

반월연골판 방사형 파열의 최신 지견과 치료 방법

강규태 • 박용범* • 김성환[✉]

중앙대학교 의과대학 중앙대학교병원 정형외과학교실, *중앙대학교 의과대학 중앙대학교광명병원 정형외과학교실

Current Concept and Treatment Options for Radial Tears of the Meniscus

Kyu-Tae Kang, M.D., Yong-Beom Park, M.D., Ph.D.*, and Seong Hwan Kim, M.D., Ph.D.[✉]

Department of Orthopedic Surgery, Chung-Ang University Hospital, Chung-Ang University College of Medicine, *Department of Orthopedic Surgery, Chun-Ang University Gwangmyeong Hospital, Chung-Ang University College of Medicine, Seoul, Korea

Radial tears of the meniscus are caused by axial compressive forces in the anterior-posterior direction and occur frequently in active patients due to trauma. These tears significantly impair the function of the meniscus and accelerate the progression to osteoarthritis, resulting in a poor prognosis. Traditionally, a meniscectomy was primarily performed, but various surgical techniques for meniscal repair have been introduced. Among the surgical methods for radial tears, the all-inside technique, inside-out technique, and rip-stop suture have attracted the most attention. Recently, superior biomechanical results in these techniques have been reported, which might improve the repair outcome, but there is little consensus as to which method is better. Efforts are also being made to use biological treatments as adjunctive therapies to improve the outcomes of radial tear treatment. Methods, such as platelet-rich plasma (PRP), fibrin clot, and collagen matrix wrapping are being studied, and research is underway on the efficacy and safety of these biological treatments. Nevertheless, the level and scope of research are insufficient, necessitating further studies.

Key words: knee, meniscus, radial tear, surgical technique

서론

여러 연골판 파열의 형태 중 반월연골판 방사형 파열(radial tear)은 축성 압박력에 의해 전후 방향으로 벌어지는 힘이 연골판으로 가해지면서 white-white zone 중심으로부터 연골판의 장축에 수직으로 반월연골판의 주변부(red-red zone)로 퍼져 나가는 파열 형태를 말한다.^{1,2)} 외측 반월연골판의 경우 슬와건(popliteus tendon) 및 Wrisberg 인대, Humphrey 인대로 인하여 후방 1/3은 외측 대퇴과에 연결되어 있으므로 파열은 중간

부 및 후각부의 사이에서 주로 일어나게 된다.³⁾ 내측 반월연골판에서는 굴곡 시 대퇴 내과와 경골 고평부 사이에 후각이 감입(impingement)을 일으키게 되며 후각을 경골 고평부에 부착하는 반월연골판 경골 인대(meniscotibial ligament)와 후각의 연결부에 전단력이 집중되게 된다. 이후 반복적인 감입에 의해 내측 반월연골판 후각에 퇴행성 변화가 오게 되거나 갑작스런 대퇴골의 내회전이 발생하게 되면 반월연골판 경골 인대와 후각의 연결부에 방사형 파열이 발생하게 된다.

주로 활동적인 환자들의 외측 반월연골판에서 잘 발생하며 전방십자인대 파열이나 다발성 인대 파열 등의 외상성 동반 손상과 연관되어 있는 경우가 많다고 알려져 있다.⁴⁾ 내측 반월연골판의 방사형 파열은 외상뿐 아니라 퇴행성 파열의 일부로서 발생하는 경우도 있으며, 일부 경골 부착부 파열(root tear)은 넓은 범위에 서의 방사형 파열의 일부로 판단하기도 한다. 이러한 방사형 파

Received August 29, 2023 Revised October 27, 2023 Accepted December 13, 2023

[✉]Correspondence to: Seong Hwan Kim, M.D., Ph.D.

Department of Orthopedic Surgery, Chung-Ang University Hospital, Chung-Ang University College of Medicine, 102 Heukseok-ro, Dongjak-gu, Seoul 06973, Korea

TEL: +82-2-6299-3143 FAX: +82-2-6299-3143 E-mail: ksh170177@nate.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5471-5747>

본 론

열은 원주형 교원질 섬유(circumferential fiber)들을 완전히 파괴하여 연골판의 버팀테 응력(hoop tension) 기능을 파괴함으로써 관절염으로의 진행을 빠르게 하기 때문에 다른 파열 형태에 비하여 예후가 좋지 않다고 알려져 있다.^{5,6)}

