

## 관절경적 회전근 개 봉합술: 이열 봉합술 및 교량형 봉합술식

이화여자대학교 의학전문대학원 정형외과학교실

신 상 진\*

### Arthroscopic Rotator Cuff Repair: Double Rows & Suture Bridge Technique

Sang-Jin Shin, M.D.\*

*Department of Orthopaedic Surgery, Ewha Womans University School of Medicine, Seoul, Korea*

Ideal rotator cuff repair is to maintain high fixation strength and minimize gap formation for optimizing the environment of biologic healing of tendon to bone. Among the current repair techniques, the suture bridge technique is superior to single- or double-row repair in ultimate load to failure, gap formation, restoring anatomical footprint and achieving pressurized contact area. The suture bridge technique also minimizes gap formation and has rotational and torsional resistances allowing early rehabilitation. However, despite superior biomechanical characteristics of the suture bridge technique, there is no evidence that these mechanical advantages result in better clinical outcomes. Furthermore, there is no difference in failure rates between the double-row repair and suture bridge techniques. An appropriate repair technique should be determined based on tear size and pattern and tendon quality.

**Key Words:** Rotator cuff repair, Suture bridge technique, Double-row repair

### 서 론

회전근 개 질환에 대한 관심 증가와 의학 기술의 발전으로 회전근 개 파열에 대한 봉합 수술은 독창적인 방법들이 지속적으로 개발되면서 빠르게 발전하고 있다. 그러나 임상적 결과 분석을 통한 수술 방법의 검증 전에 너무나 다양한 수술 방법들이 소개되고 있어 과연 어떤 수술 방법이 회전근 개 파열 복원에 이상적인 방법인지 판단하기 힘든 경우가 많다. 이상적인 회전근 개 봉합술은 봉합 초기 높은 고정 강도로 봉합 부위 건-골간 간격 형성(gap formation)을 최소화시키며,

반복적인 부하에도 견디는 기계적 강도를 나타내어 궁극적으로 건-골 조직의 생물학적 치유(biological healing)를 얻을 수 있는 방법이라고 할 수 있다. 봉합으로 치유된 회전근 개는 임상적으로도 우수한 결과를 나타내어 통증 소실, 운동 범위 증가 및 근력 회복 등을 기대할 수 있다. 회전근 개와 상완골 대결절 부착 부위(footprint)의 생물학적 치유란 손상된 건과 골 사이에 섬유 조직들과 혈관 구조물들이 생성되어 결속력이 생기고 이후 이러한 환경 속에서 교원질이 형성되어 재배치되는 과정을 통해 건과 골이 생역학적으로 강하게 연결 되는 것을 의미한다. 수술 후 이러한 환경이

\*통신저자: 신 상 진

서울특별시 양천구 목6동 911-1

이화여자대학교 의학전문대학원 정형외과학교실

Tel: 02) 2650-5010, Fax: 02) 2642-0349, E-Mail: sjshin622@ewha.ac.kr

성숙되기 전에 견관절 운동 등으로 회전근 개에 강한 부하가 발생하면 불완전한 치유가 발생되며 재파열의 기회 또한 증가시키는 계기가 된다. 그러므로 모든 수술 방법은 이러한 복원된 견과 부착 부위 골 사이의 치유를 촉진시키는 환경을 만들어 주는 동시에 조기 재활 운동시 발생하는 적절한 부하에 저항할 수 있는 강도를 나타내어 우수한 임상 결과 달성과 재파열을 감소를 목표로 하여야 한다.

수술 방법은 개방적 봉합술에서 수술기구 및 재료 발달과 더불어 점차 관절경을 이용한 수술로 발전하였을 뿐 아니라 관절경 수술 방법 또한 봉합 나사못을 이용한 단일 봉합술(single row repair)이나 이열 봉합술(double row repair) 등과 같은 다양한 방법이 소개되고 있다. 최근 개방적 수술에서 주로 사용하였던 경 골 봉합술(transosseous suture technique)과 비슷한 봉합 형태를 관절경을 이용하여 시행하는 교량형 봉합술식(suture bridge technique)도 소개되고 있다. 본 중설은 이러한 여러 수술 방법의 생역학적 특성을 알아보고 각 수술 방법의 비교 및 장단점을 분석하였다.

