

회전근개 봉합술 후 고 신체활동의 효과

서울백병원 정형외과 스포츠메디컬센터¹, 인제대학교 스포츠의학연구소²

최문영^{1,2} · 김진성^{1,2} · 공두환^{1,2} · 장석환^{1,2}

Effectiveness of High Physical Activity after Rotator Cuff Repair

Moon-Young Choi^{1,2}, Jin-Seong Kim^{1,2}, Doo-Hwan Kong^{1,2}, Suk-Hwan Jang^{1,2}

¹Department of Orthopedic Surgery and Sports Medical Center, Seoul Paik Hospital, Seoul,

²Sports Medical Research Institute, Inje University, Seoul, Korea

Purpose: This study aims to determine the effectiveness of high physical activity (PA) on shoulder pain, functional recovery, and structural outcome in the early healing phase after arthroscopic rotator cuff repair (ARCR).

Methods: Forty-two patients were included in this study according to inclusion criteria. Subjects were classified into high PA (HPA) group (n=22) and low PA (LPA) group (n=20) according to the classification criteria. Differences between groups according to the PA level were analyzed by comparing visual analogue scale (VAS), range of motion (ROM), American Shoulder and Elbow Surgeons Shoulder Score (ASES), and isokinetic strength before and 6 weeks, 3, and 6 months after surgery. Structural outcome was analyzed by evaluating magnetic resonance imaging performed 6 months after ARCR.

Results: VAS, ROM, and ASES were significantly higher in the HPA group at 6 weeks and 3 months after ARCR with a significant interaction effect between time and group ($p < 0.05$). The isokinetic muscle strength was significantly higher in the HPA group at 3 months after surgery with a significant interaction effect on forward flexion and external rotation strength ($p < 0.05$). There was no significant difference in extension and internal rotation strength. In the structural outcome of 6 months after surgery, the retear rate was lower in the HPA group with a significant trend ($p < 0.05$).

Conclusion: In this study, higher PA levels in the early healing phase after ARCR were found to result in faster pain relief and restoration of shoulder function. In addition, higher PA level was associated with lower retear rates in structural outcomes related to tendon healing.

Keywords: Rotator cuff, Exercise, Shoulder pain, Recovery of function, Muscle strength

Received: May 19, 2022 Revised: October 31, 2022 Accepted: December 28, 2022

Correspondence: Suk-Hwan Jang

Department of Orthopedic Surgery and Sports Medical Center, Inje University Seoul Paik Hospital, 9 Mareunnae-ro, Jung-gu, Seoul 04551, Korea

Tel: +82-2-2270-0028, Fax: +82-2-2270-0023, E-mail: jsh@paik.ac.kr

Copyright ©2023 The Korean Society of Sports Medicine

© This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://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.

서론

회전근개 파열은 견관절 통증의 가장 흔한 원인 중 하나이며, 견관절의 기능 저하와 함께 일상생활 활동(activities of daily living)의 제한으로 이어질 수 있다¹. 주로 선호되는 초기 치료 방법은 비수술적 치료이지만, 이러한 관리가 성공적이지 않은 경우에는 수술적 치료가 환자의 90% 이상에서 기능을 향상하고 통증을 완화하는 것으로 보고되었다². 과거에는 회전근개의 해부학적 구조를 복원하기 위해 대부분 개방형 회전근개 봉합술(open rotator cuff repair)이 시행되었지만, 현재에는 관절경하 회전근개 봉합술(arthroscopic rotator cuff repair)이 최소 침습적 기법으로 수행되어 견고한 고정과 함께 초기에 관절 가동범위(range of motion, ROM) 회복을 가능하게 한다는 장점 때문에 표준 방법으로 여겨지고 있다³. 하지만 수술 기법의 상당한 발전에도 불구하고 여전히 수술 후 통증과 기능 저하로 인해 초기에 일상생활 활동으로 복귀하는 것에 어려움을 느끼는 환자들이 많으며, 장기적인 결과에서 11%~57%에 이르는 높은 재파열률(retear rate)이 보고되고 있어 주요 주제로 논의되고 있다^{4,5}.