2004년 Metcalf와 Barrett⁷⁾에 의해 발표된 연구에 따르면 안정된 슬관절(stable knee)에서 426명의 여성 및 944명의 남성으로 이루어진 총 1,485건의 연골판 파열의 형태를 분석한 결과 환자들의 평균 나이는 46세(13-82)였으며 방사형 파열이 5.3%를 차지하였고 외측 반월연골판의 파열이 내측에 비하여 더 흔한 것으로 보고되었다. 전방십자인대의 파열과 같은 불안정한 슬관절(unstable knee)에서 반월연골판 파열이 동반되어 있을 때 방사형 파열의 비율은 6.7%-8.6%로 안정된 슬관절보다 높은 것으로 알려져 있고, 역시 외측 연골판에서 더 흔한 것으로 보고되고 있다.⁸⁾

반월연골판 파열은 스포츠와 연관되어 흔히 발생하며 통증 및 슬관절의 기능저하를 일으켜 수술적 처치를 요하는 경우가 많다. 과거에는 연골판 절제술을 흔히 시행하였으나, 연골판 절제술 후 관절의 퇴행성 변화가 발생한다는 것이 알려지고 반월연골판이 관절 내에서 충격 흡수(shock absorption), 하중전달(load transmission), 관절윤활 기능(joint lubrication), 관절안정성(joint stability) 등의 중요한 역할들을 한다는 것이 알려지며 연골판 봉합술을 위한 많은 수술들이 이루어지고 있다. 방사형 파열은 체중부하로 인해 파열 부위가 벌어지는 힘을 받을 수 밖에 없어 봉합의 실패율이 높다고 알려져 있으나 최근 연골판 봉합술을 위한 많은 수술 기법이 소개되어 환자들의 만족도 향상 및 장기적 퇴행성 변화를 줄이기 위한 노력들이 이루어지고 있다.⁹⁾

이에 본 종설에서는 반월연골판 방사형 파열의 수술법, 임상적 결과, 생물학적 치료에 대하여 현재까지 보고된 연구들을 바탕으로 정리하고자 한다.

1. 반월연골판 방사형 파열 봉합의 임상 결과

관절경 검사를 이용하여 방사형 파열의 회복을 평가한 여러 연구들에서는 방사형 파열의 봉합 후 회복률을 60%-86%로 보고하고 있다.¹⁰⁻¹²⁾ 자기공명영상(magnetic resonance imaging, MRI)을 이용하여 방사형 파열의 회복을 추시관찰한 연구들에서 부분 회복(partial healing) 이상의 회복을 보이는 경우가 90% 이상으로 보고하고 있으나, 이는 자기공명영상을 통한 추시 관찰의 경우 회복(healing)과 흉터 조직(scar tissue) 그리고 미회복 파열(unhealed tear)에 대한 신호 변화를 명확히 구분하기 어렵기 때문으로 생각된다(Table 1).^{13,14)}

Milliron 등¹⁵⁾이 보고한 체계적 고찰 연구에 의하면, 방사형 파열 봉합 결과를 보고한 모든 연구에서 수술 전에 비하여 수술 후 임상 결과의 향상을 보고 하였다. 6개의 연구에서는 Tegner Activity score를 측정하여 수술 전 1-4점에서 수술 후 4.7-6.7점으로 향상되었다고 보고하였고 이는 방사형 파열의 봉합이 슬관절 기능과 활동성의 회복에 효과적이라는 것을 보여주는 반증이라 할 수 있다.^{10,11,13,15-19)}

하지만 무작위 대조 연구의 부재와 짧은 추시 관찰 기간 등의 한계가 있으며 어떠한 수술 방법이 더 효과적인지에 대한 결론을 내릴 수 없어 추후 추가적인 연구를 필요로 하고 있다. 뿐만 아니라 회복을 평가하는 방법에 따라 그 성공률이 다르게 보고되기 때문에, 회복의 평가 방법의 정립도 필요한 상태이다.^{20,21)}

2. 반월연골판 방사형 파열의 수술법

반월연골판 파열의 수술법은 1962년 Watanabe가 처음 관절경하 연골판 절제술을 시행하면서부터 널리 시행되기 시작하였다.²²⁾ 기계적인 증상들을 줄이고 잠재적으로 남아있는 연골판 섬유(meniscal fibers)를 보존하기 위해 부분 연골판 절제술이 많이 사용되었으나, 관절경 기술의 발전과 더불어 반월연골판의 변연부(red-red zone)까지 연장된 방사형 파열은 버팀테 응력(hoop stress) 기전이 소실되어 하중 부하 기능이 소실되고 관절

Table 1. Reported Healing Rates after Arthroscopic Repair of the Radial Tear are Shown

	Follow-up mean (mo)	Suture technique	Complete healing	Partial healing	Failure	Evaluation method
Song et al. ¹⁰⁾	24	AI repair	9	4	2	Second look arthroscopy
Ra et al. ¹¹⁾	60	IO repair	6	1	0	Second look arthroscopy
Tsuji et al. ¹²⁾	40.8	IO repair AI repair	18	9	3	Second look arthroscopy
Haklar et al. ¹⁴⁾	31	IO double horizontal repair	5	0	0	Second look arthroscopy
Choi et al. ¹³⁾	36.3	AI repair	5	8	1	Second look arthroscopy

AI, all-inside; IO, inside-out.