### 수술 방법의 변화

전통적인 경 골 봉합술은 주로 소절개 후 파열된 회전근 개에 봉합사를 통과시킨 후 경 골 터널을 만들고 이를 이용하여 강한 고정력을 얻은 후 견-골간의 생물학적 치유를 얻는 방식이다. 경 골 봉합술은 우수한 생역학적 특성을 나타내며 견-골간 치유 환경을 만들어 만족할만한 임상적 결과를 보여주었다. 그러나 타 분야에서의 관절경 술기의 발달은 회전근 개 파열에도 관절경 기술을 적용하여 봉합하려는 노력으로 이어지며 꾸준한 시도가 지속되어 왔다. 이후 강한 봉합사의 개발, 개량된 봉합 나사못의 소개와 봉합사를 회전근 개에 통

과시키는 기구들의 발달로 관절경을 이용한 회전근 개 봉합술은 획기적인 발전이 이루어졌다. 관절경을 이용한 단일 봉합술은 봉합 나사못을 견 부착 부위에 위치시킨 후 회전근 개를 봉합하는 방식으로 관절경 술기의 장점들인 수술 후 통증 감소, 미용적인 측면 및 동반 병변 진단과 동시 치료 등으로 환자의 만족도를 높이는 결과를 나타내었다. 그러나 여전히 관혈적 회전근 개 봉합술보다는 강한 고정을 얻기 힘들었으며 재파열을 또한 상당히 높았다. 특히 대파열 이상의 광범위 파열의 경우 70% 이상의 재파열율이 보고되기도 하였다<sup>4,12)</sup>.

회전근 개 파열 봉합술 후 가장 큰 합병증은 봉합 부위 실패로 인한 재파열이다. 재파열을 유발하는 원인들은 크게 회전근 개나 대결절 부착 부위가 불량한 경우, 봉합 나사못이나 매듭 실패로 인한 불안정한 고정 및 견과 골 사이의 치유 실패 등으로 분류할 수 있다. 이중 봉합 나사못 이탈, 봉합사 절단 및 매듭 이완 등의 봉합에 관한 문제들로 인한 회전근 개 봉합 실패는 봉합 나사못의 발달, 고강도 봉합사 및 매듭 기술의 발달 등으로 어느 정도 해결이 가능하게 되었다. 현재 재파열은 대부분 복원된 회전근 개가 대결절 부착부에서 완전 치유되기 전 견-봉합사간의 분리가 발생하는 것을 가장 큰 원인으로 생각하고 있다. 일반적으로 견과 골 조직 사이의 접촉 면적이 넓을수록 치유될 가능성이 많으므로 재파열을 감소에 영향을 미칠 것이라는 전제하에 회전근 개 수술 방법은 회전근 개와 대결절 부착부의 접촉 면적을 극대화시키는 방법들이 연구되고 개발되어 왔다. 그래서 단일 봉합술보다 부착 부위 접촉 면적을 넓히고 강한 고정력을 얻기 위해 고안된 것이 이열 봉합술이다(Fig. 1). 이열 봉합술은 관절면 경계에 봉합 나사못을 위치시켜 내측 열을 만들어 회전근 개를 압박하고 외측 봉합 나사못은 대결절 회전근 개 부착 부위 외측에 위치시켜 외측 열을 형성하여 복원된 견을



Fig. 1. Double row repair.



Fig. 2. Suture bridge technique.

고정하며 건-골간 접촉 면적을 증가시키며 생역학적 치유를 얻는 방식이다. 그러나 이열 봉합술도 수술 후 재파열을 완전히 해결할 수 없었다. 즉 이열 봉합술이 단일 봉합술보다 회전근 개 부착 부위의 접촉 면적을 증가시켜 생역학적 특성들을 개선시켰음에도 불구하고 이열 봉합술도 봉합 이후 건이 부착 부위로 치유가 되는 충분한 환경을 만들어 주지 못한다는 결론이었다.

교량형 봉합술식을 이용한 경 골 봉합술과 대등한 회전근 개 봉합술식(transosseous equivalent repair)의 개발 배경은 건-골 간의 생물학적 치유 환경 개선의 노력으로 이루어졌다(Fig. 2). 이열 봉합술이 회전근 개 부착 부위를 충분히 복원하였음에도 높은 재파열율을 보고함에 따라 단순히 부착 부위 복원보다 치유 환경을 개선할 수 있는 접촉 면적 복원에 초점을 두게 되었다. 주로 슬관절 모델에서 시행된 많은 생역학적 실험들이 건-골 간 치유 과정 중 압력을 적용시킨 환경은 건-골 사이에 직접적인 골교가 형성되어 치유를 촉진시킨다는 결과들을 보고하였다<sup>13,31,32</sup>. 그러므로 회전근 개 봉합에서도 건-골간에 효과적인 압력 접촉 면적(pressurized contact area) 증대를 위한 새로운 수술 방법 개발이 필요하게 되었다. Park 등<sup>22</sup>은 경 골 봉합술이 단일 봉합술에 비하여 복원된 건이 넓은 부착 부위를 나타낼 뿐 아니라 건과 골의 접촉 압력도 높게 측정된다고 하였다. 이러한 봉합사에 의한 압력은 건-골간을 압박하는 힘의 벡터로 작용해 생물학적 치유를 높이는 데 기여할 것이라고 주장하였다. 교량형 봉합술식은 경 골 봉합술을 관절경을 이용하여 수술할 수 있게 응용한 방법으로 여러 개의 봉합 나사못을 회전근 개 부착 부위 내측 경계부에 삽입하여 내측 열을 형성하며 파열된 회전근 개에 봉합사를 통과시킨 후 수평 석상 봉합(horizontal mattress suture)을 하고 매듭을 형성한다. 매듭을 자르지 않고 각 봉합 나사못에서 한 줄씩 봉합사를 모아서 비매듭 봉합 나사못의 한 종류인 Pushlock (Arthrex, Naples, FL)에 연결하여 회전근 개 부착 부위 외측에서 1cm 정도 원위부에 삽입하면 봉합사가 봉합된 회전근 개에 압박력을 주어 어느 정도 경 골 봉합술 효과를 나타낼 수 있도록 한 수술 방법이다. 교량형 봉합술식의 가장 큰 장점은 회전근 개의 접촉 부위에 균등하게 압력을 가해 건-골 치유를 촉진시킬 수 있다는 점이다. 또한 교량형 봉합술식 형태상 매듭 지어진 내측 봉합 나사못의 봉합사들을 대결절 외측에 부착시키므로 봉합사 매듭이 회전근 개 건위로 납작하게 놓게 되어 다른 술식에서 발생할 수 있는 봉합사 매듭에 의한 견봉-오구들기 궁의 자극을 방지할 수 있다. 만성 회전근 개 파열인 경우 파열된 회전근 개 외측에는 마모로 인해 남아 있는 건강한 건 부분이 거의 없는 경우가 많다. 이러한 경우 이열 봉합술