흔히 수술 초기에 심한 통증을 호소하는 환자들은 고용량의 진통제를 필요로 하며, 이는 합병증에 대한 부작용 위험을 증가시킨다⁶. 이러한 부작용들은 저산소증(hypoxia), 호흡 억제(respiratory depression), 저혈압(hypotension), 착란(confusion) 및 현기증(dizziness) 등의 징후와 함께 나타나며, 이는 환자의 일상생활 활동 복귀를 지연하고 치유에도 부정적인 영향을 미쳐 봉합된 건 조직의 재파열 위험이 증가할 수 있다⁷.

그동안 수술 후 통증 조절과 치유를 촉진하기 위한 다양한 방법들이 연구되었다⁸. 그중 높은 수준의 신체활동이 전신적인 통각 저하 및 손상된 조직의 치유를 가속하는 효과적인 중재 방법이라는 것이 많은 근거들을 통해 입증되었다⁹⁻¹¹. 회전근개 봉합술 후 건의 치유 과정에서 조직화된 콜라겐의 최대 증가는 초기 치유 단계인 2-4주 사이에 이루어진다. 수술 4주 이후부터는 건에서 감각 신경 섬유(sensory nerve fiber)의 발생이 잇달아 감소함에 따라 새롭게 조직화된 콜라겐 형성의 속도는 서서히 감소하기 시작한다¹². 따라서 수술 후 통증을 완화하고, 빠른 기능 회복 및 성공적인 건 치유를 위해서는 초기 치유 단계의 신체활동이 매우 중요할 것으로 생각된다. 하지만 신체활동의 임상적 효과에 대한 많은 근거가 보고되었음에도 불구하고, 회전근개 봉합술 후 신체활동 수준에 따른 환자들의 임상 결과의 차이에 대한 연구는 아직 거의 이루어지지 않았다. 따라서 본 연구에서는 관절경하 회전근개 봉합술 후 견관절 고정으로 인해 신체활동량이 급격하게 저하되는 수술 후 초기 치유 단계에서

수행하는 신체활동 수준의 차이가 견관절 통증, 기능 회복 및 재파열률에 어떠한 영향을 미치는지를 확인하고자 하였다.

연구 방법

1. 연구 대상 및 설계

본 연구는 서울백병원 임상시험심사위원회로부터 승인을 받은 후 진행하였으며, 모든 환자들은 자필로 서명한 서면 동의서를 제출했다(No. PAIK 2021-04-009). 2019년 2월부터 2020년 1월까지 해당 의료기관에서 118명의 환자가 회전근개 파열에 대한 치료를 위해 관절경하 회전근개 봉합술을 시행 받고, 수술 후 정기적인 경과 관찰 시점마다 필요한 모든 평가를 완료하였다. 이들 중 수술 후 결과에 영향을 미칠 수 있는 병리적, 심리·사회적 요인들을 고려하여 광범위(massive) 또는 부분(partial) 회전근개 파열 환자, 견갑하근(subscapularis) 파열 환자, 재파열(retear)로 인한 재수술(revision surgery) 환자, 동일한 부위에 기타 견관절 수술을 동시에 시행한 환자, 업무상 재해로 산재보상보험 청구(workers' compensation claim) 중인 환자는 연구 대상에서 제외하였다. 이에 따라 118명 중 76명이 제외되었으며, 최종적으로 총 42명이 본 연구에 포함되었다(Fig. 1). 대상자들은 모두 수술 후 6주까지 한국어판 단문형 국제신체활동설문(International Physical Activity Questionnaire, IPAQ)¹³을 작성하여 신체활동 대사당량(metabolic equivalent of task, MET)을 측정하였다. 12개국에서 신뢰도와 타당도가 입증된 IPAQ는 지난 7일간 격렬한 신체활동, 중간 정도 신체활동, 걷기 활동, 비활동에 소모한 빈도와 시간을 평가하는 7가지 질문으로 구성된 신체활동 측정 도구이다. 본 연구에서는 견관절 고정화로 인한 상지의 관절운동 제한을 고려하여 걷기, 계단 오르기, 하이킹, 조깅, 고정식 자전거 타기 등과 같은 하지를 사용하는 신체활동만을 조사하여 기록하였다. 측정된 신체활동 데이터는 Ainsworth 등¹⁴이 발표한 공식을 사용하여 주당 신체활동 대사당량(MET-min/week)으로 변환하였다. 환산을 위한 표준 MET 값은, 걷기는 3.3 MET, 중간 정도 신체활동은 4.0 MET, 격렬한 신체활동은 8.0 MET이다. 주 5일 이상 걷기 또는 중간 정도 활동으로 600 MET-min/week 이상을 달성하거나 주 3일 이상 격렬한 활동을 최소 20분 이상 수행한 경우 고 신체활동(high physical activity, HPA) 그룹으로 분류하였으며, HPA 그룹에 포함되는 신체활동량을 충족하지 못한 경우 저 신체활동(low physical activity, LPA) 그룹으로 분류하였다¹⁵.

