

제 4 신전구획동맥 혈관부착 골 이식술을 이용한 키엔벡 질환의 치료: 예비 결과

가톨릭대학교 의과대학 정형외과학교실

강수환 · 김형민 · 정창훈 · 이상욱 · 이강욱 · 박일중

— Abstract —

The Treatment for Kienböck's Disease using the Fourth Extensor Compartment Artery Vascularized Bone Graft: Preliminary Results

Soo-Hwan Kang, MD, Hyung-Min Kim, MD, Changhoon Jeong, MD,
Sang-Uk Lee, MD, Kang-Wook Lee, MD, Il-Jung Park, MD

Department of Orthopaedic Surgery, The Catholic University of Korea, Seoul, Korea

Lunate revascularization with the vascularized bone grafts is a current concept in the treatment of Kienböck disease. The aim of this study is to present our experience and preliminary results of the treatment using the fourth extensor compartment artery (4 ECA) vascularized bone graft for Kienböck disease.

Between May 2009 and June 2010, five patients (3 men and 2 women) with Kienböck disease were treated with 4 ECA vascularized bone grafts. The mean age was 32.8 years and mean follow-up time was 13 months. The patients were composed of two patients in stage II and three patients in stage IIIa according to Lichtman's classification. Modified Mayo wrist score including pain, grip strength, range of motion and functional status and radiographic parameters such as carpal height ratio and radioscapoid angle were evaluated at a final follow-up.

Pain was markedly diminished and modified Mayo wrist score was 82 at last follow up period. There were no or little changes in carpal height ratio and radioscapoid angle. All patients showed satisfactory bony union and no further lunate collapse on follow-up radiographs.

The 4 ECA vascularized bone graft is a reliable alternative procedures among revascularization procedures for treatment of Kienböck's disease. It is less invasive and has low risk of kinking of pedicle compared to the 4+5 ECA vascularized bone graft. However, long term follow-up and MRI evaluation at follow up period should be needed for the future.

Key Words: Lunate, Revascularization, Vascularized bone graft, Fourth extensor compartment artery, Kienböck disease

※통신저자: 박 일 중

경기도 부천시 원미구 소사동

가톨릭대학교 의과대학 부천성모병원 정형외과

Tel: 032-340-7034, Fax: 032-340-2671, E-mail: jikocmc@naver.com

서 론

키엔백 질환(Kienböck's disease)은 월상골에 발생하는 무혈성 괴사로, 치료를 하지 않을 경우 점진적으로 월상골의 붕괴가 진행되어 결국 요주상 관절 및 중수근 관절에 관절염을 초래하며^{1,2} 임상적으로는 수근관절의 통증, 운동 제한, 파악력의 감소를 가져온다. 이 질환의 원인에 대해서는 아직 명확하게 밝혀지지 않았지만, 기존의 약한 혈류를 가진 월상골에 반복적인 외상이 작용하여 이로 인한 순환 장애가 원인일 것이라는 가설과^{3,4} 척골 음성 변이(ulnar negative variance)로 인해 월상골에 가해지는 전단력이 증가되어 월상골의 붕괴가 발생할 것이라는 가설이 있다⁵. 최근에는 어느 한가지 원인에 의해서가 아니라 환자의 직업이나 활동도에 따라 여러 원인이 복합적으로 작용하여 월상골에 무혈성 괴사가 발생한다는 의견이 힘을 받고 있다⁶.

키엔백 질환에 대한 다양한 치료 방법이 제시되어 왔지만 아직 확립된 원칙은 없으며, 주로 환자의 증상, 병기, 술자의 선호도 등에 따라 치료 방법이 달라진다. 일반적으로 Lichtman 병기 IIIb 이상의 진행된 상태에서는 이미 괴사된 월상골을 살리는 것이 무의미하기 때문에 구제술을 시행하는 것이 보편적이지만, 초기의 키엔백 질환에서는 요골 단축술이나 척골 연장술 등의 관절 높이 조정