의 퇴행성 변화를 일으킨다는 사실이 알려지면서 연골판 봉합술을 시행하기 위한 많은 노력들이 이루어 지고 있다. 최근에는 카테바를 이용한 생역학 연구에서 연골판 절제술을 시행하는 경우 방사형 파열을 그대로 두는 것보다 오히려 대퇴-경골 접촉 압력 분포(contact pressure distribution)를 증가시키는 결과를 보여주어 연골판 봉합술 및 반월연골판 회복에 큰 관심이 대두되고 있다.^{8,23)}

방사형 파열을 봉합하기 위한 다양한 수술 방법들이 소개되고 있으나 현재까지 어떠한 방법이 명확하게 우월한 지에 대한 정립된 결론은 없다. 봉합의 방법은 수술적 접근법(all-inside, inside-out and outside-in), 봉합사의 수, 봉합사의 위치 등에 따라 다양하게 분류할 수 있다(Table 2).

전통적으로 방사형 파열의 봉합은 inside-out technique을 이용한 수평 봉합(horizontal stitch)을 이용하여 시행되었다. Inside-out technique은 비교적 쉽게 여러 개의 봉합을 시행할 수 있으나 추가적인 절개를 필요로 하고 위치에 따라 비골신경 손상 등 신경, 혈관 손상을 일으킬 수 있다는 단점이 있다.

최근에는 장비와 수술 기술의 발달로 all-inside technique

도 주목받고 있으며, 생역학적으로 우수하다는 연구들이 제시되고 있다. Beamer 등²⁴⁾은 돼지 연골판을 이용한 생역학 실험에서, 기존의 수평 봉합(horizontal inside-out repair)과 비교하였을 때 수직 봉합(vertical all-inside repair) 방법이 전위가 적고 파괴 하중(load to failure)이 높았으며 더 좋은 강성(stiffness)을 보였다고 보고하였다(Fig. 1A, 1B). Branch 등²⁵⁾은 인간 사체 연골판을 이용한 생역학 실험에서 all-inside repair 방법이 이중 수평 봉합(double horizontal inside-out) 방법에 비하여 파괴 하중 및 강성의 측면에서 우수하였다고 보고하였다. 또한 Alentorn-Geli 등²⁶⁾은 체계적 고찰 연구에서 all-inside technique이 inside-out technique에 비하여 더 우수한 강성을 지닌다고 보고하였다.

Oosten 등²⁷⁾이 분석한 체계적 고찰 연구에서 all-inside repair 방법을 이용한 실험들 중 가장 높은 파괴 하중을 보인 방법은 이중 수직 봉합(all-inside double vertical technique) (146.3 ± 36.2 N)이었다. 이는 봉합사들을 연골판의 원주형 교원질 섬유들과 평행(transverse)하게 위치시킴으로써 수평 봉합(inside-out horizontal repair)에 비하여 더 우수한 생역학적 특징을 가진다고 보고하였다. Matsubara 등²⁸⁾은 교차 봉합(cross-suture repair) 방법이 기존의 이중 수평 봉합(inside-out double horizontal) 방법에 비하여 우수한 역학을 보인다고 보고하였으나, Oosten 등²⁷⁾은 여러 후속 문헌들의 고찰을 통하여 봉합을 시행할 시 교차 봉합(crossing pattern)을 시행하는 것은 큰 이점이 없으며, 교차 봉합(cross-suture) 대신 2개의 변연부 수직 봉합(capsular vertical mattress repair)을 추가하는 “rip-stop” suture에 초점을 맞추는 것이 좋은 결과를 얻을 수 있음을 보고하였다.

