

회전근 개 파열의 치료

광범위 회전근 개 파열에서 인대보강술의 역할

Management of Massive Rotator Cuff Tears: Role of the Tendon Augmentation

이광원 • 배경완 • 황윤섭

을지대학병원 정형외과

회전근 개 파열은 어깨 관절의 심한 통증과 기능 저하, 근력 약화를 유발하는 흔한 원인 중의 하나이다. 이 질환에 대한 이해와 수술적인 치료의 발전에도 불구하고, 광범위 회전근 개 파열의 수술적 치유 결과는 파열 크기가 작은 경우에 비하여 저조한 것으로 알려져 있다. 이러한 높은 실패율은 환자 자신의 내재적 치유 능력에 영향을 미치는 생물학적인 요인뿐 아니라 기계적인 요인에 기인한다. 최근 조직 공학적으로는 회전근 개 봉합의 치유를 돕기 위하여 지지체(scaffold)나 성장 호르몬, 간엽 줄기세포(mesenchymal stem cell) 등에 관한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 지지체는 기계적인 강도와 생물학적인 치유를 증진시킬 목적으로 관심이 높아지고 있다. 저자들은 이 종설에서 회전근 개 복원술에 사용되는 지지체 중에서 가장 널리 사용되고 있는 세포 외 기질 지지체의 최근 연구 경향 및 임상적인 응용에 대하여 살펴보고자 한다.

색인단어: 회전근 개, 광범위, 보강술, 세포 외 기질 지지체

서 론

DeOrio와 Cofield¹⁾는 광범위 회전근 개 파열의 정의를 파열 부위의 가장 긴 직경이 5 cm 이상인 경우라 하였고, Gerber 등²⁾은 최소한 2개 이상의 건이 파열된 경우라고 정의하였다. 최근의 회전근 개 파열에 대한 연구의 비약적인 발전에 의하여 광범위 회전근 개 파열(massive rotator cuff tear)의 수술적인 치료 결과가 상당히 호전되었다. 그러나 최근까지의 임상 연구에 따르면 광범위 회전근 개 파열은 크기가 작은 파열에 비하여 치유율이 저조한 것으로 보고되고 있다. Galatz 등³⁾은 초기의 연구 결과에서 관절경적 봉합술 후 약 94% (17/18)에서 재파열이 발생하였다고 보고하고 있다. 그러나 최근의 연구 결과를 보면 회전근 개 봉합술 후의 치유율은 약 71-89%로 과거에 비하여 향상된 결과를 보고하고 있으나 광범위 회전근 개 파열의 경우는 여전히 47-50%의 높은 재파열을 보이고 있다.⁴⁻¹⁰⁾ 따라서 이런 환자의 수술적 치료에 있어

서는 세심한 술 전 평가 및 치료 결과에 영향을 미칠 수 있는 회전근 개의 퇴행성 정도, 근위축 정도 등의 파악이 중요하다. 봉합이 가능한 경우에는 다양한 건 유리술과 봉합 방법을 이용하여 회전근 개에 과도한 장력이 가해지지 않으며(tension-free), 족적(foot-print)의 복원을 통하여 해부학적인 치유를 얻고자 여러 방법이 시도되고 있다. 최근 널리 사용되는 봉합술에는 단열 봉합(single-row), 이열 봉합(double-row), 경골 교량형 봉합술(transosseous-equivalent suture bridges) 등이 있다. 봉합이 불가능한 광범위 회전근 개 파열의 수술적인 치료에는 변연 절제술, 부분 봉합술(partial repair), 건 이전술(tendon transfer), 인공관절 반치환술, 역형 인공관절 전치환술(reverse total shoulder arthroplasty) 등의 방법이 이용되고 있다. 또한 최근에는 조직 공학의 발전에 힘입어 회전근 개 봉합 시, 건의 기계적 강도를 보강하고 나아가서 치유 능력을 향상시키는 새로운 방향으로 연구가 진행되고 있다.

회전근 개 봉합 실패의 가장 흔한 원인 중의 하나로 봉합 시 과도한 긴장(tension)으로 인하여 봉합사가 건을 뚫고 빠져 나오는 것을 경험할 수 있다.¹¹⁻¹³⁾ 이러한 문제점을 해결하기 위하여 다양한 봉합 방법이 소개되었으며, 건에 가해지는 긴장을 감소시키기 위해서 술 후 보조기를 착용하기도 한다. 최근 조직 공학적으로

접수일 2013년 1월 7일 수정일 2013년 1월 27일 게재확정일 2013년 1월 28일

교신저자 이광원

대전시 서구 둔산서로 95, 을지대학병원 정형외과

TEL 042-611-3266, FAX 042-259-1289

E-mail kwangwon@eulji.ac.kr

는 회전근 개 봉합의 치유를 돕기 위하여 지지체(scaffold)나 성장 호르몬, 간엽 줄기세포(mesenchymal stem cell) 등에 관한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 지지체는 기계적인 강도와 생물학적인 치유를 증진시킬 목적으로 관심이 높아지고 있다.