은 내측 봉합 나사못 봉합사와 외측 봉합 나사못의 봉합사를 좁은 건강한 건 부분에 통과시키기에는 어려움이 많다. 그러나 교량형 봉합술식은 회전근 개 외측에 봉합 나사못을 삽입할 필요가 없으므로 내측 봉합 나사못의 봉합사를 남아 있는 건강한 회전근 개 건 부분에 여유 있게 통과시킬 수 있으며, 수술 시간을 단축시킬 수 있다.

## 다양한 수술 방법의 생역학적 비교

### 1. 경 골 봉합술 및 단일 봉합술

봉합 나사못의 개발과 관절경 수술 기구들의 발전으로 회전근 개 파열에 대한 관절경적 단일 봉합술이 개발된 이후 많은 생역학적 연구가 관절경적 경 골 봉합술과 관절경을 이용한 단일 봉합술의 특성을 비교하였다. Apreleva 등<sup>3</sup>은 두 가지 수술 방법으로 극상건 부착 부위를 복원하여 3차원 영상으로 비교한 실험에서 경 골 봉합술은 원래 극상건 부착 부위의 85% 정도를 복원한 반면, 단일 봉합술은 66%의 부착 부위밖에 복원하지 못하여 경 골 봉합술이 더 넓은 범위의 극상건 해부학적 구조를 입체적으로 복원할 수 있다고 주장하였다. 봉합 부위 움직임을 비교한 실험에서도 경 골 봉합술이 단일 봉합술에 비하여 작은 건-골 간격 형성을 보여주며 우수한 초기 고정력을 나타내었다<sup>2</sup>. 또한 회전근 개 파열 크기에 따른 두 가지 수술 방법의 비교에서도 대파열에서 경 골 봉합술이 단일 봉합술보다 적은 간격 형성을 나타내어 더 강한 고정 방법임을 증명하였다<sup>28</sup>. 여러 생역학적 실험 결과 경 골 봉합술은 단일 봉합술에 비하여 건-골 간격 형성, 최대 부하, 부착 부위 복원 등의 생역학적으로 우수한 결과를 나타내었다.

### 2. 단일 봉합술 및 이열 봉합술

회전근 개 파열에 대한 관절경 단일 봉합술은 어느 정도 만족할만한 임상 결과를 나타냈으나 대파열 이상에서는 높은 재파열율을 나타내었다<sup>4,12</sup>. 비록 봉합 실패의 원인이 대부분 파열 크기, 지방 변성 및 근육 위축 등과 관계 있지만 부착 부위를 최대한으로 넓게 복원하면 건과 골 사이의 생역학적 치유율을 향상시킬 뿐 아니라 높은 초기 강도를 유지할 수 있다는 가정 하에 이열 봉합술이 개발되었다. 또한 Cummins 등<sup>8</sup>도 봉합 나사못 수가 많을수록, 한 나사못의 봉합사가 많을수록, 또는 봉합 형태가 방사형일수록 높은 최고 파열 부하(ultimate load of failure)를 나타낸다고 보고하여 봉합 나사못 수와 고정 강도의 관계를 강조하였다. 이열 봉합술과 단일 봉합술의 생역학적 특성을 비교한 연

구에서 이열 봉합술은 단열 봉합술보다 42% 정도의 간격 형성 감소와 30% 정도의 부착 부위 변형률 감소를 나타내었으며, 강직도는 46%, 최대 파열 부하는 48% 증가를 나타내었다<sup>15)</sup>. Ma 등<sup>17)</sup>의 생역학적 실험에서도 이열 봉합술의 최대 인장 부하는 세가지 다른 방법의 단열 봉합술 (단순, Mason-Allen, massive cuff 봉합)보다 높게 측정되었다. 상완골 회전 위치에 따른 두 수술 방법의 생역학적 특성 연구에서도 상완골이 중립, 내회전 및 외회전 위치에서 모두 이열 봉합술의 간격 형성이 단열 봉합술보다 작게 측정되었다<sup>1)</sup>. 또한 이열 봉합술 파열 실험에서 회전근 개 건인시 대부분 전내측 봉합 나사못 부분에서 봉합사와 회전근 개 건-골 간의 파열이 발생하였다<sup>24)</sup>. 이는 내측 열이 회전근 개 건 전체의 긴장 분산에 중요한 역할을 하는 것을 의미하며 이열 봉합술의 필요성을 강조하였다.