“Rip-stop” suture는 Nakata 등²⁹⁾이 2012년 “tie-grip suture”로써 처음 기술한 개념으로, 변연부 수직 봉합(capsular vertical mattress suture)과 수평 봉합(horizontal mattress suture)의 융합 봉합(hybrid fixation) 방법이다. “Hash-tag”,

Table 2. Various Techniques are Introduced According to the Repair Direction, Location and Combination

Inside-out	All-inside
Single horizontal	Single vertical
Double horizontal	Double vertical
4 Horizontal	Double horizontal
Single+double horizontal	Z-configuration
Horizontal butterfly	All-suture
Cross-suture	Suture-anchor hybrid
Hashtag/rebar/tie-grip	4-suture Mason-Allen
Crosstag/modified crosstag	

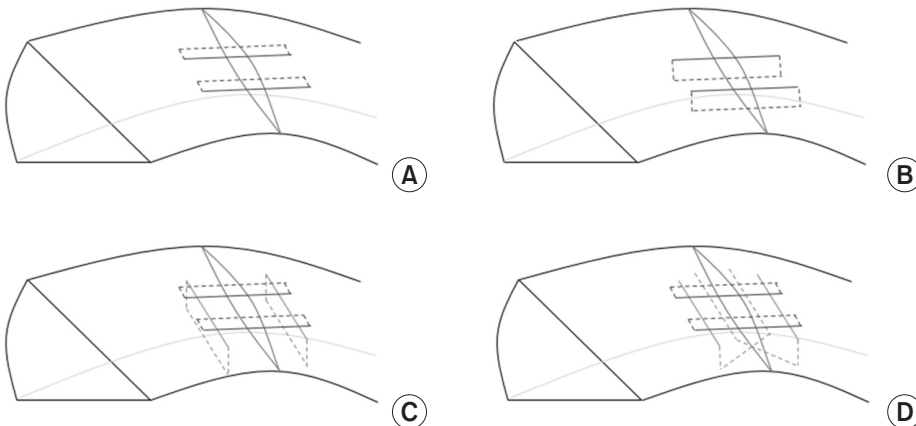


Figure 1. (A) Horizontal inside-out repair. (B) All-inside double vertical. (C) Hash-tag repair. (D) Cross-tag repair.

“cross-tag”, “rebar”, “tie-grip” suture 등으로 다양하게 명칭되는 봉합 방법들이 같은 개념으로 포함되어 있으며, 기존의 수평 봉합에 변연부 수직 봉합을 “rip-stop”의 개념을 추가함으로써 기존의 수평 봉합을 강화하고 봉합사로 인한 연골판 절단(suture cut-out)의 위험을 줄여 회복률을 높일 수 있다고 알려져 있다. Hash-tag technique은 방사형 파열을 중심으로 양쪽으로 1개씩의 변연부 수직 봉합을 시행한 뒤 그 위로 수평 봉합을 추가하여 안쪽과 바깥쪽을 봉합하는 방법으로, tie-grip suture과 유사한 방법이다(Fig. 1C). Stender 등³⁰⁾은 기존의 Matsubara 등²⁸⁾이 발표한 교차 봉합과 hash-tag repair를 비교한 생역학 실험에서 hash-tag technique이 교차 봉합에 비하여 파괴 응력(load to failure) 및 전위(displacement)에서 모두 역학적으로 더 우수함을 발표하였다. 본 저자들 역시 반월연골판의 방사형 파열의 환자에서 hash-tag repair를 사용 중으로, 좋은 봉합 성공률 및 임상 결과들을 보이고 있다(Fig. 2). Massey 등³¹⁾은 “tie-grip suture”와 비슷한 개념의 “rebar repair technique”이 이중 수평 봉합(inside out double horizontal repair) 및 교차 봉합 방식에 비하여 파괴 응력과 전위에서 모두 좋은 결과를 보였고 봉합사로 인한 연골판 절단(suture cutout)이 적었다고 보고하였다. 최근 Nakanishi 등³²⁾은 기존의 “rip-stop” suture를 개량하여 2개의 수직 봉합(vertical mattress suture)을 교차하는 “cross-tie grip” suture technique을 발표하여 역학적으로 우

수한 결과를 보고한 바 있다(Fig. 1D).

하지만 반월연골판 방사형 파열의 봉합술의 경우, 다양한 수술기와 생역학적 결과, 일부 임상 결과가 보고되어 있지만 대부분의 연구가 Case-series 위주의 연구로 근거중심의 결론을 도출하는데 한계점이 많은 상태이다. 따라서 본 종설은 현재까지 알려진 반월연골판 봉합 방법에 대한 소개 및 결과를 요약하고 있어, 추후 높은 근거(level of evidence)의 연구가 필요하며 이에 따라 결과는 달라질 수 있을 것이다.

3. 생물학적 치료

방사형 파열은 파열의 특성상 무혈성 구역(avascular zone)을 침범하기 때문에 치료에 어려움이 있다.³³⁾ 방사형 파열의 치료 결과를 향상시키기 위해 생물학적 치료를 함께 보조 요법으로 사용하고자 하는 노력도 이루어지고 있다.