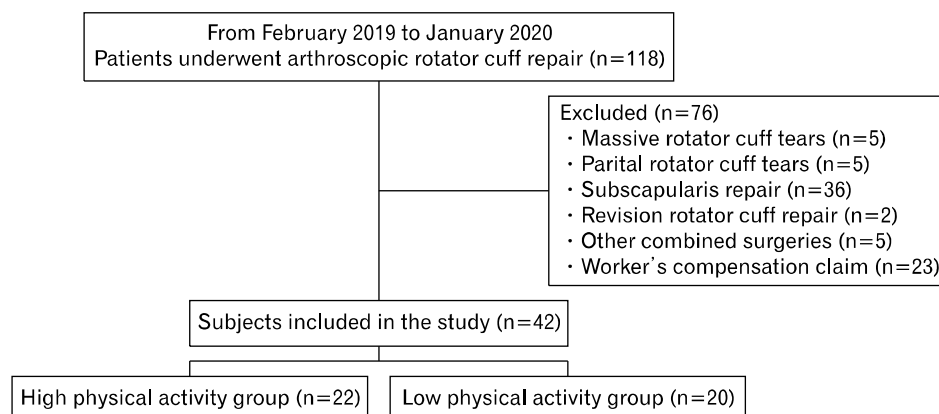


Fig. 1. Flow diagram of subject selection.

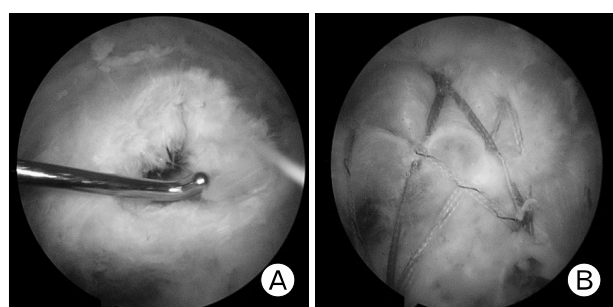


Fig. 2. Arthroscopic rotator cuff repair. (A) Subacromial decompression. (B) Suture bridge technique.

2. 수술 기법

본 연구에 포함된 대상자들은 모두 동일한 정형외과 전문의가 견봉하 감압술(subacromial decompression)과 교량형 봉합술(suture bridge technique)을 적용한 관절경하 회전근개 봉합술을 시행하였다(Fig. 2). 견봉하 감압술은 견봉하 활액낭 절제술(subacromial bursectomy), 오구 견봉 인대 절제술(coracoacromial ligament resection), 견봉 성형술(acromioplasty)로 이루어지며, 견봉하 공간(subacromial space)의 높이를 증가시켜 회전근개 건에 가해지는 충격을 완화하는 수술 기법이다¹⁶. 교량형 봉합술은 초기 고정 강도(fixation strength) 및 건-골 부착부(tendon-bone interface)에 작용하는 접촉 면적 및 압력의 측면에서 다른 회전근개 봉합술보다 우수하고, 생체역학적으로 가장 안정적인 방법으로 보고되고 있는 수술 기법이다¹⁷.