그러나 Mazzocca 등<sup>19)</sup>은 비록 이열 봉합술이 넓은 부착 부위를 복원하였으나 단열 봉합술과 비교하여 간격 형성과 파열 부하에서는 비슷한 생역학적 특성을 나타낸다고 하였다. 또한 이열 봉합술과 단열 봉합술 후 복원된 회전근 개의 최대 신장력과 변형률은 두 수술 방법에 차이가 없으므로 단지 넓은 부착 부위 복원만을 위하여 이열 봉합술을 시행하는 것은 소요되는 수술 시간, 수술 복잡성 및 경비 등을 고려할 때 불필요하다는 주장도 제기 되었다<sup>18)</sup>.

### 3. 경 골 봉합술, 단열 봉합술 및 이열 봉합술

세 가지 수술 방법의 생역학적 특성을 동시에 비교한 연구 결과 이열 봉합술은 경 골 봉합술보다 42%, 단열 봉합술보다 60% 높은 접촉 면적을 복원하였다<sup>29)</sup>. 또한 경 골 봉합술은 단열 봉합술보다 31% 이상 넓은 접촉 부위를 복원하였으며 비록 가장 낮은 접촉 압력을 나타내었지만 봉합 나사못 주위에만 높은 압력을 나타내었던 다른 수술 방법들과 달리 건 전체에 균등하게 분포하는 접촉 압력 양상을 나타내었다. 그러므로 이열 봉합술과 경 골 봉합술이 회전근 개 생물학적 치유에 좋은 환경을 제공한다고 주장하였다. Waltrip 등<sup>30)</sup>은 경 골 봉합술, 단열 봉합술 및 이열 봉합술 (내측 봉합 나사못과 외측 경 골 봉합술 조합)의 생역학적 특성을 비교한 결과 이열 봉합술이 다른 두 수술 방법에 비해 봉합 실패를 유발하는 상완골 회전수가 높게 측정되어 강한 초기 고정력을 얻을 수 있는 수술 방법임을 증명하였다. 수술 방법에 따른 회전근 개 응력 분포를 비교한 결과 단열 및 이열 봉합술은 봉합 나사못 주변 점액낭 측의 응력이 집중되었으며, 경 골 봉합술의 경우 회전근 개 부착 부위 관절면 측에 응력이 집중된 반면, 점액낭 측의 응력은 거의 측정되지 않았다<sup>26)</sup>. 이들은 단열

및 이열 봉합술에서 봉합 나사못 주변의 높은 응력이 경 골 봉합술보다 회전근 개 재파열에 영향을 미칠 수도 있다고 하였다.

### 4. 이열 봉합술 및 교량형 봉합술식

압력 감작 필름 (pressure sensitive film)을 이용하여 교량형 봉합술식과 이열 봉합술의 생역학적 특성을 비교한 연구에 의하면 압력을 받는 접촉 면적이 네 줄 교량형 봉합술식이 124 mm<sup>2</sup>로 정상 극상건 부착 부위의 77%에 해당하는 면적을 복원하였으며, 두 줄 교량형 봉합술식의 압력 접촉 면적은 99 mm<sup>2</sup>로 정상 극상건 부착 부위 면적의 62%를 복원하였다<sup>23)</sup>. 그러나 이열 봉합술은 극상건 부착 부위 전체를 복원하였지만 압력을 받는 부착부위 면적은 63 mm<sup>2</sup>로 정상 부착 부위의 39%밖에 복원하지 못하였다. 회전근 개 압력 접촉 면적 복원 양상도 교량형 봉합술식은 봉합 나사못 사이에 연속성을 나타내며 건 전체에 균등하게 압력이 가해지는 반면, 이열 봉합술의 경우 봉합 나사못 주변에만 압력이 증가되어 있으며 봉합 나사못 사이에는 압력 접촉 면적의 연속성이 소실된 양상을 나타내었다. 네 줄 교량형 봉합술식 사용시 회전근 개 부착 부위에 작용하는 압력은 평균 0.27 MPa, 두 줄 교량형 봉합술식이 0.23 MPa인 반면, 이열 봉합술은 평균 0.19 MPa로 가장 낮았다. 네 줄 교량형 봉합술식이 다른 두 가지 수술 방법에 비하여 넓은 압력 접촉 면적과 높은 압력을 보여주었다. 교량형 봉합술식은 최대 파열 부하도 다른 수술 방법에 비해 높게 측정되었는데 단열 봉합술의 최대 파열 부하는 275-300N, 이열 봉합술은 300-350N 정도의 최대 파열 부하가 측정된 반면, 교량형 봉합술식은 350-400N로 정상 회전근 개 최대 파열 부하와 비슷하게 측정되었으며 회전력과 전단력에도 충분한 저항력을 보이며 정상에 가까운 회전근 개 부착 부위를 복원하였다<sup>7)</sup>.