회전근 개 파열 시 인대 보강술의 적용

지지체는 다양한 물질, 즉 polylactic acid,¹⁴⁻¹⁷⁾ polytetrafluoroethylene,¹⁸⁾ 세포 외 기질(extracellular matrix, ECM),^{11,19-28)} chitin,²⁹⁾ Chitosan-hyaluronan³⁰⁾ 등에서 유래한다. 그 중에서 세포 외 기질, polyurethaneurea, polylactic acid 등은 상업적으로 사용이 가능하며 미국 Food and Drug Administration (FDA)에 의하여 회전근 개 파열의 치료에 사용 승인을 얻은 상태이다. 과거 1980년대에 동종 혹은 이종 조직의 세포 외 기질을 이용한 회전근 개 보강술(augmentation)이 시도되었으나 성공 예가 드물어 1990년대에 들어와서는 그 사용이 감소되었다. 그러나 최근에 조직 가공 및 세포 처리 기술이 발전되면서 이에 대하여 다시 관심을 갖게 되었다. 최근에는 진피(dermis), 소장 점막하(small intestine submucosa, SIS) 조직, 대퇴 근막(fascia lata), 심외막(pericardium) 등에서 유래된 다양한 세포 외 기질이 회전근 개 파열의 치료에 사용될 수 있다. 그 중에서도 동종 인체 조직을 이용한 GraftJacket, AlloPatch, Sure-derm (진피 조직), 돼지 진피를 이용한 Permacol (Zimmer Collagen Patch), 돼지 소장 점막하 조직을 이용한 Restore, CuffPatch 등의 임상 결과가 보고되고 있다. 이들은 무세포화(acellulization), 화학적 교차 결합(chemical cross-linking), 층상 배열(lamination of multiple layers), 동결 건조(lyophilization) 등의 과정을 거쳐서 상품화된다. 저자들은 최근에 임상적으로 사용되고 있는 세포 외 기질 지지체의 물리적 및 화학적 특성, 임상 결과 등에 대하여 살펴보고자 한다.

생역학적 특성(Biomechanical properties)

적절한 지지체의 역할을 수행하기 위하여는 수술 후 일정 기간 동안 효과적으로 견에 가해지는 장력이나 하중을 견딜 수 있는 기계적 및 구조적 특성과 봉합사의 장력을 견딜 수 있는 특성(suture retention property)을 가져야 한다. 이러한 생역학적 특성은 조직의 종류와 가공 방법에 영향을 받는다. 회전근 개의 강성(stiffness)은 약 200 N/mm, ultimate load는 약 800 N으로 알려져 있다.³¹⁻³³⁾ 또한 봉합사를 견딜 수 있는 강도는 두 가닥의 매트리스 봉합(mattress suture)의 경우에는 230 N,³⁴⁾ 단일 가닥 매트리스 봉합의 경우에는 224±77 N으로 알려져 있다. 회전근 개 파열의 치료에 적당한 지지체를 선택할 때에는 개개의 물리적 특성을 참고로 하여야 한다.

진피 유래 기질(dermis-derived ECM)은 소장 점막하 유래 기

질(SIS-derived ECM)에 비하여 봉합사에 견딜 수 있는 강도가 더 강하며,³⁵⁾ 반면에 진피 유래 기질은 소장 점막하 유래 기질에 비하여 탄성 계수(modulus of elasticity)가 상당히 떨어진다. 소장 점막하 유래 기질인 Restore와 CuffPatch, 진피 유래 기질인 Tissue-Mend와 GraftJacket은 개의 극상 견에 비하여 탄성계수가 높다. 소장 점막하 유래 기질은 콜라겐이 풍부하게 함유된 세포 외 기질보다 탄성계수가 높았고, 낮은 긴장도에서 최대의 탄성계수에 도달하였다. 모든 세포 외 기질은 인간 사체의 극상견보다 10배 정도 낮은 탄성 계수를 보였고, 이는 대부분의 세포 외 기질들은 회전근 개 보강술 시 큰 하중을 극복할 수 없다는 것을 보여준다.

반면에 Fascia lata ECM (AlloPatch)은 개의 극상 견이나 인간의 극상 견과 유사한 물성을 보인다. 이러한 물성 검사는 사체를 이용하여 이루어지는데, Barber 등³⁵⁾은 동종 진피(GraftJacket)를 이용한 극상 견 파열의 보강술에서 약 19%의 파괴 하중(failure load) 증가와 봉합사와 조직의 접촉면(interface) 감소를 보고하였다.