술(joint leveling procedure)을 통해 월상골에 가해지는 압력을 줄이거나 혈관부착 골 이식술로 월상골의 재혈관화를 도모하는 방법이 선호된다. 혈관부착 골 이식을 이용한 월상골의 재혈관화는 감소된 골간 내 혈류를 회복시켜 질병의 진행을 억제하고 월상골의 붕괴를 방지하는 것으로 알려져 있으며, 최근까지 여러 저자들에 의해 다양한 형태의 술식이 소개되고 있다⁷⁻¹³. 특히 제 4+5 신전구획동맥 혈관부착 골 이식술은 1998년 Shin 등¹⁴이 처음 보고한 이래 많은 저자들에 의해 그 우수성이 밝혀지면서 초기 키엔백 질환의 치료에 많이 이용되고 있다. 제 4+5 신전구획 동맥은 혈관의 직경이 크고, 변이가 적으며, 길이가 길고, 혈관이 수근부의 척추에 위치하고 있어 관절 절개를 시행할 때 손상의 위험이 적다는 장점이 있다. 또한 수근관절의 안정성을 유지시키는 요수부 인대를 절단하지 않아도 되는 장점이 있다^{9,15,16}. 하지만 유경의 길이가 길기 때문에 상대적으로 긴 수술 절개를 필요로 하며 유경의 꼬임(kinking) 위험성이 있다. 이에 반해 제 4 신전구획동맥 혈관부착 골 이식술은 제 4+5 신전구획동맥 혈관부착 골 이식술의 많은 장점을 가지면서도 비교적 적은 절개로 수술이 가능하여 덜 침습적이고, 유경의 꼬임 가능성이 적으면서도 월상골로 이식하기에 충분한 길이의 유경을 얻을 수 있다(Fig. 1). 이에 저자들은 제 4 신전구획동맥 혈관부착 골 이식술을 시행한 초기 경

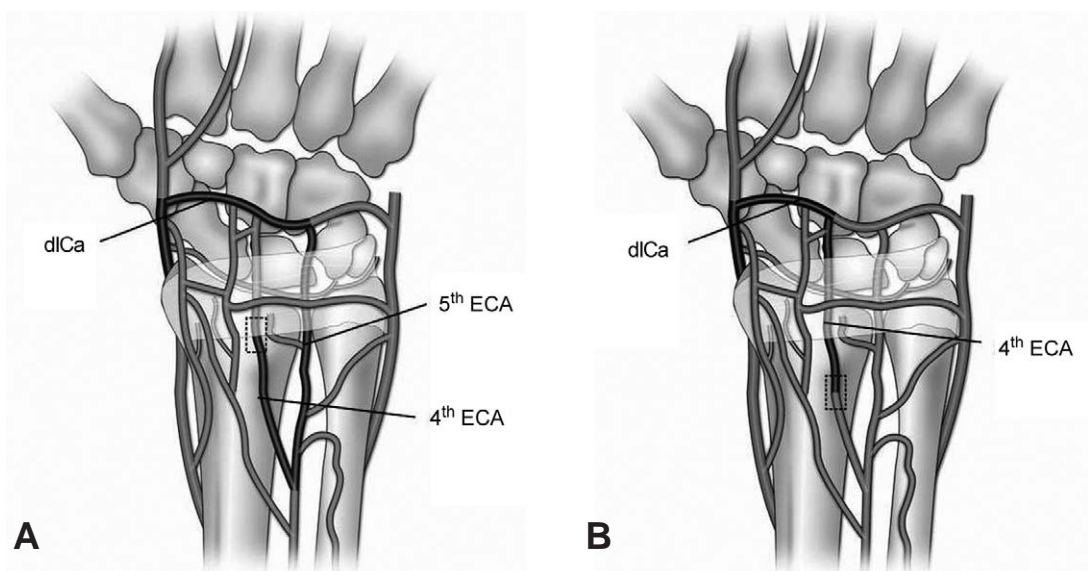


Fig. 1. Illustrations of vascularized pedicle bone grafts from the dorsal distal radius demonstrating harvested graft (dot box). **(A)** 4+5 extensor compartment artery (ECA) vascularized bone graft. Retrograde blood flow from the 5th ECA was directed in an antegrade direction into the 4th ECA by ligation of the anterior intraosseous artery. **(B)** 4 ECA vascularized bone graft. The graft was based on 4th ECA with retrograde fashion from the dorsal intercarpal arch. dICa, dorsal intercarpal arch; 4th ECA, 4th extensor compartment artery; 5th ECA, 5th extensor compartment artery.

험을 바탕으로 수근관절의 기능과 방사선학적 평가를 통해 그 유용성을 알아보고자 하였다.