그러나 교량형 봉합술식은 이열 봉합술보다 48% 증가된 최대 파열 부하 및 170% 증가된 파괴 에너지 흡수력을 나타냈지만, 두 수술 방법의 초기 강직이나 간격 형성은 차이가 없었다는 생역학적 결과도 보고되었다<sup>25)</sup>. 또한 상완골 회전 실험에서 상완골을 외회전 시켰을 때 교량형 봉합술식은 복원된 인대 전방 부분에 간격 형성이 후방보다 의미 있게 증가하였다. 이는 이열 봉합술에서는 발생하지 않는 현상으로 교량형 봉합술식 구조상 외측에 고정점이 없으므로 발생하는 현상으로 사료된다. 두 가지 수술 방법 모두 복원된 건 파열 순서도 전방 부분이 후방 부분보다 먼저 파열이 발생하므로 전방 부분에 대한 보완이 필요할 것으로 사료된다<sup>24)</sup>.

Pushlock을 이용한 교량형 봉합술식의 생역학적 장

점은 외측 봉합 나사못 대신 골 터널을 회전근 개 대결절 부착 부위 하방 1 cm 정도에 만들기 때문에 압력 벡터가 건-골 간의 압력 접촉 면적을 증가시키는 역할을 하게 된다. 또한 단일 또는 이열 봉합 나사못은 나사못 주위만 압력이 집중되고 봉합 나사못 사이는 압력을 받는 접촉 면적이 없는 반면 교량형 봉합술식은 부착 부위 전반적으로 균등하게 압력이 작용 한다. 구조적으로 교량형 봉합술식은 전후방 및 내외측 고정점이 모두 연결되어 있어 적용되는 부하를 네 고정점에 균등하게 분산시켜 상완골 회전시에도 부하가 어느 한 곳으로 집중되는 것을 방지하여 고정 실패를 예방할 수 있다. 이에 반하여 이열 봉합술은 상완골 중립 상태에서는 부하가 네 봉합 나사못에 분산되지만 상완골 내전시에는 힘의 벡터가 내측으로 작용하여 부하 분산 작용이 소실되며 후외측 봉합 나사못에 부하가 집중되는 현상이 발생한다. 교량형 봉합술식의 단점은 사용되는 봉합 나사못의 증가로 인한 비용 증가, 부착 부위 외측 비매듭 나사못 삽입시 압력 조절이 불가능하므로 과중한 압력 적용시 발생할 수 있는 건 괴사 및 복원된 회전근 개 모양의 빈번한 기형 발생 빈도 (dog-ear deformity 또는 bird-beak deformity) 등이다.

### 다양한 수술 방법의 임상 결과

Sugaya 등<sup>27)</sup>은 이열 봉합술과 단일 봉합술의 임상 결과를 비교해 본 결과 주관적 기능에는 양 군이 차이가 없었으나 MRI를 통한 회전근 개 치유는 이열 봉합이 구조적으로 높은 치유율을 나타내었다. 또한 관절경 수술시 복원된 회전근 개 넓이를 관찰한 결과 단일 봉합술은 봉합 후 회전근 개 해부학적 복원에 있어 정상 부착 부위의 52.7% 정도 밖에 복원하지 못한 반면, 이열 봉합술은 단일 봉합술보다 2배나 넓은 접촉 면적을

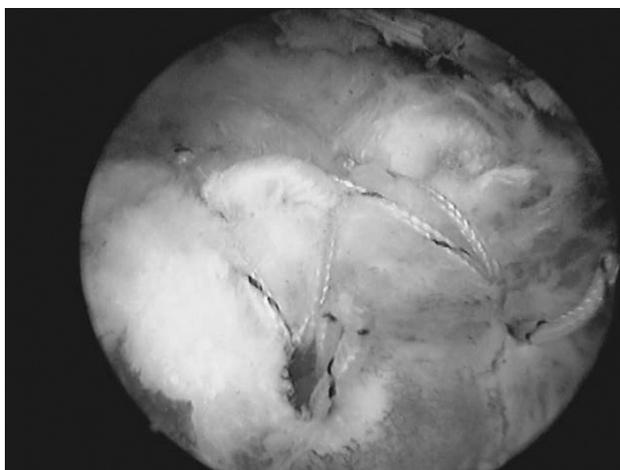


Fig. 3. Arthroscopic rotator cuff repair using suture bridge technique.