생화학적 특성(Biochemical properties)

대부분의 세포 외 기질로 구성된 이식물은 무세포화(acellulization) 과정을 거치게 된다. 이 과정에서는 항원성(antigenicity)을 감소시키기 위하여 수용성 세포 단백질(water-soluble cellular protein)을 제거하게 된다.^{13,36)} 그러나 이 과정을 거쳤다 하더라도 TissueMend, GraftJacket, Restore 등에서 다량의 deoxyribonucleic acid (DNA)가 검출되며, 반면에 AlloPatch에서는 소량의 DNA가 검출되어 실질적으로 완전한 세포 제거는 어려우며, 잔존하는 세포의 임상적인 의미는 아직 불확실하다.^{13,37)} 가공 처리된 모든 세포외 기질 이식물은 비슷한 양의 hydroxyproline을 포함한다. GraftJacket은 소량의 hydroxyproline만을 함유하며 다른 세포 외 기질에 비하여 다량의 elastin을 함유한다. 포함된 hydroxyproline 양을 기초로 콜라겐 양을 추정할 수 있는데 약 60-95%로 기질의 주된 구성 요소는 콜라겐임을 알 수 있다.¹³⁾ 또한 가공된 세포 외 기질 이식물은 생체 내 견과 유사한 chondroitin/dermatan sulfate glycosaminoglycan (GAG)을 함유한다. 세포 외 기질 내의 GAG가 조직 재생에 미치는 영향에 대한 직접적인 연구 결과는 없지만, 일반적으로 GAG가 연부조직의 치유를 여러 경로를 통하여 조절하는 것으로 알려져 있다.^{13,38)}

화학적 교차 결합은 세포 외 기질 이식물의 특성에 영향을 미칠 수 있다. Restore나 GraftJacket 등의 교차 결합을 시행하지 않은 물질에는 수술 초기에 다량의 세포 침윤이 발생하는데 이는 초기 염증 반응과 연관이 있다. 반면에 화학적 교차 결합을 시행한 CuffPatch, TissueMend, Permacol 등은 만성 염증 반응에 의하여 이물 거대 세포(foreign body giant cell), 미성숙된 섬유 조직 등의 소견을 관찰할 수 있다.

동물 실험 결과

소장 점막하 조직을 이용한 건, 인대, 반월판 연골 등에 시행된 동물 실험의 결과를 보면, 소장 점막하 조직은 병변 부위에 세포 이동을 촉진시키며 신생혈관재생(angiogenesis), 이식물의 흡수(resorption), 결체 조직의 재형성(remodeling)과 연관이 있는 것으로 보여진다.^{39,40)} 소장 점막하 조직 이식재는 이식 후 약 3개월 내에 흡수된다고 알려져 있다. 급성 면역 반응이 동반되나 만성 면역 반응은 거의 없는 것으로 알려져 있다.⁴¹⁻⁴³⁾ 면역 반응은 거부 반응보다는 이식물의 흡수나 재형성의 소견으로 나타난다.⁴⁴⁾ 소장 점막하 조직 이식재는 합성 물질로 조성된 이식재에 비하여 감염에 저항력이 있는 것으로 보인다.⁴⁵⁾ 개를 이용한 실험에서 살펴보면 재형성된 조직은 정렬된 콜라겐 기질을 포함하는 건의 형태를 보여주었으나 파손 강도(failure strength)는 정상 조직에 비하여 감소된 소견을 보여주었으며 정상적인 건-골 기시부(tendon-to-bone insertion)의 형태를 관찰할 수 있었다.²¹⁾ 여러 동물 실험 결과를 종합할 때 SIS를 이용한 건 복원술은 자연적인 건 치유와 유사할 정도의 만족할만한 결과를 보여주었다.^{24,26,27)}

Adams 등¹¹⁾은 인체 유래 진피(human-derived dermis)를 이용하여 실험 개에서 개재(interposition) 이식을 시행한 후 3개월에 이식을 시행하지 않은 군과 비교하였을 때 양 군에서 비슷한 파괴 강도를 보여주었으며 이는 정상 조직의 강도에 미치지 못하는 못하였다고 하였다. 조직학적인 검사에서는 10예 중 2예에서 건-골 기시부에서 실패한 소견을 보여주었다. Beniker 등⁴⁶⁾에 의하면 진피 조직을 이식하였을 때 세포 재분포(cellular repopulation), 재혈관화(revascularization), 골 재형성(bone restoration)을 관찰할 수 있었다고 보고하였다.

Macleod 등⁴⁷⁾은 돼지 유래 진피 조직(Porcine-derived, cross-linked dermal ECM)을 쥐의 피하 조직에 이식하였을 때 20주 동안 유지가 되었고 조직학적으로는 약간의 만성 염증 반응, 콜라겐의 분해, 혈관 내성장(ingrowth) 등의 소견을 관찰할 수 있었다.

임상 연구 결과

FDA 규정에 의하면 동물 유래 조직(animal-derived product)은 의료 기기로 분류되어 "회전근 개 수술에서 봉합사나 봉합 나사못을 사용하여 연부조직의 보강 목적"으로 사용토록 되어 있으며, 인체 유래 세포 외 기질(human-derived ECM product)은 인체 조직으로 분류되어 보강 및 개재이식 목적으로 사용할 수 있다. 따라서 인체 유래 세포 외 기질인 GraftJacket는 회전근 개 파열 환자에서 보강 및 개재 이식 용도로 사용이 가능하다.