3. 수술 후 재활 운동 프로그램

모든 환자에게 동일한 수술 후 재활 운동 프로그램을 적용하였다. 환자들은 수술 후 6주 동안 견관절 외전 보조기(abduction brace)를 착용하여 20° 외전, 30° 내회전된 자세로 견관절을 고정

하고, 인접 관절에 대한 능동적 ROM 운동 및 견갑골의 후인(retraction), 하강(depression) 등을 통한 견갑골 포지셔닝 운동만을 수행하였다. 수술 후 만 6주부터 견관절의 등척성 운동(isometric exercise) 및 수동적 ROM 운동(전방굴곡, 외회전)을 시작하여 점진적으로 수술 후 만 8주부터 만 9주까지 능동-보조 ROM 운동(전방굴곡, 외회전), 수술 후 만 10주부터 만 11주까지 능동적 ROM 운동(전방굴곡, 신전, 외회전, 내회전)을 수행하였다. 견관절의 내회전 ROM 운동은 봉합된 건에 과도한 인장력이 가해지는 것을 피하기 위해 수술 후 만 9주까지 능동적, 수동적 ROM 운동을 모두 제한하고, 수술 후 만 10주부터 능동적 ROM 운동을 시작하였다. 저항성 근력 강화 운동은 건이 안전한 강도(strength) 및 인장 강도(tensile strength)에 도달하는 수술 후 만 12주부터 탄성 밴드를 사용하는 저항성 운동을 시작하여 점진적으로 닫힌 사슬운동과 함께 운동 강도를 증가하며 수행하였다(Table 1).

4. 측정 항목 및 방법

모든 환자는 수술 전 및 수술 후 만 6주, 3개월, 6개월 시점에 견관절의 통증, ROM, 기능 점수를 평가하였다. 견관절의 등척성 근력은 봉합된 건에 과도한 긴장이 가해지는 것을 피하고자 수술 후 6주에는 실시하지 않았으며, 수술 전 및 수술 후 만 3개월, 6개월 시점에 평가하였다. 마지막으로 봉합된 회전근개 건의 구조적 결과는 수술 후 만 6개월에 평가하였다.

1) 견관절 통증(shoulder pain)

견관절 통증은 시각 아날로그 척도(visual analogue scale, VAS)를 사용하여 측정하였다. 소숫점까지 숫자가 표시된 10 cm의 선에서 좌측 끝 지점은 0점(통증이 전혀 없는 상태), 우측 끝 지점은 10점(가장 극심한 통증 상태)으로 정의하였으며, 환자가 느끼는 주관적인 통증의 정도를 직접 표기하게 하여 소수 첫째 자리까지 점수화하였다.

2) 견관절 가동범위(shoulder range of motion)

견관절의 ROM은 관절각도계(goniometer)를 사용하여 전방굴곡, 외전, 외회전을 측정하였다. 환자가 바르게 누운 자세(supine position)에서 관절각도계의 축을 견관절의 해부학적 축과 일치시켜 능동적으로 가동할 수 있는 최대 각도를 기록하였다. 굴곡과 외전은 해부학적 자세에서 측정하였으며, 외회전은 견관절을 90° 외전하고, 주관절을 90° 굴곡한 자세에서 측정하였다. 내회전은 봉합된 건에 과도한 긴장이 가해지는 것을 피하기 위해 수술 후 6주 시점에 측정을 생략하였으며, 따라서 본 연구의 분석에서는 제외하였다. 각각의 측정을 수행할 때 통증이 유발되지 않는 범위에서 도달할 수 있는 최대 지점을 2회씩 측정하여 평균값을 기록하였다.

Table 1. Rehabilitation exercise program

Period (wk)	Rehabilitation exercise
0-5	Adjacent joints AROM (neck, elbow, wrist, hand) Scapular positioning (retraction, depression)
6-7	Shoulder PROM (FF, ER) Shoulder isometric exercises (FF, Ext., ER, IR)
8-9	Shoulder AAROM (FF, ER) Table slides (FF, Scaption)
10-11	Shoulder AROM (FF, Ext., ER, IR) Progress Supported vertical wall slides → wall walks
After 12	Progress pain-free full PROM → full AROM Active muscle strengthening (elastic resistance band exercise, etc.)

AROM: active range of motion, PROM: passive range of motion, FF: forward flexion, ER: external rotation, Ext.: extension, IR: internal rotation, AAROM: active assisted range of motion.