복원하였다고 하였다<sup>5)</sup>. Park 등<sup>21)</sup>은 회전근 개 파열 크기가 중파열 이하는 단일 봉합술과 이열 봉합술의 임상적 결과가 차이가 없지만 대파열 이상에서는 이열 봉합술의 임상적 결과가 단일 봉합술보다 우수한 결과를 얻었다. 여러 문헌을 비교한 결과, 회전근개 파열의 이열 봉합술과 단일 봉합술 후 임상 결과는 비슷하였지만 재파열율로 판단한 건 치유율은 이열 봉합술이 높게 나타났다<sup>6,10)</sup>. 이는 회전근 개의 해부학적 복원에 있어 생역학적으로 우수한 이열 봉합술의 장점이 임상적이나 기능적 우수성으로는 적절하게 반영되지 못한 결과로 판단된다. 교량형 봉합술식을 이용한 회전근 개 봉합술은 아직까지 많은 임상 결과가 보고된 바는 없지만 Frank 등<sup>11)</sup>에 의하면 회전근 개 봉합술 후 MRI 분석 결과 89%의 치유율을 나타내었으며 재파열은 비록 환자 수가 적고 추시 기간이 짧았지만 환자의 나이와 파열 크기와는 연관성은 없는 것으로 보고하였다(Fig. 3). 이는 보고되고 있는 이열 봉합술의 회전근 개 재파열과 비슷한 수준으로 임상적 결과로는 양군의 의미 있는 차이가 없는 것으로 사료된다<sup>14,16)</sup>.

### 회전근 개 봉합술의 적용

Nelson 등<sup>20)</sup>은 이열 봉합술이 단일 봉합술보다 넓은 범위의 부착 부위를 복원하지만 간격 형성이나 신장력 등과 같은 생역학적 특성은 차이가 없다는 연구를 통해 성공적인 회전근 개 봉합은 독립적인 2가지 요소 즉 부착 부위 복원 범위와 생역학적 강도가 작용한다고 주장하였다. 그러므로 부착 부위가 큰 영향을 주지 못하는 소파열에서는 단일 봉합술을, 부착 부위가 결과에 영향을 줄 수 있는 대파열은 이열 봉합술을 사용할 것을 권장하였다. 여러 생역학적 결과를 종합해본 결과 회전근 개 손상이 급성이거나 건 부착 부위 전체를 침범하지 않은 부분 파열 또는 전층 파열 중에서 파열 크기가 소 및 중파열인 경우는 단일 봉합술만으로도 충분히 만족할만한 임상적 결과를 얻을 수 있을 것으로 판단된다. 이 정도 범위의 손상은 단일 봉합술의 최대 파열 부하가 275N 정도이므로, 재활 초기에 생물학적 치유가 형성되기 전 복원된 건이 충분히 견딜 수 있는 부하로 여러 실험 결과가 반증하고 있다<sup>7)</sup>. 그러나 회전근 개 손상이 만성이거나 회전근 개 상태가 안 좋은 경우 또는 파열 크기가 중파열 이상인 경우는 가능하면 단일 봉합술보다 해부학적 복원이 가능하여 접촉 면적을 넓히며 높은 최대 파열 부하로 치유율을 높일 수 있는 이열 봉합술이나 교량형 봉합술식을 권장할 수 있다. 광범위 파열에서 회전근 개의 긴장도를 고려하여 대부분 봉합 나사못을 관절면 경계부에 삽입하고 파열된 회전근 개를 내측 전이된 상태로 단일 봉합술을 많이 시행한다.

그러나 이러한 경우도 비록 건 긴장도는 증가하지만 넓은 부착 부위를 복원한 이열 봉합술이 적은 간격 형성과 높은 강직도를 나타낸다는 것이 생역학적 검사에서 증명되어 광범위 파열이라도 가능하면 이열 봉합술이나 교량형 봉합술식으로 복원할 것을 권장하였다<sup>9)</sup>.

## 결 론

현재 사용되는 회전근 개 봉합술 중 교량형 봉합술식은 회전근 개 부착 부위를 해부학적으로 복원할 수 있으며, 건-골간 압력 접촉 면적을 증가시키고, 방사형의 봉합 형태를 통하여 회전근 개 전체에 균등하게 압력을 분포함으로써 부하를 분산시키며 생물학적 치유를 향상시킨다. 또한 건-골간 간격 형성을 최소화하며 전단 응력 및 회전 응력에 저항력을 주어 정상과 동일한 해부학적 복원력으로 빠른 재활 운동을 가능하게 한다. 그러나 비록 교량형 봉합술식이 다른 술식에 비해 우수한 생역학적 특성을 나타내도 임상적으로 더 좋은 결과를 초래한다는 증거는 없으며, 이열 봉합술과는 비슷한 재파열율이 보고되고 있다. 회전근 개 봉합술의 선택은 회전근 개 파열 크기, 파열 양상 및 건의 상태 등을 고려하여 적절하게 선택하여야 할 것으로 사료된다.