소장 점막하 조직 이식재료로는 Restore와 CuffPatch (Biomet Sports Medicine, Warsaw, IN, USA)가 FDA의 승인을 얻어 인체에 사용되었다. 이 조직은 돼지에서 유래한 것으로 인체 내에 적

용하였을 때 동물 실험 결과에 못 미치는 결과를 보여주고 있다. Sclamberg 등⁴⁸⁾이 술 후 6개월에 자기공명영상(magnetic resonance imaging, MRI)을 시행한 결과를 보면 11예 중 10예에서 실패하였다고 보고하였다. Iannotti 등⁴⁹⁾은 대파열 이상의 환자를 대상으로 무작위, 전향적 연구를 시행하여 7% 이하에서만 치유되었다고 보고하였다. 염증 반응이 나타난 환자의 병리 검사에서는 면역 혹은 거부 반응보다는 비특이적 염증 반응을 보여주었다. 이상의 제한적인 임상 연구 결과를 종합하면 SIS 이종 이식물(Xenograft)은 회전근 개 파열의 보강술에는 부적합한 것으로 생각된다.

인체 피부 조직을 이용한 GraftJacket의 임상 결과에 대한 문헌 고찰을 살펴보면, Dopirak 등⁵⁰⁾은 16명의 환자를 대상으로 파열된 회전근 개와 상완골 대결절 사이의 결손 부위에 개재 이식을 시행하여 12-38개월간 추시한 결과 양호한 결과를 얻었다고 보고하였다. University of California at Los Angeles (UCLA) 점수는 술 전 18.4에서 30.4로 향상되었고, Simple Shoulder Test에서도 술 후 1년째 환측 팔로 20-lb의 무게를 지탱할 정도의 근력 회복을 관찰할 수 있었다. MRI 추시에서는 2예의 환자에서 수술 후 첫 3개월에, 1예에서는 4개월에 파열이 확인되었으나 단지 근력 약화를 제외한 나머지 증상은 호전된 것으로 보고하였다. 최근에 Burkhead⁵¹⁾는 17예의 광범위 회전근 개 파열 환자를 대상으로 GraftJacket을 이용하여 개방성 술식으로 재건술을 시행한 후 평균 1.2년 추시 결과를 보고하였다. UCLA 점수는 술 전 9.06에서 술 후 26.12로 호전되었고, 모든 예에서 운동 범위 및 기능 호전을 보여주었으나 술 후 연속성 검사에서는 12예 중 3예에서 연결 부위의 재파열이 확인되었다. 또한 술 후에 건 위축이나 지방 변성의 회복은 확인되지 않았다. Bond 등⁵²⁾은 관절경을 이용하여 총 16예의 광범위 회전근 개 파열 환자를 대상으로 GraftJacket을 이용한 개재 이식을 시행하였다. 전체적인 평균 추시 기간은 26.8개월이었으며, UCLA 점수, Constant 점수의 의미있는 호전을 볼 수 있었으며 MRI 검사에서도 13예에서 완전 치유, 3예에서 재파열의 소견을 보고하였으며 합병증의 소견은 없었다고 보고하였다.

돼지 진피 조직(cross-linked porcine dermis, Permacol, Zimmer Collagen Repair)을 이용한 임상 결과도 일부에서 보고되고 있다. Badhe 등⁵³⁾은 10명의 환자에게 Permacol을 사용하였다. 수술 1년 후, constant score, 술 전 통증 점수, 외전력, 내외회전 및 내전 운동 범위 등에 통계적으로 유의한 호전을 보였다고 보고하였다. 모든 환자들에서 일상 생활 동작이 가능하였고, 한 명을 제외한 나머지 모든 환자들에서 만족감을 보였다고 하였다. 수술 4.5년 후에 MRI를 이용한 영상 평가에서 10명 중 2명에서만 재파열이 발견되었고, 이에 생물학적 보강술에 사용을 추천하였다. Soler 등⁵⁴⁾은 Permacol (돼지 표피 콜라겐이식재)을 광범위 회전근 개 파열의 결손 부위를 연결하는 용도로 사용한 군과, 광범위 회전근 개 파열에서 보강 목적으로 사용하였던 군에 대한 유용성을 실험하였다. 이러한 소견은 Badhe 등⁵³⁾의 결과를 뒷받침하였고,