3) 견관절 기능 점수(shoulder function score)

일상생활 활동과 관련된 견관절의 기능 평가는 American Shoulder and Elbow Surgeons (ASES) score를 사용하였다¹⁸. ASES score는 어깨의 통증 및 기능과 관련된 10개의 문항으로 구성된 설문지로, 총점은 통증 50%, 기능 50%의 가중치를 부여하여 100점 만점으로 환산한다. 점수가 높을수록 더 나은 주관적 견관절 상태를 의미한다. ASES score는 재현성이 높고, 임상에서 쉽게 적용할 수 있어 거의 모든 어깨 질환에 사용할 수 있다는 장점이 있다.

4) 견관절 등속성 근력(isokinetic strength of shoulder)

견관절의 등속성 근력 검사는 HUMAC NORM (CSMi Inc.)을 사용하여 수행하였으며, 양측 견관절의 전방굴곡, 신전, 외회전, 내회전을 60°/sec의 각속도로 4회씩 실시하여 최대 우력(peak torque)을 측정하였다(Fig. 3). 측정된 등속성 근력 값은 수술을 실시하지 않은 반대쪽 근력 값에 대한 백분율(%)로 정규화하였다¹⁹.

5) 구조적 결과(structural outcome)

봉합된 회전근개 건의 치유 및 재파열률과 관련된 구조적 결과는 수술 후 만 6개월에 촬영된 자기공명영상(magnetic resonance imaging, MRI) 자료를 PACS (picture archiving and communication system) Marosis M-view 5.4 (Marotech)를 사용해 판독하여 Sugaya classification에 따라 유형을 분류하여 분석하였다²⁰. 봉합된 건이 충분한 두께를 보이며 균일하게 저신호강도를 나타낼 경우 type I, 충분한 두께와 함께 부분적인 고신호강도를 나타낼 경우 type II, 두께가 불충분하지만 불연속성이 없을 경우 type III, 약간의 불연속성이 존재할 경우 type IV, 명확한 불연속성이 존재할 경우 type V로 평가하였으며, type I, II는 완전 치유(intact healing), type III는 불충분한 두께 부분 치유(insufficient thickness healing), type IV, V는 재파열(retear)로 분류하였다.



Fig. 3. Evaluation of shoulder isokinetic strength. (A) Forward flexion/extension. (B) External/internal rotation.

5. 자료 처리 방법

본 연구에서 얻어진 모든 자료는 IBM SPSS version 22.0 (IBM Corp.)을 이용하여 기술 통계치를 산출하였다. 시기에 따른 변화와 그룹 간 차이의 상호작용을 평가하기 위해 이원 변량 반복측정 분산분석을 실시하였으며, 유의한 상호작용 효과가 나타난 변인에 대해서는 Bonferroni correction을 사용하여 각 시기별 그룹 간 차이에 대한 사후 검정을 실시하였다. 구조적 결과는 선형 대 선형 결합(linear-by-linear association)으로 교차분석을 실시하여 질적 변수의 양적 차이에 대한 통계적 유의성을 평가하였다. 모든 자료의 통계적 유의 수준은 $\alpha=0.05$ 로 설정하였다.

결 과

1. 대상자의 특성

본 연구에 포함된 대상자 42명은 IPAQ 신체활동량 평가 기준에 따라 HPA 그룹($n=22$)과 LPA 그룹($n=20$)으로 각각 분류하였다. 통계 분석 결과 그룹 간에 연령, 성별, 신장, 체중, 체질량지수, 수술 부위 및 파열 크기에서는 유의한 차이가 없었으며, 주당 신체활동량에서만 유의한 차이가 있었다($p<0.05$) (Table 2).

2. 신체활동 수준에 따른 견관절 통증의 차이

수술 후 견관절 통증의 시기에 따른 변화와 그룹 간의 차이는 유의한 상호작용 효과가 있는 것으로 나타났다($p<0.05$). 각 시기별 그룹 간 비교에서 수술 후 6주, 3개월에 유의한 차이와 함께 HPA 그룹에서 LPA 그룹보다 더 낮은 VAS 점수를 보였다($p<0.05$) (Table 3).