자가혈치료술(platelet-rich plasma, PRP)은 환자의 혈액에서 추출한 혈소판이 풍부한 혈장을 이용한 치료법이다. 혈소판은 손상된 조직의 회복을 촉진하는 성장 인자(TGF- β 1, PDGF, IGF-1, VEGF 등)와 단백질을 함유하고 있어, 손상된 연골판에 주입함으로써 치유 과정을 가속화할 수 있다.^{34,35)} 9개의 연구를 분석한 체계적 고찰에서 연골판 봉합술과 함께 자가혈치료술을 시행할 경우 시행하지 않은 경우에 비하여 유의미하게 낮은 연골판 회복 실패율 및 수술 후 통증 조절의 향상을 보고하였다(Table 3).³⁵⁻⁴⁰⁾

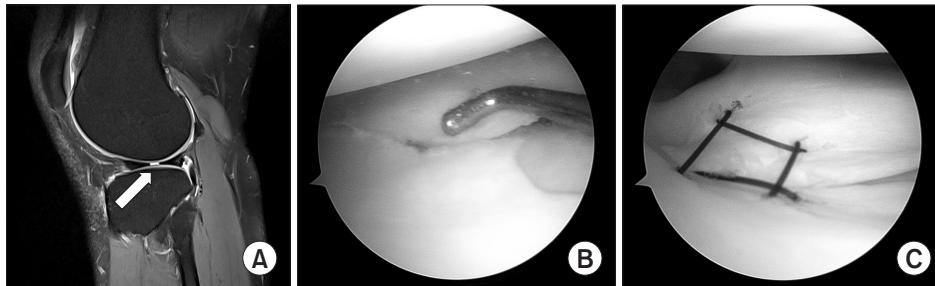


Figure 2. (A) T2-fat suppression sagittal magnetic resonance imaging image of radial tear of lateral meniscus mid-body (arrow). (B) Arthroscopic picture image of radial tear was is shown. A radial tear was was found from the red-red zone to the white-white zone. (C) Meniscus repair was done performed with using the hashtag technique after partial meniscectomy of the white-white zone.

Table 3. Reported Failure Rate and KOOS Pain Score after Augmenting the PRP in Radial Tear are Shown

	Follow up mean (mo)	Failure rate (%)			KOOS pain		
		PRP	Control	p-value	PRP	Control	p-value
Yang et al. ³⁶⁾	33	6.7	12.9	0.874			
Kaminski et al. ³⁷⁾	23	48	70	0.04	87.24±0.36	89.00±0.63	0.22
Everhart et al. ³⁸⁾	36	14.6	17	0.60	3		
Dai et al. ³⁹⁾	20.6	7.1	13.3	0.58	0		
Pujol et al. ⁴⁰⁾	32.2	5.8	11.8	0.54	93.3	78.4	0.046

PRP, platelet-rich plasma; KOOS, knee injury and osteoarthritis outcome score. Cited from the article of Li and Weng (J Orthop Surg Res. 2022;17:446).³⁵⁾

하지만 대다수의 연구가 무작위 대조 연구가 아니므로 현재의 결과에는 한계가 있으며 추가적인 무작위 대조 연구를 필요로 하고 있다.

피브린 혈전(Fibrin clot)은 혈소판이 풍부한 혈장과 섬유소로 이루어진 혈전을 손상 부위에 적용하는 것으로 혈전에 피브린과 성장인자가 포함되어 손상된 조직의 회복을 돕고 세포 이식을 촉진한다.⁴¹⁾

콜라겐 조직 봉합(Collagen matrix wrapping)은 손상된 연골판 주변에 인체 조직과 유사한 기계적 특성을 가지는 생체 재료인 콜라겐 조직(Collagen matrix)으로 감싸는 것으로, 연골판 봉합 후에 콜라겐 조직을 사용하여 연골판을 감싸고 고정하여 자연적인 치유 과정을 돕고 세포의 이식 및 증식을 촉진하는 것으로 알려져 있다. 재료의 안전성과 생체 적합성이 높다는 장점이 있으나 상대적으로 고비용이라는 단점이 있다.⁴²⁾

이러한 생물학적 치료의 효과와 안전성에 대한 여러 연구들이 진행되고 있으나 그 수가 적으며 명확한 적응증이 정해져 있지 않다. 생물학적 치료법을 통한 반월연골판 치료 지침에 대한 더 높은 질의 임상 연구가 필요한 상태이다.

