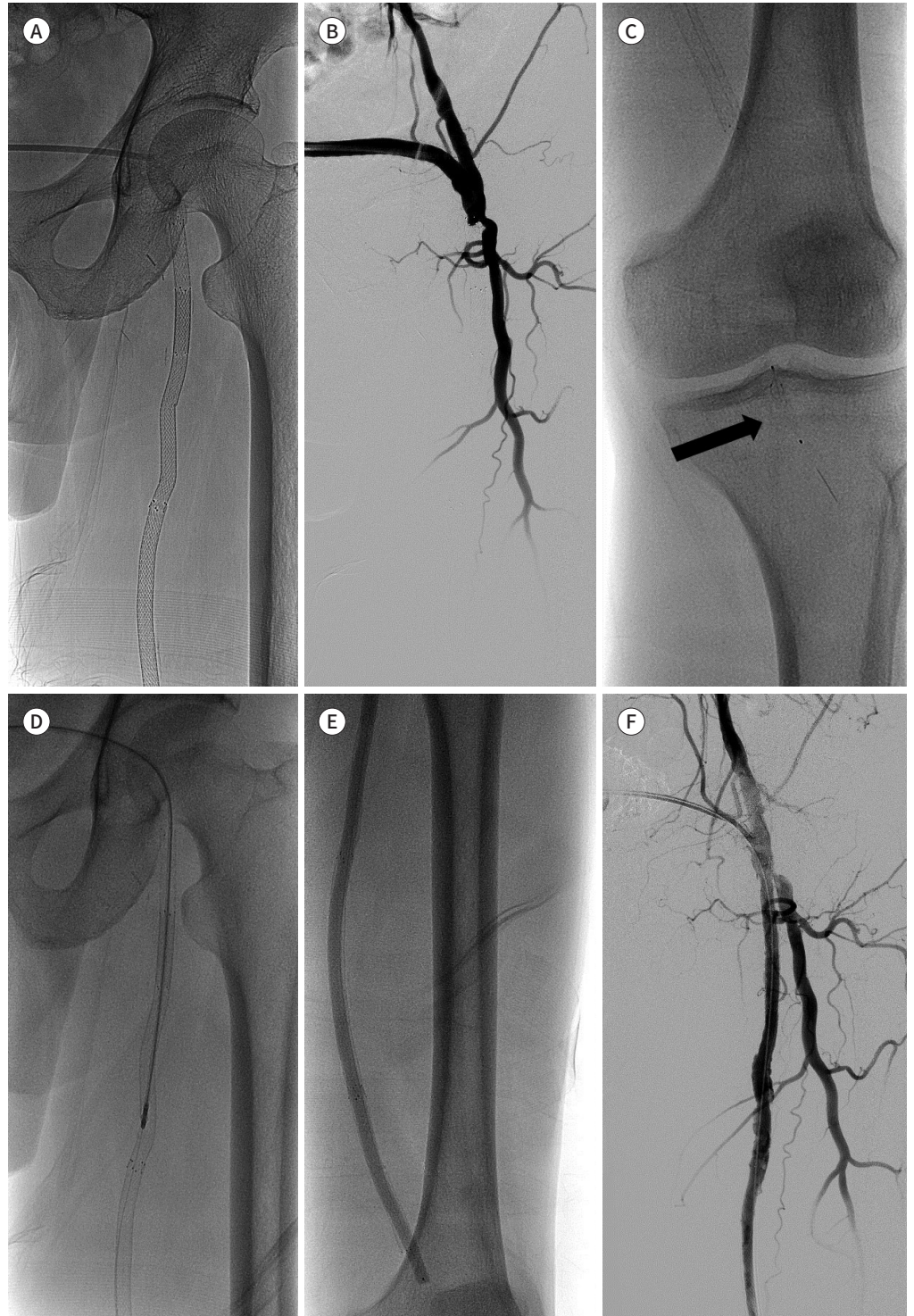
일반적인 넙다리동맥 질환을 앓고 있는 167명의 환자에서 PTA와 잠정적 스텐트 설치를 결합한 죽종절제술 후 장기적인 결과를 보고한 비교적 대규모의 후향적 연구에선 죽종절제술과 PTA를 병행한 환자는 PTA만 시행한 군에 비해 개통률이 현저히 높았으며(30), 이는 이들 환자에서 죽종절제술이 이점을 가진다는 것을 의미한다.