Table 3. Shoulder pain

Time	VAS score	
	HPA group	LPA group
Preoperative	7.82±0.66	7.75±0.85
Postoperative		
6 wk	3.95±0.72 [†]	6.65±0.88
3 mo	2.91±1.02 [†]	4.65±1.53
6 mo	1.32±0.89	1.95±1.23
F-value	22.848	
p-value	<0.001*	

Values are presented as mean±standard deviation.
VAS: visual analogue scale, HPA: high physical activity, LPA: low physical activity.
* $p<0.05$, statistically significant; [†] $p<0.05$, significant difference from LPA group.

Table 2. Characteristics of subjects

Characteristic	HPA group	LPA group	p-value
No. of patients	22	20	
Age (yr)	60.32±8.71	61.15±7.07	0.737 [‡]
Sex			0.768 [‡]
Male	12 (54.5)	10 (50.0)	
Female	10 (45.5)	10 (50.0)	
Height (cm)	162.27±9.15	160.46±9.32	0.529 [‡]
Weight (kg)	65.96±9.65	64.49±8.84	0.611 [‡]
Body mass index (kg/m ²)	24.94±2.15	24.96±1.87	0.970 [‡]
Side of involvement			0.588 [‡]
Right	16 (72.7)	13 (65.0)	
Left	6 (27.3)	7 (35.0)	
Tear size			>0.999 [‡]
Small	2 (9.1)	1 (5.0)	
Medium	9 (40.9)	8 (40.0)	
Large	11 (50.0)	11 (55.0)	
Physical activity volume (MET-min/wk)	1,036.55±230.11	376.00±93.40	<0.001*, [†]

Values are presented as number only, mean±standard deviation, or number (%).

HPA: high physical activity, LPA: low physical activity.

[†]Analyzed with the independent samples t-test; [‡]analyzed with the chi-square test.

* $p<0.05$.

3. 신체활동 수준에 따른 견관절 가동범위의 차이

수술 후 견관절의 전방굴곡, 외회전, 외전 ROM의 시기에 따른 변화와 그룹 간의 차이에는 유의한 상호작용 효과가 있는 것으로 나타났다($p<0.05$). 각 시기별 그룹 간 비교에서 수술 후 6주, 3개월에 유의한 차이와 함께 HPA 그룹에서 LPA 그룹보다 더 큰 전방굴곡, 외회전, 외전 ROM를 보였다($p<0.05$) (Table 4).

4. 신체활동 수준에 따른 견관절 기능 점수의 차이

수술 후 견관절 기능 점수를 평가하기 위한 ASES 점수의 측정 시기에 따른 변화와 그룹 간의 차이에는 유의한 상호작용 효과가 있는 것으로 나타났다($p<0.05$). 각 시기별 그룹 간 비교에서 수술 후 6주, 3개월에 유의한 차이와 함께 HPA 그룹에서 LPA 그룹보다 ASES 점수가 더 높았다($p<0.05$) (Table 5).

5. 신체활동 수준에 따른 견관절 등속성 근력의 차이

수술 후 견관절 등속성 근력의 시기에 따른 변화와 그룹 간의 차이는 전방굴곡, 외회전 근력에서 유의한 상호작용 효과를 나타냈다($p<0.05$). 각 시기별 그룹 간 비교에서 수술 후 3개월에 유의한 차이와 함께 HPA 그룹에서 LPA 그룹보다 더 높은 전방굴곡, 외회전 근력이 나타났다($p<0.05$). 신전, 내회전 근력에서는 유의한 상호작용 효과 및 그룹 간 차이가 없었다(Table 6).

6. 신체활동 수준에 따른 구조적 결과의 차이

수술 후 6개월의 구조적 결과에 대한 평가에서 HPA 그룹($n=22$)에서는 18명(81.8%)이 완전 치유, 3명(13.6%)이 불충분한 두께 부분 치유, 1명(4.5%)이 재파열로 분류되었으며, LPA 그룹($n=20$)에서는 10명(50.0%)이 완전 치유, 7명(35.0%)이 불충분한 두께 부분 치유, 3명(15.0%)이 재파열로 분류되었다. 교차분석 결과

HPA 그룹과 LPA 그룹 간에는 통계적으로 유의한 구조적 결과의 차이가 있었다($p<0.05$) (Table 7).