결론

반월연골판의 방사형 파열은 연골판 기능을 파괴하고 관절염의 조기 진행을 일으키기 때문에 적극적인 치료를 필요로 한다. All-inside suture technique, inside-out suture technique, rip-stop suture 등의 다양한 수술기법을 이용한 치료가 시행되고 있으며, 최근에는 rip-stop을 활용한 봉합과 경경골 터널 봉합을 이용한 방사형 파열의 봉합을 통해 좋은 생역학적 결과 및 임상 결과를 보고하고 있다. 자가혈치료술(PRP), 피브린 혈전 등을 병합하는 생물학적 치료에 대한 연구도 이루어지고 있으며 일부 연구결과에서 연골판 회복 및 수술 후 통증 조절에서 유용할 수 있다는 결과가 보고 되고 있지만 무작위 대조 연구의 부재라는 한계점이 있다. 방사형 파열을 치료하기 위해 다양한 수술방법 및 생물학적 치료 방법들이 시도되고 있음에도 여전히 상대적으로 높은 실패율을 보이고 있으며, 이에 대한 추가적인 연구가 필요하다.

CONFLICTS OF INTEREST

The authors have nothing to disclose.

ORCID

Kyu-Tae Kang, <https://orcid.org/0000-0002-8458-0596>
Yong-Beom Park, <https://orcid.org/0000-0002-3741-2311>

Seong Hwan Kim, <https://orcid.org/0000-0001-5471-5747>

REFERENCES

1. Badlani JT, Borrero C, Golla S, Harner CD, Irrgang JJ. The effects of meniscus injury on the development of knee osteoarthritis: data from the osteoarthritis initiative. *Am J Sports Med.* 2013;41:1238-44.
2. Lerer DB, Umans HR, Hu MX, Jones MH. The role of meniscal root pathology and radial meniscal tear in medial meniscal extrusion. *Skeletal Radiol.* 2004;33:569-74.
3. Fox AJ, Wanivenhaus F, Burge AJ, Warren RF, Rodeo SA. The human meniscus: a review of anatomy, function, injury, and advances in treatment. *Clin Anat.* 2015;28:269-87.
4. Bhatia S, LaPrade CM, Ellman MB, LaPrade RF. Meniscal root tears: significance, diagnosis, and treatment. *Am J Sports Med.* 2014;42:3016-30.
5. Wang S, Hase K, Kita S, Ogaya S. Biomechanical effects of medial meniscus radial tears on the knee joint during gait: a concurrent finite element musculoskeletal framework investigation. *Front Bioeng Biotechnol.* 2022;10:957435.
6. Kim JG, Lee DW. Editorial commentary: efforts to heal meniscal radial tears are ongoing. *Arthroscopy.* 2021;37:941-3.
7. Metcalf MH, Barrett GR. Prospective evaluation of 1485 meniscal tear patterns in patients with stable knees. *Am J Sports Med.* 2004;32:675-80.
8. Duchman KR, Westermann RW, Spindler KP, et al. The fate of meniscus tears left in situ at the time of anterior cruciate ligament reconstruction: a 6-year follow-up study from the MOON cohort. *Am J Sports Med.* 2015;43:2688-95.
9. Tsujii A, Amano H, Tanaka Y, et al. Second look arthroscopic evaluation of repaired radial/oblique tears of the mid-body of the lateral meniscus in stable knees. *J Orthop Sci.* 2018;23:122-6.
10. Song HS, Bae TY, Park BY, Shim J, In Y. Repair of a radial tear in the posterior horn of the lateral meniscus. *Knee.* 2014;21:1185-90.
11. Ra HJ, Ha JK, Jang SH, Lee DW, Kim JG. Arthroscopic inside-out repair of complete radial tears of the meniscus with a fibrin clot. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2013;21:2126-30.
12. Tsujii A, Yonetani Y, Kinugasa K, et al. Outcomes more than 2 years after meniscal repair for radial/flap tears of the posterior lateral meniscus combined with anterior cruciate liga-