241명의 넙다리오금 병변 환자를 대상으로 한 rotational atherectomy 장치의 안전성과 효능에 대한 또 다른 연구에서 98.3%의 기술 성공률과 1년 후 높은 TLR 무관 비율(82%)을 보였으며, 현저히 낮은 기술 합병증 비율(1.1% 원위 색전)을 보고하였다(31). 그러나 다른 유사한 연구에서 더 높은 비율의 원위 색전(8%)이 발생하고 이는 원위부 색전방지 기구를 사용할 때 2%까지 줄어든다고 보고한 연구(32)가 있기에, 원위부 색전방지 기구를 쓰지 않았음에도 불구하고 1% 수준의 원위 색전은 비정상적으로 낮은 수치로 생각된다.

상기한 DAART 개념과 비슷한 rotational atherectomy 후 DCB 치료의 안정성과 효용성을 소

**Fig. 3.** A case of atherectomy of long in-stent occlusive lesion of left superficial femoral artery in a 63-year-old male patient.

- A.** Initial spot image demonstrates previously inserted stent from left superficial femoral artery orifice.
- B.** Initial digital subtraction angiography shows complete occlusion of stent inserted lesion
- C.** Spot image shows distally placed 7 mm Spider™ filter (arrow) to protect distal emboli.
- D.** Rotational atherectomy was performed using Jetstream™ XC 2.4 mm catheter.
- E.** Captured fluoroscopic image demonstrates drug coated balloon angioplasty as an anti restenotic therapy.
- F.** Final angiographic result shows completely recanalized instent restenotic lesions.



개한 연구에서는 총 81명의 환자를 대상으로 rotational atherectomy와 DCB의 병행 치료와 일반 치료를 비교하였는데, 18개월 추적 결과 91%의 환자에서 TLR이 없었기에, 63.7%를 보인 대조군에 비해 우월함을 보고하였다(33).

국내에서는 rotational atherectomy 장치가 directional atherectomy에 비해 스텐트 내 재협착(instant re-stenosis; 이하 ISR)에서 많이 쓰이는 편이다. ISR에서의 안전성과 효용성에 대한 여러 연구가 있는데 가장 최근의 연구만 살펴보면 29명의 환자를 대상으로 시행한 전향적 연구에서 모든 증례에서 스텐트 골절이나 변형은 일어나지 않았다고 보고했고(34) 60명의 환자를 대상으로 6, 12개월 추적 검사상 TLR이 없을 확률은 각각 89.3%, 66.8%였으며, 개통률은 77.5%, 51.7%를 보였다(35).

## Hybrid Atherectomy

105명의 환자를 대상으로 시행한 전향적 다기관 연구를 통해 안정성과 효용성을 확인한(36) Phoenix Atherectomy™ (Philips, San Diego, CA, USA)가 있다. 두 죽종 제거 방식의 장점을 조합한 만큼, PAD 환자 치료에 있어서 향후 더 다양한 선택이 가능해질 것으로 기대한다.

## 죽종제거술의 합병증과 한계

죽종제거술과 관련된 합병증 발생은 병변의 길이가 길어질수록 유의미하게 증가한다고 보고되고 있으며(37) 그 종류는 혈관 박리, 파열, 가성동맥류 형성, 원위 색전 등 기존의 PTA와 대동소이하다.

죽종제거술에 관한 연구가 굉장히 많고 각각의 장치와 연관된 연구마다 일반적인 PTA보다 성적이 좋다고 결과가 거의 비슷한 편이지만, 각각의 장치를 비교한 연구는 전무하고, 2년 이상의 장기 결과 결과를 보고한 연구도 거의 없다. 죽종제거술 과정에서 발생하는 외막 손상이 오히려 신생혈관내막 비후를 촉진시킨다는 연구도 있으며, 심지어 최근 발표된 체계적 문헌 고찰(38)에서는 죽종제거술이 일반적인 PTA와 비교했을 때 어떠한 장점도 없다고 말하고 있기도 하다.

## 결론

혈관 내 죽종절제술은 PAD에서 plaque 제거를 위한 새로운 기술로 부상했으며, 기존의 외과적 내막 절제술과 비슷한 조직 제거의 이점과 최소 침습성 경피적 치료의 이점을 제공한다. 혈관벽의 손상 없이 내강 이득을 제공하고 후속 혈관 성형술 동안 균질한 풍선 확장을 가능케 하므로, 해부학적, 혈관의 구조적 위험을 감소시켜 스텐트 설치의 필요성을 없애고 장기적으로 내막 증식 위험을 줄일 수 있다.