대상 및 방법

2009년 5월부터 2010년 6월까지 키엔백 질환으로 진단된 환자 중 제 4 신전구획동맥 혈관부착 골 이식술을 이용한 월상골의 재혈관화를 시행한 5명의 환자를 대상으로 하였다. 남자가 3예 여자가 2예였고, 수술 당시 평균 나이는 32.8세(20~49세)였으며, 평균 추시 기간은 13개월(9~18개월)이었다. 방사선학적으로 Lichtman 병기 II가 2예 IIIa가 3예였고, 평균 척골 변이는 +0.91 mm (-2.06~+2.48 mm)였다. 임상 증상 및 단순 방사선 검

사에 의해 진단하였으며 모든 환자에서 술 전 자기공명영상을 통해 확인하였다. 임상적 평가는 통증의 정도, 건측과 비교한 파악력, 수근관절의 능동 운동 범위 및 기능적 상태를 고려한 modified Mayo wrist score를 이용하였고, 방사선학적 평가를 위해 수술 전, 후 및 최종 추시시 수근관절 후전면 및 측면 단순 방사선 사진으로 수근 높이 비율(carpal height ratio) 및 요주상각(radioscaphoid angle)을 측정 하였다(Table 1). 또한 최종 추시시 골 유합 및 월상골의 붕괴가 진행되었는지의 여부를 평가하였다. 동반 수술로 요골 단축술이나 척골 연장술을 시행한 예는 없었고, 5예 중 4예에서 8~10주간의 일시적인 주상-유두골 고정(temporary scaphocapitate fixation)을 시행하였다.

Table 1. Preoperative Patient Demographics

Patient number	Age/Sex* (years)	Job	Stage†	Wrist Pain	ROM‡				Grip§	CHR¶	RSA¶
					Flex.	Ext.	RD	UD			
1	49/F	House wife	II	+	50	50	20	30	80%	0.54	48
2	22/M	Army	IIIa	++	40	45	20	30	78%	0.48	54
3	20/M	Army	IIIa	++	30	30	10	10	61%	0.5	50
4	36/F	Labor	IIIa	++	30	30	10	20	75%	0.45	55
5	37/M	Labor	II	+	50	50	20	30	83%	0.51	48

* M: Male, F: Female, †Lichtman's classification, ‡Flex.: Flexion, Ext.: Extension, RD: Radial deviation, UD: Ulnar deviation, §Grip: Grip power (% to unaffected wrist), ¶CHR: Carpal height ratio, ¶RSA: Radioscaphoid angle.

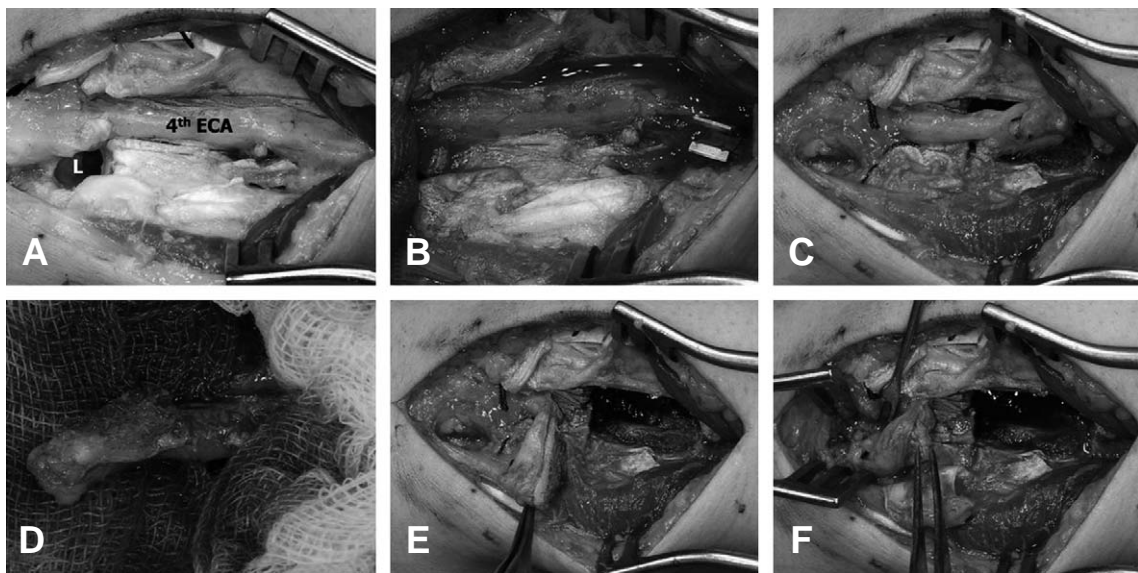


Fig. 2. The surgical procedure. (A) Identification of the fourth extensor compartment artery (4 ECA). (B) The tourniquet was released to check the viability of the pedicle. Note that the proximal portion of the pedicle was clipped. (C) Distally based 4 ECA vascularized bone was elevated. (D) Dissected vascularized graft had a good viability after the tourniquet release. (E, F) Elevated vascularized bone graft was inserted into the lunate.