고 찰

견관절의 운동은 주로 관절와상완관절(glenohumeral joint) 및 견흉관절(scapulothoracic joint)을 통해서 이루어지지만, 상지와 견갑골을 체간과 연결하는 견쇄관절(acromioclavicular joint) 및 흉쇄관절(sternoclavicular joint)의 기여 또한 매우 중요하다²¹. 견관절에서 발생하는 넓은 범위의 운동은 관절와의 얇은 컵(shallow cup)에 비해 상대적으로 큰 상완골두의 해부학적 구조로 인해 가능하다. 이러한 구조는 골프티 위의 골프공에 비유되며 본질적으로 불안정하기 때문에 견관절의 동적 안정성은 회전근개를 통해 제공된다²². 따라서 회전근개의 건이 파열되거나 찢어지면 이러한 기능들에 장애가 발생할 수 있다. 회전근개 파열의

Table 5. Shoulder function score

Time	ASES score	
	HPA group	LPA group
Preoperative	39.42±9.16	38.80±8.29
Postoperative		
6 wk	44.70±8.63 [†]	34.89±8.53
3 mo	65.31±8.38 [†]	54.16±8.31
6 mo	79.00±9.41	75.36±7.86
F-value	4.04	
p-value	0.009*	

Values are presented as mean±standard deviation.
ASES: American Shoulder and Elbow Surgeons, HPA: high physical activity, LPA: low physical activity.
* $p<0.05$, statistically significant; [†] $p<0.05$, significant difference from LPA group.

Table 4. Shoulder range of motion

Time	Forward flexion (°)		External rotation (°)		Abduction (°)	
	HPA group	LPA group	HPA group	LPA group	HPA group	LPA group
Preoperative	136.14±11.95	134.50±10.99	37.50±7.83	37.00±8.65	115.45±11.43	113.50±9.33
Postoperative						
6 wk	88.18±11.81 [†]	76.25±12.66	15.91±7.01 [†]	7.00±6.57	75.91±9.59 [†]	64.00±8.83
3 mo	135.23±13.84 [†]	116.00±13.14	40.68±10.27 [†]	27.50±9.67	115.91±7.96 [†]	103.00±9.79
6 mo	156.59±11.48	153.50±15.48	57.27±10.32	55.50±11.46	145.00±10.58	142.50±10.70
F-value	4.995		5.876		4.657	
p-value	0.003*		0.001*		0.005*	

Values are presented as mean±standard deviation.

HPA: high physical activity, LPA: low physical activity.

* $p<0.05$, statistically significant; [†] $p<0.05$, significant difference from LPA group.

대표적인 증상은 견관절 통증, 관절 ROM 제한 및 근 기능 저하이며, 이러한 증상들은 환자의 기본적인 일상생활 활동을 제한하는 심각한 문제이다¹. 따라서 환자의 통증을 완화하고, 기능을 복원하기 위해 관절경하 회전근개 봉합술이 널리 시행되고 있다³. 대부분의 환자들은 수술 직후부터 초기 치유 단계에 해당하는 4-6주 동안 외전 보조기를 사용하여 견관절을 고정(immobilization)하게 되며, 이로 인해 일상생활 활동 및 신체활동 참여에 제한을 겪게 된다²³. 그럼에도 불구하고 수술 후 초기에 견관절 고정을 실시하는 이유는 건 봉합부에 대한 긴장을 최소화하고, 즉각적인 수술 후 조기 운동 치료와 비교하여 더 향상된 콜라겐 배향(collagen orientation) 및 점탄성 성질(viscoelastic properties)로 이어질 수 있다는 이점을 가지고 있기 때문이다²⁴. 하지만 아이러니하게도 견관절 고정으로 인해 상지를 사용하는 능동적 움직임이 제한됨에 따라 환자들은 일상생활 활동에 큰 어려움을 느끼게 된다. 또한 상당한 통증과 활동에 대한 두려움, 신체활동의 필요성 및 방법에 대한 인식 부족 등의 복합적인 이유로 인해 신체활동 수준이 급격하게 저하되고, 앉아있거나 누워있는 시간이 증가한다. 치유와 관련된 구조적 결과에 영향을 미치는 매우 중요한 시기인 초기 치유 단계에서 이러한 낮은 신체활동 수준은 환자의 통증 완화와 기능 회복을 지연시키고, 일상생활 활동으로의 빠른 복귀 또한 어렵게 만들 수 있다. 따라서 수술 후 초기 단계에 환자들의 신체활동 수준을 증가할 수 있는 중재 방법이 필요하며, 이에 대하여 비수술 부위인 하지를 사용하는 신체활동이 효과적인 대안이 될 수 있다. 이전의 연구들은 통증 또는 손상이 있는 관련 부위(involved limb)에 대한 직접적인 운동을 실시하지 않더라도 멀리 떨어져 있는 비관련 부위(uninvolved limb)에 대한 간접적인 운동이 관련 부위의 통증을 완화하는 효과적인 방법이 될 수 있다고 보고하였다^{11,25}. Naugle 등¹¹은 통증 부위에서 멀리 떨어진 비통증 부위에 운동을 실시해도 전신적인 통각 저하 효과