## REFERENCES

- 1) Ahmad CS, Kleweno C, Jacir AM, et al: Biomechanical performance of rotator cuff repairs with humeral rotation: a new rotator cuff repair failure model. *Am J Sports Med*, 36: 888-892, 2008.
- 2) Ahmad CS, Stewart AM, Izquierdo R, Bigliani LU: Tendon-bone interface motion in transosseous suture and suture anchor rotator cuff repair techniques. *Am J Sports Med*, 33: 1667-1671, 2005.
- 3) Apreleva M, Ozbaydar M, Fitzgibbons PG, Warner JJ: Rotator cuff tears: the effect of the reconstruction method on three-dimensional repair site area. *Arthroscopy*, 18: 519-526, 2002.
- 4) Boileau P, Brassart N, Watkinson DJ, Carles M, Hatzidakis AM, Krishnan SG: Arthroscopic repair of full-thickness tears of the supraspinatus: does the tendon really heal? *J Bone Joint Surg Am*, 87: 1229-1240, 2005.
- 5) Brady PC, Arrigoni P, Burkhart SS: Evaluation of residual rotator cuff defects after in vivo single- versus double-row rotator cuff repairs. *Arthroscopy*, 22: 1070-1075, 2006.
- 6) Charouset C, Grimberg J, Duranthon LD, Bellaiche L, Petrover D: Can a double-row anchorage technique improve tendon healing in arthroscopic rotator cuff repair?: A prospective, nonrandomized, comparative study of double-row and single-row anchorage techniques with computed tomographic arthrography tendon healing assessment. *Am J Sports Med*, 35: 1247-1253, 2007.
- 7) Cole BJ, ElAttrache NS, Anbari A: Arthroscopic rotator cuff repairs: an anatomic and biomechanical rationale for different suture-anchor repair configurations. *Arthroscopy*, 23: 662-692, 2007.
- 8) Cummins CA, Appleyard RC, Strickland S, Haen PS, Chen S, Murrell GA: Rotator cuff repair: an ex vivo analysis of suture anchor repair techniques on initial load to failure. *Arthroscopy*, 21: 1236-1241, 2005.
- 9) Domb BG, Glousman RE, Brooks A, Hansen M, Lee TQ, ElAttrache NS: High-tension double-row footprint repair compared with reduced-tension single-row repair for massive rotator cuff tears. *J Bone Joint Surg Am*, 90 Suppl 4: 35-39, 2008.
- 10) Franceschi F, Ruzzini L, Longo UG, et al: Equivalent clinical results of arthroscopic single-row and double-row suture anchor repair for rotator cuff tears: a randomized controlled trial. *Am J Sports Med*, 35: 1254-1260, 2007.
- 11) Frank JB, ElAttrache NS, Dines JS, Blackburn A, Crues J, Tibone JE: Repair site integrity after arthroscopic transosseous-equivalent suture-bridge rotator cuff repair. *Am J Sports Med*, 36: 1496-1503, 2008.
- 12) Galatz LM, Ball CM, Teefey SA, Middleton WD, Yamaguchi K: The outcome and repair integrity of completely arthroscopically repaired large and massive rotator cuff tears. *J Bone Joint Surg Am*, 86: 219-224, 2004.
- 13) Goradia VK, Rochat MC, Kida M, Grana WA: Natural history of a hamstring tendon autograft used for anterior cruciate ligament reconstruction in a sheep model. *Am J Sports Med*, 28: 40-46, 2000.
- 14) Huijsmans PE, Pritchard MP, Berghs BM, van Rooyen KS, Wallace AL, de Beer JF: Arthroscopic rotator cuff repair with double-row fixation. *J Bone Joint Surg Am*, 89: 1248-1257, 2007.
- 15) Kim DH, ElAttrache NS, Tibone JE, et al: Biomechanical comparison of a single-row versus double-row suture anchor technique for rotator cuff repair. *Am J Sports Med*, 34: 407-414, 2006.
- 16) Lafosse L, Brozka R, Toussaint B, Gobezie R: The outcome and structural integrity of arthroscopic rotator cuff repair with use of the double-row suture anchor technique. *J Bone Joint Surg Am*, 89: 1533-1541, 2007.
- 17) Ma CB, Comerford L, Wilson J, Puttlitz CM: Biomechanical evaluation of arthroscopic rotator cuff repairs: double-row compared with single-row fixation. *J Bone Joint Surg Am*, 88: 403-410, 2006.
- 18) Mahar A, Tamborlane J, Oka R, Esch J, Pedowitz RA: Single-row suture anchor repair of the rotator cuff is biomechanically equivalent to double-row repair in a bovine model. *Arthroscopy*, 23: 1265-1270, 2007.
- 19) Mazzocca AD, Millett PJ, Guanche CA, Santangelo