수술 시기

전신 혹은 액와 마취하에 환자를 앙아위에 눕히고 상완부에 부착한 지혈대에 250 mmHg의 압력을 가하였다. 제 3 중수골 기저부에서 근위부로 손목 후방에 피부 절개를 가한 후 신전 지대를 추후 봉합하기 유리하도록 계단 모양으로 절개하여 제 4 신전구획을 노출하였다. 제 4 신전구획동맥을 확인한 후 이의 주행방향을 고려하여 유경에 손상이 가해지지 않도록 주의하면서 관절낭의 종 절개를 시행하였다. 이후 월상골의 배측에 입구를 만들고 피사된 골 조직을 절삭기와 소파기를 이용하여 제거하였다 (Fig. 2A). 키엔백 질환 환자에서의 월상골은 정상에 비해 전후면 직경이 증가되어 있어 수장측의 피사골이 불충분하게 제거되는 경우가 있으므로 반드시 영상증폭장치를 이용하여 수장측 피질골에 이르기까지 충분히 제거하여야 한다. 이후 제 4 신전구획동맥의 근위부에 클립을 장착하여 유경의 순방향성 혈류를 차단한 상태에서 지혈대를 풀고 유경의 역방향성 혈류를 관찰하였다. 이때 유경의 역방향성 혈류가 정상이라면 관절 절개시 유경이 손상 받지 않았다고 생각하고 수술을 진행하였다(Fig. 2B). 만약 유경의 손상이 의심된다면 절개를 확장하여 제 4+5 신전구획동맥 혈관부착 골 이식술을 계획하였으나 실제로 그러한 경우는 없었다. 요수근 관절의 15 mm 근위부에서 골막을 보존한 채로 제 4 신전구획동맥과 함께 원위부에 기반을 둔 혈관부착 골을 채취하였다(Fig. 2C). 이때 골의 크기는 월상골 결손의 크기를 엄두에 두고 이보다 약간 크게 채취하려고 하였다. 채취한 골에서 출혈을 확인한 후(Fig. 2D) 피사된 부분이 제거된 월상골의 결손부 내에 해면골을 일부 충전하고 이어 결손부 크기에 맞게 다듬은 제 4 신전구획동맥 이식골을 삽입하였다(Fig. 2E, F). 이때 혈관 분지는 배측으로 향하고 피질골이 관절면에 대해 수직으로 위치시켜 재혈관화하는 동안 월상

골 높이가 유지되도록 하였다. 재혈관화 기간 동안 월상골에 하중이 가해지지 않도록 2개의 K-강선으로 주상-유두골을 8~10주간 고정하였다.

결 과

술 후 4예(80%)에서 통증은 완전히 소실 되었고, 나머지 1예에서도 술 전에 비해 상당한 통증의 감소를 보였다. 최종 추시시 수근관절의 평균 운동 범위는 90도 이상이 4명 이었으며, 나머지 1예에서는 60~90도의 범위를 보였다. 술 전 건축과 비교한 파악력은 평균 75.4%에서 술 후 88.6%로 증가 하였으며, 개인적인 사정으로 직업을 전환한 1예를 제외하고는 모두 이전 직업으로의 복귀가 가능하였다. 최종 추시시 modified Mayo wrist score는 82점 이었다. 방사선학적 결과로 수근 높이 비율 및 요주상각은 술 전에 비해 유의한 차이를 보이지 않았다(Table 2). 술 후 자기공명영상을 통한 추시를 시행하지는 못했지만 단순 방사선 소견상 모든 환자에서 더 이상의 월상골의 피사 및 봉괴는 관찰되지 않았으며, 만족할만한 골 유합 소견을 보였다.

증례

20세 남자 환자로 내원 1년 전부터 좌측 수근관절의 통증이 있었으나 별다른 치료 없이 지내다 5개월 전 심한 혼련 이후 증상이 심해져 내원하였다. 환자는 직업 군인이었다. 술 전 수근관절의 운동 범위는 굴곡 30도, 신전 30도, 요사위 10도, 척사위 10도로 제한을 보이고 있었고, 건축과 비교한 파악력은 61%였다. 단순 방사선 소견상 월상골의 경화 및 분절화 소견이 관찰되었으나, 주상골의 회전 변형이나 주위 관절의 관절염은 동반하지 않은 Lichtman 병기 IIIa의 키엔백 질환으로 진단 되었다

Table 2. Postoperative Patient Demographics

Patient number	Age/Sex* (years)	Wrist Pain	ROM†				Grip‡	CHR¶	RSA§	MMWS**
			Flex.	Ext.	RD	UD				
1	49/F	-	40	40	15	25	91%	0.52	50	80
2	22/M	-	30	40	20	30	89%	0.48	55	80
3	20/M	-	55	70	20	30	85%	0.51	51	90
4	36/F	+	20	30	10	10	85%	0.44	54	70
5	37/M	-	40	45	20	25	93%	0.49	48	90