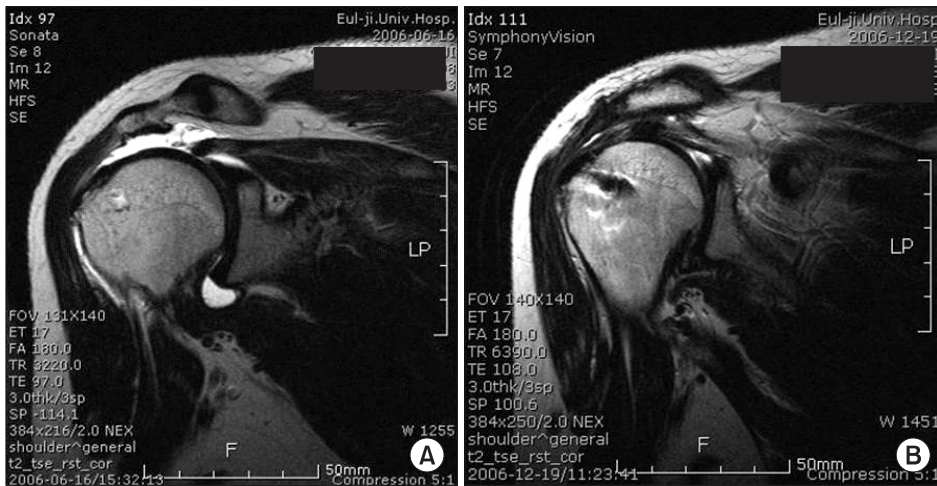


Figure 1. A 46-year-old female patient underwent open rotator cuff repair using an inter-positional acellular dermal matrix graft. (A) Pre-operative magnetic resonance imaging (MRI) shows a cuff tear with retraction. (B) Six-month follow-up MRI shows apparent integrity of the tendon.

그들은 Permacol을 보강술에 사용하는 것은 적극 지지하였으나, 단순히 회전근 개의 결손 부위를 연결하는 목적으로 사용하는 것은 모든 예에서 재파열과 증상 악화 소견을 보여 추천하지 않는다고 하였다.

수술 수기

최근의 임상 자료를 살펴보면 회전근 개복원술 시 세포 외 기질 이식물의 사용에 대한 특별히 알려진 술기나 술 후 재활 방법은 없다. 일부에서 관절경적 술기를 이용하여⁵²⁾ 세포 외 기질 이식물을 적용하는 술기와 결과를 보고하기도 하였으나 술기가 어렵고 시간이 오래 걸리는 단점으로 대부분의 경우에 개방적 수술법을 선호한다. 수술 과정은 기본적으로 회전근 개 봉합술의 개방적 수술 술기와 동일하다. 비활성 조직이나 상태가 불량한 조직의 변연 절제술 후 유리술을 통하여 건의 충분한 길이를 확보하며, 여의치 않는 경우 marginal convergence 혹은 부분 봉합술을 시행한다. 남아있는 결손 부위를 세포 외 기질 이식물을 이용하여 건강한 건과 대결절의 회전근 기시부의 골 표면을 충분히 덮여주도록 한다. 이때 세포 외 기질 이식물은 긴장이 유지된 상태에서 봉합 나사못과 봉합사를 이용하여 건과 대결절 골 표면을 연결시킨다. 술 후 보조기 사용과 재활은 기존의 방법과 동일하게 시행한다.

요 약

세포 외 기질 지지체를 이용한 술식은 최근에 광범위 회전근 개 파열의 치료 방법 중 관심 분야 중의 하나이다. 이러한 지지체를 이용한 보강을 통하여 봉합 부위의 기계적인 강도 및 향상된 생물학적인 치유를 얻고자 하는 것이 이론적인 배경이 될 수 있다. 따라서 이상적인 지지체는 생물학적인 치유를 유도할 수 있는 기능과 치유 기간 동안 봉합 부위를 유지할 수 있는 적절한 기계적

특성을 가지고 있어야 한다. 또한 인체 내에서의 면역 반응 및 재형성(remodeling) 과정이 치료 결과에 중요한 요인이 될 수 있으며 조직의 유래(origin), 가공 과정(processing), 최종 멸균 방법 등도 영향을 미칠 수 있다. 최근까지의 연구 결과를 보면 지지체의 기계적 특성 및 봉합사를 견딜 수 있는 강도, 수술 시의 지지체 적용 방법이 건 봉합 상태의 유지에 미치는 영향 등은 동물 실험을 통하여 확인할 수 있으나 수술 후, 수일에서 수주 정도의 시간이 경과하였을 경우에 이러한 지지체가 얼마나 재파열 방지에 영향을 미치는지는 실험을 통하여 입증하기가 어려운 실정이며, 개개의 세포 외 기질의 특성에 따라서 지지체의 물성과 봉합사를 견딜 수 있는 강도는 변화할 것으로 판단된다. 세포 외 기질 지지체를 이용한 회전근 개 보강술의 효능에 대한 동물 실험 결과가 제한적으로 보고되고 있지만 아직까지도 이런 물질들이 인체 내에서 어떻게 작용하고 변화하는지를 완전하게 재현해줄 수 있는 실험 동물에 대한 연구는 불충분한 상태이다. 최근에 이런 지지체의 임상 적용이 제한적으로는 양호한 결과를 보여주고 있으나 향후 충분한 연구가 진행되어야 할 것이다. 최근까지의 임상 결과를 토대로 세포 외 기질 지지체는 건의 상태가 불량하지만 봉합이 가능한 대파열 이상의 회전근 개 파열이나 상완골 대결절까지의 완전한 봉합이 불가능한 경우에 보강의 개념으로 사용이 가능하며, 심한 근 위축이 동반된 봉합이 불가능한 광범위 회전근 개 파열에서 건 이전술(tendon transfer)이나 부분 봉합으로 해결이 어려운 경우에 개재 이식 목적으로 사용이 가능하다(Fig. 1).