하지만 기존의 치료와 비교했을 때 큰 이점이 없다는 보고도 적지 않으므로, 환자 선택에 신중을 기해야 하며 임상적으로 의미 있는 결과를 보여줄 대규모 후속 연구가 필요하다.



### Author Contributions

Conceptualization, K.Y., K.J., W.J.; data curation, K.Y., K.J., W.J., K.S.H., K.J.; formal analysis, K.Y.; funding acquisition, K.Y.; investigation, K.Y., K.J., W.J.; methodology, K.Y., K.J.; project administration, K.Y.; resources, K.Y., K.J., W.J.; software, K.Y., K.J., W.J.; supervision, K.J., W.J.; validation, K.Y., K.J., W.J.; visualization, P.S.; writing—original draft, K.Y.; and writing—review & editing, K.Y.

### Conflicts of Interest

The authors have no potential conflicts of interest to disclose.

### Funding

None

### REFERENCES

1. Pande RL, Perlstein TS, Beckman JA, Creager MA. Secondary prevention and mortality in peripheral artery disease: National Health and Nutrition Examination Study, 1999 to 2004. *Circulation* 2011;124:17-23
2. Yu JH, Hwang JY, Shin MS, Jung CH, Kim EH, Lee SA, et al. The prevalence of peripheral arterial disease in Korean patients with type 2 diabetes mellitus attending a university hospital. *Diabetes Metab J* 2011;35:543-550
3. Lim S, Kim DJ, Jeong IK, Son HS, Chung CH, Koh G, et al. A nationwide survey about the current status of glycemic control and complications in diabetic patients in 2006: The Committee of the Korean Diabetes Association on the Epidemiology of Diabetes Mellitus. *Korean Diabetes J* 2009;33:48-57
4. Son JY, Kim GY, Lee JY, Kim DH. Prevalence of peripheral arterial disease (PAD) used by edinburgh claudication questionnaire among the elderly people in rural communities. *J Prev Med Public Health* 1995;28:364-372
5. Fontaine R. Surgical treatment of peripheral circulation disorders. *Helv Chir Acta* 1954;21:499-533
6. Rutherford RB, Baker JD, Ernst C, Johnston KW, Porter JM, Ahn S, et al. Recommended standards for reports dealing with lower extremity ischemia: revised version. *J Vasc Surg* 1997;26:517-538
7. Mills JL Sr, Conte MS, Armstrong DG, Pomposelli FB, Schanzer A, Sidawy AN, et al. The society for vascular surgery lower extremity threatened limb classification system: risk stratification based on wound, ischemia, and foot infection (WIFI). *J Vasc Surg* 2014;59:220-234.e1-2
8. Jneid H, Anderson JL, Wright RS, Adams CD, Bridges CR, Casey DE Jr, et al. 2012 ACCF/AHA focused update of the guideline for the management of patients with unstable angina/non-ST-elevation myocardial infarction (updating the 2007 guideline and replacing the 2011 focused update): a report of the American College of Cardiology Foundation/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines. *J Am Coll Cardiol* 2012;60:645-681
9. Dake MD, Scheinert D, Tepe G, Tessarek J, Fanelli F, Bosiers M, et al. Nitinol stents with polymer-free paclitaxel coating for lesions in the superficial femoral and popliteal arteries above the knee: twelve-month safety and effectiveness results from the Zilver PTX single-arm clinical study. *J Endovasc Ther* 2011;18:613-623
10. Laird JR, Katzen BT, Scheinert D, Lammer J, Carpenter J, Buchbinder M, et al. Nitinol stent implantation versus balloon angioplasty for lesions in the superficial femoral artery and proximal popliteal artery: twelve-month results from the RESILIENT randomized trial. *Circ Cardiovasc Interv* 2010;3:267-276
11. Schillinger M, Sabeti S, Dick P, Amighi J, Mlekusch W, Schlager O, et al. Sustained benefit at 2 years of primary femoropopliteal stenting compared with balloon angioplasty with optional stenting. *Circulation* 2007;115:2745-2749
12. Caradu C, Lakhliji E, Colacchio EC, Midy D, Bérard X, Poirier M, et al. Systematic review and updated meta-analysis of the use of drug-coated balloon angioplasty versus plain old balloon angioplasty for femoropopliteal arterial disease. *J Vasc Surg* 2019;70:981-995.e10
13. Dick P, Wallner H, Sabeti S, Loewe C, Mlekusch W, Lammer J, et al. Balloon angioplasty versus stenting with nitinol stents in intermediate length superficial femoral artery lesions. *Catheter Cardiovasc Interv* 2009;74:1090-1095
14. Vroegindeweij D, Vos LD, Tielbeek AV, Buth J, vd Bosch HC. Balloon angioplasty combined with primary stenting versus balloon angioplasty alone in femoropopliteal obstructions: a comparative randomized