*M: Male, F: Female, †Lichtman's classification, ‡Flex.: Flexion, Ext.: Extension, RD: Radial deviation, UD: Ulnar deviation, §Grip: Grip power (% to unaffected wrist), ¶CHR: Carpal height ratio, §RSA: Radioscaphoid angle, **MMS: Modified Mayo Wrist Score

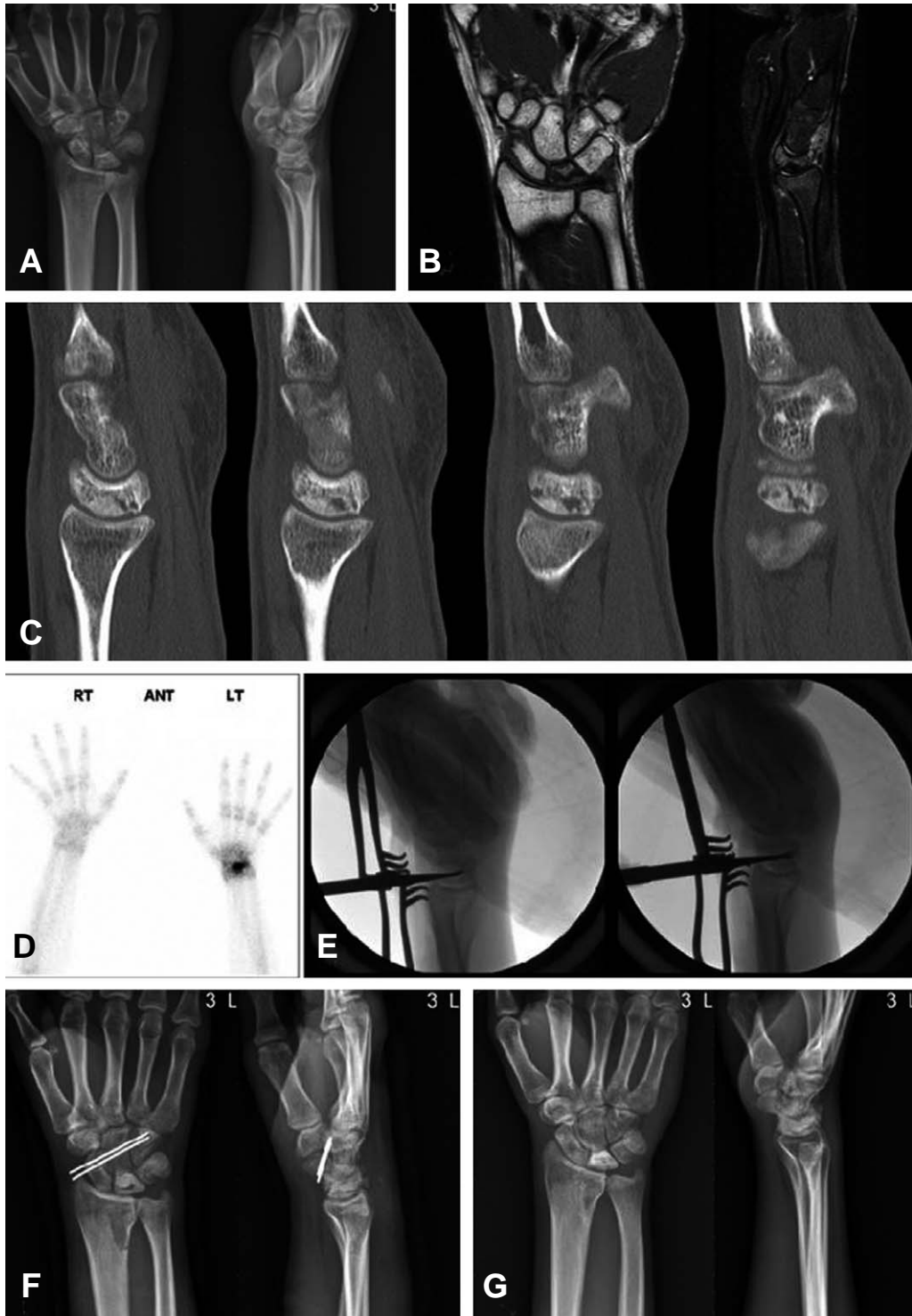


Fig. 3. A 20-year-old male with stage IIIa Kienböck disease of the left wrist. **(A)** Preoperative radiographs showed collapse and fragmentation of the lunate without subluxation of the scaphoid. **(B, C, D)** Preoperative MRI, CT, bone scan showed findings consistent with plain radiographs. **(E)** Under the fluoroscopic guidance, necrotic bone of the lunate was fully removed with a burr and curettes. **(F)** Postoperative radiographs showed temporary fixation of scapho-capitate-hamate bone with two K-wires. **(G)** Radiographs 12 months after surgery showed well maintained carpal height ratio and radio-scaphoid angle without further lunate collapse or arthritic changes.