결 론

최근에 회전근 개 파열의 치료에 사용이 가능한 다양한 세포 외 기질 지지체가 소개되고 있다. 개개의 세포 외 기질 지지체는 각기 다른 생물학적 특성 및 기계적 특성을 갖고 있으므로 이에 대한 충분한 이해와 적절한 환자의 선택이 이루어져야 성공적인 치료 결과를 얻을 수 있을 것이다. 최근까지의 연구 결과에 의하면

세포 외 기질 지지체의 치료 효과는 부분적으로 긍정적인 결과가 발표되고 있지만 이에 대한 안정성, 작용 기전, 효능에 대한 기초 및 임상 연구가 충분히 진행되어야 할 것이다.

참고문헌

- DeOrio JK, Cofield RH. Results of a second attempt at surgical repair of a failed initial rotator-cuff repair. *J Bone Joint Surg Am.* 1984;66:563-7.
- Gerber C, Fuchs B, Hodler J. The results of repair of massive tears of the rotator cuff. *J Bone Joint Surg Am.* 2000;82:505-15.
- 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.* 2004;86:219-24.
- Adebajo AO, Nash P, Hazleman BL. A prospective double blind dummy placebo controlled study comparing triamcinolone hexacetonide injection with oral diclofenac 50 mg TDS in patients with rotator cuff tendinitis. *J Rheumatol.* 1990;17:1207-10.
- Bigliani LU, Cordasco FA, McIlveen SJ, Musso ES. Operative treatment of failed repairs of the rotator cuff. *J Bone Joint Surg Am.* 1992;74:1505-15.
- 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.* 2007;35:1254-60.
- Gerber C, Krushell RJ. Isolated rupture of the tendon of the subscapularis muscle. Clinical features in 16 cases. *J Bone Joint Surg Br.* 1991;73:389-94.
- Gill TJ, McIlrvin E, Mair SD, Hawkins RJ. Results of biceps tenotomy for treatment of pathology of the long head of the biceps brachii. *J Shoulder Elbow Surg.* 2001;10:247-9.
- Levy O, Mullett H, Roberts S, Copeland S. The role of anterior deltoid reeducation in patients with massive irreparable degenerative rotator cuff tears. *J Shoulder Elbow Surg.* 2008;17:863-70.
- Ma CB, MacGillivray JD, Clabeaux J, Lee S, Otis JC. Biomechanical evaluation of arthroscopic rotator cuff stitches. *J Bone Joint Surg Am.* 2004;86:1211-6.
- Adams JE, Zobitz ME, Reach JS Jr, An KN, Steinmann SP. Rotator cuff repair using an acellular dermal matrix graft: an in vivo study in a canine model. *Arthroscopy.* 2006;22:700-9.
- Coons DA, Alan Barber F. Tendon graft substitutes-rotator cuff patches. *Sports Med Arthrosc.* 2006;14:185-90.
- Derwin KA, Baker AR, Spragg RK, Leigh DR, Iannotti JP. Commercial extracellular matrix scaffolds for rotator cuff tendon repair. Biomechanical, biochemical, and cellular properties. *J Bone Joint Surg Am.* 2006;88:2665-72.
- Aoki M, Miyamoto S, Okamura K, Yamashita T, Ikada Y, Matsuda S. Tensile properties and biological response of poly(L-lactic acid) felt graft: an experimental trial for rotator-cuff reconstruction. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater.* 2004;71:252-9.
- Derwin KA, Codsi MJ, Milks RA, Baker AR, McCarron JA, Iannotti JP. Rotator cuff repair augmentation in a canine model with use of a woven poly-L-lactide device. *J Bone Joint Surg Am.* 2009;91:1159-71.
- Koh JL, Szomor Z, Murrell GA, Warren RF. Supplementation of rotator cuff repair with a bioresorbable scaffold. *Am J Sports Med.* 2002;30:410-3.
- MacGillivray JD, Fealy S, Terry MA, Koh JL, Nixon AJ, Warren RF. Biomechanical evaluation of a rotator cuff defect model augmented with a bioresorbable scaffold in goats. *J Shoulder Elbow Surg.* 2006;15:639-44.
- Kimura A, Aoki M, Fukushima S, Ishii S, Yamakoshi K. Reconstruction of a defect of the rotator cuff with polytetrafluoroethylene felt graft. Recovery of tensile strength and histocompatibility in an animal model. *J Bone Joint Surg Br.* 2003;85:282-7.
- Chen JM, Willers C, Xu J, Wang A, Zheng MH. Autologous tenocyte therapy using porcine-derived bioscaffolds for massive rotator cuff defect in rabbits. *Tissue Eng.* 2007;13:1479-91.
- Dejardin LM, Arnoczky SP, Clarke RB. Use of small intestinal submucosal implants for regeneration of large fascial defects: an experimental study in dogs. *J Biomed Mater Res.* 1999;46:203-11.
- Dejardin LM, Arnoczky SP, Ewers BJ, Haut RC, Clarke RB. Tissue-engineered rotator cuff tendon using porcine small intestine submucosa. Histologic and mechanical evaluation in dogs. *Am J Sports Med.* 2001;29:175-84.
- McAdams TR, Knudsen KR, Yalamanchi N, Chang J, Goodman SB. Deltoid flap combined with fascia lata autograft for rotator cuff defects: a histologic study. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2007;15:1144-9.
- Nicholson GP, Breur GJ, Van Sickle D, Yao JQ, Kim J, Blanchard