- study. *Cardiovasc Intervent Radiol* 1997;20:420-425
15. Dake MD, Ansel GM, Jaff MR, Ohki T, Saxon RR, Smouse HB, et al. Durable clinical effectiveness with paclitaxel-eluting stents in the femoropopliteal artery: 5-year results of the Zilver PTX randomized trial. *Circulation* 2016;133:1472-1483
  16. Rocha-Singh KJ, Zeller T, Jaff MR. Peripheral arterial calcification: prevalence, mechanism, detection, and clinical implications. *Catheter Cardiovasc Interv* 2014;83:E212-E220
  17. Korosoglou G, Lichtenberg M, Celik S, Andrassy J, Brodmann M, Andrassy M. The evolving role of drug-coated balloons for the treatment of complex femoropopliteal lesions. *J Cardiovasc Surg (Torino)* 2017;59:51-59
  18. Loffroy R, Chevallier O, Falvo N, Gehin S, Midulla M, Galland C. Combined HawkOne directional atherectomy and paclitaxel-coated balloon angioplasty for isolated calcified popliteal artery lesion: a no-stent approach to lower extremity endovascular revascularization. *Quant Imaging Med Surg* 2018;8:364-367
  19. Shammas NW, Coiner D, Shammas GA, Dippel EJ, Christensen L, Jerin M. Percutaneous lower-extremity arterial interventions with primary balloon angioplasty versus Silverhawk atherectomy and adjunctive balloon angioplasty: randomized trial. *J Vasc Interv Radiol* 2011;22:1223-1228
  20. McKinsey JF, Zeller T, Rocha-Singh KJ, Jaff MR, Garcia LA; DEFINITIVE LE Investigators. Lower extremity revascularization using directional atherectomy: 12-month prospective results of the DEFINITIVE LE study. *JACC Cardiovasc Interv* 2014;7:923-933
  21. Garcia LA, Jaff MR, Rocha-Singh KJ, Zeller T, Bosarge C, Kamat S, et al. A comparison of clinical outcomes for diabetic and nondiabetic patients following directional atherectomy in the DEFINITIVE LE Claudicant cohort. *J Endovasc Ther* 2015;22:701-711
  22. Rastan A, McKinsey JF, Garcia LA, Rocha-Singh KJ, Jaff MR, Noory E, et al. One-year outcomes following directional atherectomy of infrapopliteal artery lesions: subgroup results of the prospective, multicenter DEFINITIVE LE trial. *J Endovasc Ther* 2015;22:839-846
  23. Rastan A, McKinsey JF, Garcia LA, Rocha-Singh KJ, Jaff MR, Harlin S, et al. One-year outcomes following directional atherectomy of popliteal artery lesions: subgroup analysis of the prospective, multicenter DEFINITIVE LE trial. *J Endovasc Ther* 2018;25:100-108
  24. Roberts D, Niazi K, Miller W, Krishnan P, Gammon R, Schreiber T, et al. Effective endovascular treatment of calcified femoropopliteal disease with directional atherectomy and distal embolic protection: final results of the DEFINITIVE Ca<sup>++</sup> trial. *Catheter Cardiovasc Interv* 2014;84:236-244
  25. Zeller T, Langhoff R, Rocha-Singh KJ, Jaff MR, Blessing E, Amann-Vesti B, et al. Directional atherectomy followed by a paclitaxel-coated balloon to inhibit restenosis and maintain vessel patency: twelve-month results of the DEFINITIVE AR study. *Circ Cardiovasc Interv* 2017;10:e004848
  26. Tepe G, Zeller T, Albrecht T, Heller S, Schwarzwälder U, Beregi JP, et al. Local delivery of paclitaxel to inhibit restenosis during angioplasty of the leg. *N Engl J Med* 2008;358:689-699
  27. Cioppa A, Stabile E, Saleme L, Popusoi G, Pucciarelli A, Iacovelli F, et al. Combined use of directional atherectomy and drug-coated balloon for the endovascular treatment of common femoral artery disease: immediate and one-year outcomes. *EuroIntervention* 2017;12:1789-1794
  28. Zeller T, Krankenberg H, Steinkamp H, Rastan A, Sixt S, Schmidt A, et al. One-year outcome of percutaneous rotational atherectomy with aspiration in infrainguinal peripheral arterial occlusive disease: the multicenter pathway PVD trial. *J Endovasc Ther* 2009;16:653-662
  29. Sixt S, Rastan A, Scheinert D, Krankenberg H, Steinkamp H, Schmidt A, et al. The 1-year clinical impact of rotational aspiration atherectomy of infrainguinal lesions. *Angiology* 2011;62:645-656
  30. Mehta M, Zhou Y, Paty PS, Teymouri M, Jafree K, Bakhtawar H, et al. Percutaneous common femoral artery interventions using angioplasty, atherectomy, and stenting. *J Vasc Surg* 2016;64:369-379
  31. Gray WA, Garcia LA, Amin A, Shammas NW; JET Registry Investigators. Jetstream Atherectomy System treatment of femoropopliteal arteries: results of the post-market JET Registry. *Cardiovasc Revasc Med* 2018;19:506-511
  32. Banerjee A, Sarode K, Mohammad A, Brilakis ES, Banerjee S, Shammas GA, et al. Safety and effectiveness of the Nav-6 filter in preventing distal embolization during jetstream atherectomy of infrainguinal peripheral artery lesions. *J Invasive Cardiol* 2016;28:330-333
  33. Shammas NW, Shammas GA, Jones-Miller S, Shammas WJ, Bou-Dargham B, Shammas AN, et al. Long-term outcomes with Jetstream atherectomy with or without drug coated balloons in treating femoropopliteal arteries: a single center experience (JET-SCE). *Cardiovasc Revasc Med* 2018;19:771-777