(Fig. 3A). 자기공명영상, 전산화 단층 촬영 그리고 골 주사 검사 소견에서도 단순 방사선 소견을 뒷받침해 주었다(Fig. 3B-D). 이에 괴사된 월상골을 영상증폭장치를 이용하여 수장측 피질골에 이르기까지 충분히 제거하고(Fig. 3E), 제 4 신전구획동맥 혈관부착 골 이식술을 시행한 후 2개의 K-강선을 이용해 주상-유두-유구 관절을 일시적으로 고정하였다(Fig. 3F). 술 후 12개월 추시상 수근관절의 운동 범위는 굴곡 55도, 신전 70도, 요사위 20도, 척사위 30도였고, 건축과 비교한 파악력은 85%였다. 환자는 술 후 통증을 호소하지 않았으며, 수근 높이 비와 요주상 각은 술 전에 비해 큰 차이 없이 잘 유지되었다(Fig. 3G).

고 찰

키엔백 질환은 단순히 한가지 원인에 의하기 보다는 척골 음성 변이 및 제한된 골간 혈류 공급과 연관되어 있고, 여기에 반복적인 외상으로 혈류 공급이 차단되어 발생하는 것으로 생각되어진다⁶. 그 치료 방법은 매우 다양하고 아직까지 정립된 원칙은 없지만, 주로 병의 진행 정도가 치료 방침을 결정하는데 중요한 요소가 된다. Lichtman과 Degan⁶은 방사선 소견에 따라 이 질환의 단계를 나누었는데, 주상골의 회전 변형이나 주위 수근골의 관절염을 동반하지 않은 비교적 초기의 단계(병기 I, II, IIIa)에서는 월상골에 가해지는 압력을 줄이기 위한 관절 높이 조정술이나 괴사된 골의 재생을 유도하기 위한 재혈관화 술식이 주로 사용된다¹⁷⁻¹⁹.

재혈관화 술식은 월상골로 가는 새로운 혈류를 제공함으로써 무혈성 괴사의 진행을 막고 괴사된 골의 재생을 도와줄 수 있다는 생각에서 비롯되었고, 그 방식에는 크게 혈관을 직접 이식하는 방식과 혈관부착 골을 이식하는 방식이 있다. Hori 등⁷은 제 1 배부 중수골 유경 혈관을 직접 월상골에 이식하여 재혈관화를 도모하였고, Tamai 등⁸은 제 2 또는 제 3 중수골 유경 혈관 이식을 이용하여 초기 키엔백 질환 환자를 치료하였다. 월상골 내에 구멍을 뚫고 그 구멍 내에 박리된 혈관을 넣어주는 방식인 혈관 이식술의 결과들은 증상의 호전과 파악력의 증가를 보였으나, 대체로 월상골의 붕괴를 막지는 못한 것으로 보고되고 있다. 이후 혈관 이식술을 통한 재혈관화와 함께 붕괴되는 월상골을 지지하고 신생골 생성을 촉진하기 위해 해면골 이식을 동시에 시행한 예들도 보고되었으나 이에 대한 장기 추시 결과는 드문 상태이다^{10,20}. 재혈관화 술식 중 혈관부착 골 이식술은 월상골의 혈액 순환을 개선시키고, 사골이 아닌 생골로 괴사 부위를 대체한다는

점에서 이론적으로 가장 적절한 방법으로 생각되어지며, 이에 대한 다양한 혈관부착 골 이식술의 기법과 좋은 결과들이 보고되고 있다^{9,14-16,21-23}.

1995년 Sheetz 등²⁴은 41구의 사체 연구를 통하여 수근관절 주위의 혈관 분포에 대해 기술하면서 새로운 역행성 혈관부착 골 이식술의 가능성을 발표하였다. 이후 Shin 등¹⁴과 Moran 등⁹은 원위 요골의 제 4+5 신전구획동맥 혈관부착 골 이식술을 시행하여 좋은 임상적, 방사선학적 결과를 보고 하였다. 제 4+5 신전구획동맥 혈관부착 골 이식술은 혈관 다발의 직경이 크고, 변이가 적으며, 유경의 길이가 길고, 혈관이 수근부의 척측에 위치하고 있어 관절 절개시 혈관 손상의 위험이 적다는 장점을 가지고 있다^{9,15,16}. 하지만 유경의 길이가 길다는 사실이 반드시 장점이 되지는 않으며, 그 이유로는 이를 위해 상당히 긴 절개가 필요하고, 긴 유경으로 인해 유경이 꼬일 수 있는 위험을 가지고 있기 때문이다.