- ment reconstruction. *Am J Sports Med.* 2019;47:2888-94.
13. Choi NH, Kim TH, Son KM, Victoroff BN. Meniscal repair for radial tears of the midbody of the lateral meniscus. *Am J Sports Med.* 2010;38:2472-6.
14. Haklar U, Kocaoglu B, Nalbantoglu U, Tuzuner T, Guven O. Arthroscopic repair of radial lateral meniscus [corrected] tear by double horizontal sutures with inside-outside technique. *Knee.* 2008;15:355-9.
15. Milliron EM, Magnusson RA, Cavendish PA, Quinn JP, DiBartola AC, Flanigan DC. Repair of radial meniscus tears results in improved patient-reported outcome scores: a systematic review. *Arthrosc Sports Med Rehabil.* 2021;3:e967-80.
16. Anderson L, Watts M, Shapter O, et al. Repair of radial tears and posterior horn detachments of the lateral meniscus: minimum 2-year follow-up. *Arthroscopy.* 2010;26:1625-32.
17. Wu IT, Hevesi M, Desai VS, et al. Comparative outcomes of radial and bucket-handle meniscal tear repair: a propensity-matched analysis. *Am J Sports Med.* 2018;46:2653-60.
18. Cinque ME, Geeslin AG, Chahla J, Dornan GJ, LaPrade RF. Two-tunnel transtibial repair of radial meniscus tears produces comparable results to inside-out repair of vertical meniscus tears. *Am J Sports Med.* 2017;45:2253-9.
19. Gan JZ, Lie DT, Lee WQ. Clinical outcomes of meniscus repair and partial meniscectomy: does tear configuration matter? *J Orthop Surg (Hong Kong).* 2020;28:2309499019887653.
20. Mameri ES, Jackson GR, Gonzalez F, et al. Meniscus radial tears: current concepts on management and repair techniques. *Curr Rev Musculoskelet Med.* 2023;16:182-91.
21. Hamada M, Tsujii A. Editorial commentary: all-inside double-vertical cross-suture is an effective technique for knee meniscus radial tear repair, but there is no gold-standard evaluation tool for evaluating healing and function of the repaired meniscus. *Arthroscopy.* 2022;38:1930-2.
22. Pässler HH, Yang Y. The past and the future of arthroscopy. In: Doral M, ed. *Sports injuries: prevention, diagnosis, treatment and rehabilitation.* Springer; 2012. 5-13.
23. Bedi A, Kelly NH, Baad M, et al. Dynamic contact mechanics of the medial meniscus as a function of radial tear, repair, and partial meniscectomy. *J Bone Joint Surg Am.* 2010;92:1398-408.
24. Beamer BS, Masoudi A, Walley KC, et al. Analysis of a new all-inside versus inside-out technique for repairing radial meniscal tears. *Arthroscopy.* 2015;31:293-8.
25. Branch EA, Milchtein C, Aspey BS, Liu W, Saliman JD, Anz AW. Biomechanical comparison of arthroscopic repair constructs for radial tears of the meniscus. *Am J Sports Med.* 2015;43:2270-6.
26. Alentorn-Geli E, Choi JH, Stuart JJ, et al. Inside-out or outside-in suturing should not be considered the standard repair method for radial tears of the midbody of the lateral meniscus: a systematic review and meta-analysis of biomechanical studies. *J Knee Surg.* 2016;29:604-12.
27. Oosten J, Yoder R, DiBartola A, et al. Several techniques exist with favorable biomechanical outcomes in radial meniscus tear repair-a systematic review. *Arthroscopy.* 2022;38:2557-78.e4.
28. Matsubara H, Okazaki K, Izawa T, et al. New suture method for radial tears of the meniscus: biomechanical analysis of cross-suture and double horizontal suture techniques using cyclic load testing. *Am J Sports Med.* 2012;40:414-8.
29. Nakata K, Shino K, Kanamoto T, et al. New technique of arthroscopic meniscus repair in radial tears. In: Doral MN, ed. *Sports injuries: prevention, diagnosis, treatment and rehabilitation.* Springer; 2012. 305-11.
30. Stender ZC, Cracchiolo AM, Walsh MP, Patterson DP, Wilusz MJ, Lemos SE. Radial tears of the lateral meniscus-two novel repair techniques: a biomechanical study. *Orthop J Sports Med.* 2018;6:2325967118768086.
31. Massey P, McClary K, Parker D, Barton RS, Solitro G. The rebar repair for radial meniscus tears: a biomechanical comparison of a reinforced suture repair versus parallel and cross-stitch techniques. *J Exp Orthop.* 2019;6:38.
32. Nakanishi Y, Hoshino Y, Nagamune K, et al. Radial meniscal tears are best repaired by a modified "cross" tie-grip suture based on a biomechanical comparison of 4 repair techniques in a porcine model. *Orthop J Sports Med.* 2020;8:2325967120935810.
33. Sasaki H, Rothrauff BB, Alexander PG, et al. In vitro repair of meniscal radial tear with hydrogels seeded with adipose stem cells and TGF- β 3. *Am J Sports Med.* 2018;46:2402-13.
34. Ishida K, Kuroda R, Miwa M, et al. The regenerative effects of platelet-rich plasma on meniscal cells in vitro and its in vivo application with biodegradable gelatin hydrogel. *Tissue Eng.* 2007;13:1103-12.
35. Li Z, Weng X. Platelet-rich plasma use in meniscus repair treatment: a systematic review and meta-analysis of clinical studies. *J Orthop Surg Res.* 2022;17:446.