34. Shammass NW, Shammass GA, Banerjee S, Popma JJ, Mohammad A, Jerin M. JetStream rotational and aspiration atherectomy in treating in-stent restenosis of the femoropopliteal arteries: results of the JETSTREAM-ISR feasibility study. *J Endovasc Ther* 2016;23:339-346
35. Shammass NW, Petruzzi N, Henao S, Armstrong EJ, Shimshak T, Banerjee S, et al. JetStream atherectomy for the treatment of in-stent restenosis of the femoropopliteal segment: one-year results of the JET-ISR study. *J Endovasc Ther* 2021;28:107-116
36. Davis T, Ramaiah V, Niazi K, Martin Gissler H, Crabtree T. Safety and effectiveness of the Phoenix Atherectomy System in lower extremity arteries: early and midterm outcomes from the prospective multicenter EASE study. *Vascular* 2017;25:563-575
37. Azar Y, DeRubertis B, Baril D, Woo K. Atherectomy-associated complications in the southern california vascular outcomes improvement collaborative. *Ann Vasc Surg* 2018;49:241-246
38. Wardle BG, Ambler GK, Radwan RW, Hinchliffe RJ, Twine CP. Atherectomy for peripheral arterial disease. *Cochrane Database Syst Rev* 2020;9:CD006680

## 말초동맥질환에서의 죽종절제술: 현재와 미래

권요한<sup>1</sup> · 김진우<sup>1\*</sup> · 원제환<sup>1</sup> · 김성호<sup>1</sup> · 김정은<sup>1</sup> · 박성준<sup>2</sup>

죽종절제술은 당뇨병과 만성콩팥병증 등에 의해 발생하는 말초동맥질환에서 유망한 치료법이다. 죽종절제술은 기계적 방법을 통해 죽종 조직을 제거하여 혈관의 내경을 확대하는 것을 말한다. 방법의 특성상 주로 경피적 미세 침습 접근 방식에 국한하여 통용되는 용어이며, 현재 한국에서 사용 가능한 죽종절제술 장치는 두 가지가 있다. 죽종절제술이 성행하면서 “혈관 준비”라는 개념과 “아무것도 남기지 않기”라는 새로운 치료 개념이 대두되었다. 다양한 연구들이 죽종제거술의 안전성과 효용성을 증명하고 있지만 그 한계도 존재하므로, 환자 선택에 신중을 기할 필요가 있고 후속적인 대규모의 연구가 필요하다.

<sup>1</sup>아주대학교병원 영상의학과,

<sup>2</sup>고려대학교 안산병원 영상의학과