제 4 신전구획동맥은 변이가 상당히 적으며, 월상골에 이르는 충분한 회전 축을 가지고 있고, 원위 요골의 해면골에 이르는 수많은 영양 동맥(nutrient arteries)을 가지고 있어 이를 이용한 혈관부착 골 이식술은 많은 유용성을 가진다^{14,24}. 제 4 신전구획동맥 혈관부착 골 이식술은 제 4+5 신전구획동맥 혈관부착 골 이식술의 장점을 가지면서도 비교적 적은 절개로 수술이 가능하고, 유경의 꼬임 가능성이 적으면서도 월상골로 이식하기에 충분한 길이의 유경을 얻을 수 있다. 하지만 제 4 신전구획동맥은 상대적으로 수근부의 요측에 위치하고 있으므로 관절 절개시 혈관 손상을 주지 않기 위해 더욱 세심한 주의가 필요할 것으로 사료된다. 실제로 저자들은 수술 시 관절 절개 및 월상골의 괴사된 부위에 대해 소파술을 시행한 후 지혈대를 풀어 제 4 신전구획동맥의 손상 유무를 확인 하였다. 이때 만약 유경의 손상이 의심된다면 절개를 확장하여 제 4+5 신전구획동맥 유경 골 이식술을 계획하였으나 실제로 그러한 경우는 없었다.

혈관부착 골 이식 후 초기 재생 과정시 파골 세포의 활성화에 의해 골의 강도가 떨어져서 월상골의 붕괴가 유발될 수 있고²⁵, 월상골에 가해지는 지속적인 하중에 의해 재혈관화가 방해 받을 수 있어 영구적 수근간 유합술이나 관절 높이 조정술을 동시에 시행할 것을 권유하는 저자들도 있다. 그러나 또 다른 저자들은 K-강선이나 외고정기를 이용한 일시적 고정만으로도 재혈관화 동안 월상골에 가해지는 하중을 충분히 줄일 수 있다고 보고하였다^{9,14}. 저자들 역시 후자의 주장에 동의하는 바이며, 이에 2개의 K-강선으로 주상-유두골을 8~10주간 고정하는 술식을 병행하였다. 최종 추시시 수근 높이 비율 및 요주상각이

술 전에 비해 큰 차이를 보이지 않은 점은 이러한 저자들의 생각을 뒷받침해 준다고 사료된다.

본 연구는 몇 가지 제한점을 가지고 있다. 키엔백 질환은 대개의 경우 서서히 진행되는 경우가 많아 13개월이라는 추시 기간은 그 유용성을 논하기에 매우 짧은 기간이다. 하지만 본 술식은 제 4+5 신전구획동맥 유경 골 이식술의 단점을 극복하고자 이를 변형한 것으로 키엔백 질환에 대한 치료 결과는 이미 발표된 제 4+5 신전구획동맥 유경 골 이식술의 그것과 크게 다르지 않을 것으로 사료된다. 또한 술 후 월상골의 재혈관화 여부와 괴사의 진행 정도를 확인하는데 가장 정확한 방법인 자기공명영상을 통한 추시가 이루어지지 않았다는 제한점이 있다. 따라서 향후 장기간의 추시 기간을 통한 지속적인 연구 및 자기공명영상을 통한 추시가 필요할 것으로 사료된다.

결 론

키엔백 질환에 대한 치료 방법은 매우 다양하고 저자들마다의 이견이 많은 것도 사실이다. 비록 예비 보고이기는 하나 초기의 키엔백 질환에서 제 4 신전구획동맥 혈관부착 골 이식술을 이용한 수술적 치료는 증상의 호전과 질병의 진행을 억제할 수 있는 유용한 방법 중 하나로 사료된다. 하지만 관절 절개시 유경이 손상되지 않도록 세심한 주의가 요하며, 향후 장기간의 추시 및 많은 증례를 포함한 지속적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