36. Yang CP, Hung KT, Weng CJ, Chen AC, Hsu KY, Chan YS. Clinical outcomes of meniscus repair with or without multiple intra-articular injections of platelet rich plasma after surgery. *J Clin Med*. 2021;10:2546.
37. Kaminski R, Maksymowicz-Wleklik M, Kulinski K, Kozar-Kaminska K, Dabrowska-Thing A, Pomianowski S. Short-term outcomes of percutaneous trephination with a platelet rich plasma intrameniscal injection for the repair of degenerative meniscal lesions. A prospective, randomized, double-blind, parallel-group, placebo-controlled study. *Int J Mol Sci*. 2019;20:856.
38. Everhart JS, Cavendish PA, Eikenberry A, Magnussen RA, Kaeding CC, Flanigan DC. Platelet-rich plasma reduces failure risk for isolated meniscal repairs but provides no benefit for meniscal repairs with anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med*. 2019;47:1789-96.
39. Dai WL, Zhang H, Lin ZM, Shi ZJ, Wang J. Efficacy of platelet-rich plasma in arthroscopic repair for discoid lateral meniscus tears. *BMC Musculoskelet Disord*. 2019;20:113.
40. Pujol N, Salle De Chou E, Boisrenoult P, Beaufils P. Platelet-rich plasma for open meniscal repair in young patients: any benefit? *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2015;23:51-8.
41. Izal I, Ripalda P, Acosta CA, Forriol F. In vitro healing of avascular meniscal injuries with fresh and frozen plugs treated with TGF-beta1 and IGF-1 in sheep. *Int J Clin Exp Pathol*. 2008;1:426-34.
42. Cierniewska-Gorzela K, Bąkowski P, Naczek J, Jakob R, Piontek T. Complex meniscus tears treated with collagen matrix wrapping and bone marrow blood injection: clinical effectiveness and survivorship after a minimum of 5 years' follow-up. *Cartilage*. 2021;13(1_suppl):228S-38S.

대한관절경학회

반월연골판 방사형 파열의 최신 지견과 치료 방법

강규태 • 박용범* • 김성환[✉]

중앙대학교 의과대학 중앙대학교병원 정형외과학교실, *중앙대학교 의과대학 중앙대학교광명병원 정형외과학교실

반월연골판의 방사형 파열은 축성 압박력에 의한 전후 방향의 힘으로 발생하며, 활동적인 환자들에서 외상에 의하여 잘 발생하는 것으로 알려져 있다. 이러한 파열은 반월연골판의 기능을 크게 손상시키며 관절염으로의 진행을 빠르게 하여 장, 단기적인 예후가 좋지 않은 것으로 알려져 있다. 과거에는 연골판 절제술이 주로 시행되었으나, 빠른 관절염의 진행 등 여러 합병증의 위험이 증가되기에, 연골판 봉합술을 위한 다양한 수술기법들이 소개되었다. 방사형 파열의 수술법 중 대표적인 것으로 all-inside suture technique, inside-out suture technique, rip-stop suture 등이 있다. 이런 수술 방법들은 다양한 생역학적으로 좋은 결과를 소개하고 있으나, 어떤 방법이 명확하게 우월한지에 대한 결론은 아직 이루어지지 않았다. 방사형 파열의 치료 결과를 향상시키기 위해 생물학적 제재를 추가로 사용하려는 노력도 이루어지고 있다. 자가혈치료술(platelet-rich plasma, PRP), 피브린 혈전(fibrin clot), 콜라겐 조직 봉합(collagen matrix wrapping) 등의 방법이 연구되고 있으며, 이러한 생물학적 치료의 효과와 안전성에 대한 연구들이 진행되고 있다. 그러나 그 수준과 범위가 아직 충분하지 않아 추가적인 연구가 필요한 상태이다.

색인단어: 슬관절, 반월연골판, 방사형 파열, 수술 방법

접수일 2023년 8월 29일 수정일 2023년 10월 27일 게재확정일 2023년 12월 13일

[✉]책임저자 김성환

06973, 서울시 동작구 흑석로 102, 중앙대학교 의과대학 중앙대학교병원 정형외과학교실

TEL 02-6299-3143, FAX 02-6299-3143, E-mail ksh170177@nate.com, ORCID <https://orcid.org/0000-0001-5471-5747>