- CR. Evaluation of a cross-linked acellular porcine dermal patch for rotator cuff repair augmentation in an ovine model. *J Shoulder Elbow Surg.* 2007;16:S184-90.
24. Perry SM, Gupta RR, Van Kleunen J, Ramsey ML, Soslowky LJ, Glaser DL. Use of small intestine submucosa in a rat model of acute and chronic rotator cuff tear. *J Shoulder Elbow Surg.* 2007;16:S179-83.
25. Sano H, Kumagai J, Sawai T. Experimental fascial autografting for the supraspinatus tendon defect: remodeling process of the grafted fascia and the insertion into bone. *J Shoulder Elbow Surg.* 2002;11:166-73.
26. Schlegel TF, Hawkins RJ, Lewis CW, Motta T, Turner AS. The effects of augmentation with Swine small intestine submucosa on tendon healing under tension: histologic and mechanical evaluations in sheep. *Am J Sports Med.* 2006;34:275-80.
27. Zalavras CG, Gardocki R, Huang E, Stevanovic M, Hedman T, Tibone J. Reconstruction of large rotator cuff tendon defects with porcine small intestinal submucosa in an animal model. *J Shoulder Elbow Surg.* 2006;15:224-31.
28. Zheng MH, Chen J, Kirilak Y, Willers C, Xu J, Wood D. Porcine small intestine submucosa (SIS) is not an acellular collagenous matrix and contains porcine DNA: possible implications in human implantation. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater.* 2005;73:61-7.
29. Funakoshi T, Majima T, Suenaga N, Iwasaki N, Yamane S, Minami A. Rotator cuff regeneration using chitin fabric as an acellular matrix. *J Shoulder Elbow Surg.* 2006;15:112-8.
30. Funakoshi T, Majima T, Iwasaki N, et al. Application of tissue engineering techniques for rotator cuff regeneration using a chitosan-based hyaluronan hybrid fiber scaffold. *Am J Sports Med.* 2005;33:1193-201.
31. Halder A, Zobitz ME, Schultz E, An KN. Structural properties of the subscapularis tendon. *J Orthop Res.* 2000;18:829-34.
32. Halder A, Zobitz ME, Schultz F, An KN. Mechanical properties of the posterior rotator cuff. *Clin Biomech (Bristol, Avon).* 2000;15:456-62.
33. Itoi E, Berglund LJ, Grabowski JJ, et al. Tensile properties of the supraspinatus tendon. *J Orthop Res.* 1995;13:578-84.
34. Schneeberger AG, von Roll A, Kalberer F, Jacob HA, Gerber C. Mechanical strength of arthroscopic rotator cuff repair techniques: an in vitro study. *J Bone Joint Surg Am.* 2002;84:2152-60.
35. Barber FA, Herbert MA, Boothby MH. Ultimate tensile failure loads of a human dermal allograft rotator cuff augmentation. *Arthroscopy.* 2008;24:20-4.
36. Gilbert TW, Sellaro TL, Badylak SF. Decellularization of tissues and organs. *Biomaterials.* 2006;27:3675-83.
37. Derwin KA, Baker AR, Spragg RK, Leigh DR, Farhat W, Iannotti JP. Regional variability, processing methods, and biophysical properties of human fascia lata extracellular matrix. *J Biomed Mater Res A.* 2008;84:500-7.
38. Baker AR, Abreu EL, Mascha E, Derwin KA. Homotypic variation of canine flexor tendons: implications for the design of experimental studies in animal models. *J Biomech.* 2004;37:959-68.
39. Badylak S, Arnoczky S, Plouhar P, et al. Naturally occurring extracellular matrix as a scaffold for musculoskeletal repair. *Clin Orthop Relat Res.* 1999;367 Suppl:S333-43.
40. Musahl V, Abramowitch SD, Gilbert TW, et al. The use of porcine small intestinal submucosa to enhance the healing of the medial collateral ligament--a functional tissue engineering study in rabbits. *J Orthop Res.* 2004;22:214-20.
41. Badylak SF, Tullius R, Kokini K, et al. The use of xenogeneic small intestinal submucosa as a biomaterial for Achilles tendon repair in a dog model. *J Biomed Mater Res.* 1995;29:977-85.
42. Badylak SF, Kropp B, McPherson T, Liang H, Snyder PW. Small intestinal submucosa: a rapidly resorbed bioscaffold for augmentation cystoplasty in a dog model. *Tissue Eng.* 1998;4:379-87.
43. Record RD, Hillegonds D, Simmons C, et al. In vivo degradation of ¹⁴C-labeled small intestinal submucosa (SIS) when used for urinary bladder repair. *Biomaterials.* 2001;22:2653-9.
44. Allman AJ, McPherson TB, Badylak SF, et al. Xenogeneic extracellular matrix grafts elicit a TH2-restricted immune response. *Transplantation.* 2001;71:1631-40.
45. Badylak SF, Wu CC, Bible M, McPherson E. Host protection against deliberate bacterial contamination of an extracellular matrix bioscaffold versus Dacron mesh in a dog model of orthopedic soft tissue repair. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater.* 2003;67:648-54.
46. Beniker D, McQuillan D, Livesey S, et al. The use of acellular dermal matrix as a scaffold for periosteum replacement. *Orthopedics.* 2003;26:s591-6.
47. Macleod TM, Williams G, Sanders R, Green CJ. Histological evaluation of Permacol as a subcutaneous implant over a 20-week period in the rat model. *Br J Plast Surg.* 2005;58:518-32.
48. Sclamberg SG, Tibone JE, Itamura JM, Kasraeian S. Six-