REFERENCES

- Kristensen SS, Thomassen E, Christensen F. Kienböck's disease-late results by non-surgical treatment. A follow-up study. *J Hand Surg Br.* 1986; 11: 422-5.
- Beckenbaugh RD, Shives TC, Dobyns JH, Linscheid RL. Kienböck's disease: the natural history of Kienböck's disease and consideration of lunate fractures. *Clin Orthop Relat Res.* 1980; 149: 98-106.
- Jensen CH. Intraosseous pressure in Kienböck's disease. *J Hand Surg Am.* 1993; 18: 355-9.
- Schuind F, Eslami S, Ledoux P. Kienböck's disease. *J Bone Joint Surg Br.* 2008; 90: 133-9.
- Gelberman RH, Salamon P, Jurist JM, Posch JL. Ulnar variance in Kienböck's disease. *J Bone Joint Surg Am.* 1975; 57: 674-6.
- Lichtman DM, Degnan GG. Staging and its use in the determination of treatment modalities for Kienböck's disease. *Hand Clin.* 1993; 9: 409-16.
- Hori Y, Tamai S, Okuda H, Sakamoto H, Takita T, Masuhara K. Blood vessel transplantation to bone. *J Hand Surg Am.* 1979; 4: 23-33.
- Tamai S, Yajima H, Ono H. Revascularization procedures in the treatment of Kienböck's disease. *Hand Clin.* 1993; 9: 455-66.
- Moran SL, Cooney WP, Berger RA, Bishop AT, Shin AY. The use of the 4+5 extensor compartmental vascularized bone graft for the treatment of Kienböck's disease. *J Hand Surg Am.* 2005; 30: 50-8.
- Moneim MS, Duncan GJ. Kienböck's disease: treatment by implantation of vascular pedicle and bone grafting. *Iowa Orthop J.* 1998; 18: 67-73.
- Kakinoki R, Matsumoto T, Suzuki T, Funakoshi N, Okamoto T, Nakamura T. Lunate plasty for Kienböck's disease: use of a pedicled vascularised radial bone graft combined with shortening of the capitate and radius. *Hand Surg.* 2001; 6: 145-56.
- Gabl M, Lutz M, Reinhart C, Zimmerman R, Pechlaner S, Hussl H et al. Stage 3 Kienböck's disease: reconstruction of the fractures lunate using a free vascularized iliac bone graft and external fixation. *J Hand Surg Br.* 2002; 27: 369-73.
- Ozalp T, Yercan HS, Okcu G. The treatment of Kienböck disease with vascularized bone graft from dorsal radius. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2009; 129: 171-5.
- Shin AY, Bishop AT, Berger RA. Vascularized pedicled bone grafts for disorders of the carpus. *Tech Hand Up Extrem Surg.* 1998; 2: 94-109.
- Cheon SJ, Lim JM, Kim HT, Suh JT. Treatment of Kienböck's disease using the 4+5 extensor compartmental vascularized bone grafting procedure: early experience. *J Korean Orthop Assoc.* 2010; 45: 256-63.
- Chung US, Kim KC, Lee KH. 4+5 extensor compartmental vascularized bone graft for stage III Kienböck's disease: Preliminary results. *J Korean Soc Surg Hand.* 2009; 14: 6-11.
- Armistead RB, Linscheid RL, Dobyns JH, Beckenbaugh RD. Ulnar lengthening in the treatment of Kienböck's disease. *J Bone Joint Surg Am.* 1982; 64: 170-8.
- Weiss AP, Weiland AJ, Moore JR, Wilgis EF. Radial shortening for Kienböck's disease. *J Bone Joint Surg Am.* 1991; 73: 384-91.
- Tsunoda K, Nakamura R, Watanabe K, Horii E, Miura T. Changes in carpal alignment following radial osteotomy for Kienböck's disease. *J Hand Surg Br.* 1993; 18: 289-93.
- Bochud RC, B'chler U. Kienböck's disease, early stage 3 height reconstruction and core revascularization of the lunate. *J Hand Surg Br.* 1994; 19: 466-78.
- Arora R, Lutz M, Deml C, Krappinger D, Zimmermann R,

- Gabl M. Long-term subjective and radiological outcome after reconstruction of Kienböck's disease stage 3 treated by a free vascularized iliac bone graft. *J Hand Surg Am.* 2008; 33: 175-81.
22. Daecke W, Lorenz S, Wieloch P, Jung M, Martini AK. Lunate resection and vascularized Os pisiform transfer in Kienböck's disease: an average of 10 years of follow-up study after Saffa's procedure. *J Hand Surg Am.* 2005; 30: 677-84.
23. Lu LJ, Gong X, Wang KL. Vascularized capitate transposition for advanced Kienböck disease: application of 40 cases and their anatomy. *Ann Plast Surg.* 2006; 57: 637-41.
24. Sheetz KK, Bishop AT, Berger RA. The arterial blood supply of the distal radius and ulna and its potential use in vascularized pedicled bone grafts. *J Hand Surg Am.* 1995; 20: 902-14.
25. Aspenberg P, Wang JS, Jonsson K, Hagert CG. Experimental osteonecrosis of the lunate. Revascularization may cause collapse. *J Hand Surg Br.* 1994; 19: 565-9.