- SA, Arciero RA:** *Arthroscopic single-row versus double-row suture anchor rotator cuff repair. Am J Sports Med, 33: 1861-1868, 2005.*
- 20) **Nelson CO, Sileo MJ, Grossman MG, Serra-Hsu F:** *Single-row modified mason-allen versus double-row arthroscopic rotator cuff repair: a biomechanical and surface area comparison. Arthroscopy, 24: 941-948, 2008.*
- 21) **Park JY, Lhee SH, Choi JH, Park HK, Yu JW, Seo JB:** *Comparison of the clinical outcomes of single-and double-row repairs in rotator cuff tears. Am J Sports Med, 36: 1310-1362, 2008.*
- 22) **Park MC, Cadet ER, Levine WN, Bigliani LU, Ahmad CS:** *Tendon-to-bone pressure distributions at a repaired rotator cuff footprint using transosseous suture and suture anchor fixation techniques. Am J Sports Med, 33: 1154-1159, 2005.*
- 23) **Park MC, ElAttrache NS, Tibone JE, Ahmad CS, Jun BJ, Lee TQ:** *Part I: Footprint contact characteristics for a transosseous-equivalent rotator cuff repair technique compared with a double-row repair technique. J Shoulder Elbow Surg, 16: 461-468, 2007.*
- 24) **Park MC, Idjadi JA, Elattrache NS, Tibone JE, McGarry MH, Lee TQ:** *The effect of dynamic external rotation comparing 2 footprint-restoring rotator cuff repair techniques. Am J Sports Med, 36: 893-900, 2008.*
- 25) **Park MC, Tibone JE, ElAttrache NS, Ahmad CS, Jun BJ, Lee TQ. Part II:** *Biomechanical assessment for a footprint-restoring transosseous-equivalent rotator cuff repair technique compared with a double-row repair technique. J Shoulder Elbow Surg, 16: 469-476, 2007.*
- 26) **Sano H, Yamashita T, Wakabayashi I, Itoi E:** *Stress distribution in the supraspinatus tendon after tendon repair: suture anchors versus transosseous suture fixation. Am J Sports Med, 35: 542-546, 2007.*
- 27) **Sugaya H, Maeda K, Matsuki K, Moriishi J:** *Functional and structural outcome after arthroscopic full-thickness rotator cuff repair: single-row versus dual-row fixation. Arthroscopy, 21: 1307-1316, 2005.*
- 28) **Tocci SL, Tashjian RZ, Leventhal E, Spenciner DB, Green A, Fleming BC:** *Biomechanical comparison of single-row arthroscopic rotator cuff repair technique versus transosseous repair technique. J Shoulder Elbow Surg, 17: 808-814, 2008.*
- 29) **Tuoheti Y, Itoi E, Yamamoto N, Seki N, Abe H, Minagawa H, et al:** *Contact area, contact pressure, and pressure patterns of the tendon-bone interface after rotator cuff repair. Am J Sports Med, 33: 1869-1874, 2005.*
- 30) **Waltrip RL, Zheng N, Dugas JR, Andrews JR:** *Rotator cuff repair. A biomechanical comparison of three techniques. Am J Sports Med, 31: 493-497, 2003.*
- 31) **Weiler A, Hoffmann RF, Bail HJ, Rehm O, Sudkamp NP:** *Tendon healing in a bone tunnel. Part II: Histologic analysis after biodegradable interference fit fixation in a model of anterior cruciate ligament reconstruction in sheep. Arthroscopy, 18: 124-135, 2002.*
- 32) **Yamazaki S, Yasuda K, Tomita F, Minami A, Tohyama H:** *The effect of graft-tunnel diameter disparity on intraosseous healing of the flexor tendon graft in anterior cruciate ligament reconstruction. Am J Sports Med, 30: 498-505, 2002.*

## 초 록

이상적인 회전근 개 봉합술은 봉합 초기 높은 고정 강도로 봉합 부위 건-골간 간격 형성을 최소화시키며, 재활 과정 중 발생하는 반복적인 부하에도 견디는 기계적 강도를 나타내어 궁극적으로 건-골 조직의 생물학적 치유를 얻을 수 있는 방법이다. 현재 사용되는 회전근 개 봉합술 중 교량형 봉합술식은 회전근 개 부착 부위를 해부학적으로 복원할 수 있으며, 건-골간 압력 접촉 면적을 증가시키고, 방사형의 봉합 형태를 통하여 회전근 개 전체에 균등하게 압력을 분포함으로 부하를 분산시키며 생물학적 치유를 향상시킨다. 또한 건-골간 간격 형성을 최소화하며 전단 및 회전 응력에 저항력을 주어 정상과 동일한 해부학적 복원력으로 빠른 재활 운동을 가능하게 한다. 그러나 비록 교량형 봉합술식이 다른 술식에 비해 우수한 생역학적 특성을 나타내도 임상적으로 더 좋은 결과를 초래한다는 증거는 없으며, 이열 봉합술과는 비슷한 재파열율이 보고되고 있다. 회전근 개 봉합술의 선택은 회전근 개 파열 크기, 파열 양상 및 건의 상태 등을 고려하여 적절하게 선택하여야 할 것으로 사료된다.

**색인 단어:** 회전근 개 봉합술, 교량형 봉합술식, 이열 봉합술