- month magnetic resonance imaging follow-up of large and massive rotator cuff repairs reinforced with porcine small intestinal submucosa. *J Shoulder Elbow Surg.* 2004;13:538-41.
49. Iannotti JP, Codsi MJ, Kwon YW, Derwin K, Ciccone J, Brems JJ. Porcine small intestine submucosa augmentation of surgical repair of chronic two-tendon rotator cuff tears. A randomized, controlled trial. *J Bone Joint Surg Am.* 2006;88:1238-44.
 50. Dopirak R, Bond JL, Snyder SJ. Arthroscopic total rotator cuff replacement with an acellular human dermal allograft matrix. *Int J Shoulder Surg.* 2007;1:7-15.
 51. Burkhead WZ, Schiffern SC, Krishnan SG. Use of GraftJacket as an augmentation for massive rotator cuff tears. *Semin Arthroplasty.* 2007;18:11-8.
 52. Bond JL, Dopirak RM, Higgins J, Burns J, Snyder SJ. Arthroscopic replacement of massive, irreparable rotator cuff tears using a GraftJacket allograft: technique and preliminary results. *Arthroscopy.* 2008;24:403-9.
 53. Badhe SP, Lawrence TM, Smith FD, Lunn PG. An assessment of porcine dermal xenograft as an augmentation graft in the treatment of extensive rotator cuff tears. *J Shoulder Elbow Surg.* 2008;17:35S-39S.
 54. Soler JA, Gidwani S, Curtis MJ. Early complications from the use of porcine dermal collagen implants (Permacol) as bridging constructs in the repair of massive rotator cuff tears. A report of 4 cases. *Acta Orthop Belg.* 2007;73:432-6.

Management of Massive Rotator Cuff Tear

Management of Massive Rotator Cuff Tears: Role of the Tendon Augmentation

Kwang Won Lee, M.D., Ph.D., Kyoung Wan Bae, M.D., and Yun Seob Hwang, M.D.
Department of Orthopaedic Surgery, Eulji University Hospital, Daejeon, Korea

Rotator cuff tears are a common cause of debilitating pain, reduced shoulder function, and weakness. Despite improvements in the understanding of the disease process and advances in surgical treatment, recent studies have reported that healing of massive rotator cuff tears is not as predictable as that of smaller rotator cuff tears. These high failure rates are a result of both mechanical and biologic factors that may affect the patients' intrinsic capacity to heal. Most research studies have concentrated on tissue engineering as a means for improvement of healing in rotator cuff repair, including the use of scaffolds, growth factors, and mesenchymal stem cells. There has been much interest in the development of various scaffolds that provide adequate strength as well as stimulate and enhance healing potential. The purpose of this paper is to review the current basic science and clinical application of extracellular matrix scaffolds, which are currently the most widely used scaffolds for repair of rotator cuff tears.

Key words: rotator cuff, massive, augmentation, extracellular matrix scaffolds

Received January 7, 2013 **Revised** January 27, 2013 **Accepted** January 28, 2013

Correspondence to: Kwang Won Lee, M.D., Ph.D.

Department of Orthopaedic Surgery, Eulji University Hospital, 95, Dunsanseo-ro, Seo-gu, Daejeon 302-799, Korea

TEL: +82-42-611-3266 **FAX:** +82-42-259-1289 **E-mail:** kwangwon@eulji.ac.kr