(systemic hypoalgesic effect)를 야기하여 통증 부위의 통증 완화를 유도할 수 있음을 발견하였으며, 멀리 있는 근육(distant muscle)의 운동이 직접적으로 운동을 실시하기 어려운 통증 부위의 통증을 조절하는 효과적인 대안이 될 수 있음을 시사하였다. Wassinger 등²⁵은 단일 그룹에 대한 반복측정 연구(repeated-measures study)를 통해 고정식 자전거로 하지 유산소 운동을 수행한 사람들에서 어깨의 급성 통증 반응이 즉각적으로 유의하게 감소하였음을 보고하였다. 따라서 본 연구에서는 관절경하 회전근개 봉합술을 시행 받은 환자들을 대상으로 초기 치유 단계에서 높은 신체활동이 미치는 효과를 알아보기 위해 고 신체활동 그룹과 저 신체활동 그룹의 견관절 통증, ROM, 기능 점수, 근력, 구조적 결과의 차이를 비교 분석하였다.

회전근개 봉합술 후 환자의 주관적 견관절 통증을 VAS로 점수화하여 분석한 결과 유의한 상호작용 효과와 함께 HPA 그룹에서 수술 후 6주, 3개월에 유의하게 더 낮은 통증을 나타냈다. 이러한 결과는 높은 신체활동을 통해 유도된 통각 저하 효과(hypoalgesic effect)와 관련이 있을 것으로 생각된다. 선행 연구들에서는 신체활동 중·후에 나타나는 이러한 통각 저하 반응을

Table 7. Structural outcome at 6 months

Outcome	Retear rate (%)	
	HPA group (n=22)	LPA group (n=20)
Intact healing	18 (81.8)	10 (50.0)
Insufficient thickness healing	3 (13.6)	7 (35.0)
Retear	1 (4.5)	3 (15.0)
p-value	0.040*	

Values are presented as number (%).

HPA: high physical activity, LPA: low physical activity.

*p<0.05, statistically significant.

Table 6. Isokinetic strength of shoulder

Time	Rate of uninvolved side (%)							
	Forward flexion		Extension		External rotation		Internal rotation	
	HPA group	LPA group	HPA group	LPA group	HPA group	LPA group	HPA group	LPA group
Preoperative	59.09±7.11	58.95±7.76	77.41±5.89	77.30±5.30	49.91±5.82	49.40±6.12	70.91±7.02	71.70±5.77
Postoperative								
3 mo	70.73±4.04 [†]	63.75±5.25	82.45±5.36	80.30±5.90	68.41±5.97 [†]	60.45±7.32	78.55±5.73	77.50±4.61
6 mo	78.18±4.92	76.70±5.63	95.68±3.91	94.95±3.38	79.18±5.79	78.75±7.59	86.64±5.19	86.05±4.50
F-value	4.006		0.619		7.732		0.397	
p-value	0.022*		0.541		0.002*		0.625	

Values are presented as mean±standard deviation.

HPA: high physical activity, LPA: low physical activity.

*p<0.05, statistically significant; [†]p<0.05, significant difference from LPA group.

‘운동 유도 통증 조절(exercise-induced analgesia, EIA)’이라 정의하였다²⁶. 높은 수준의 신체활동은 내인성 오피오이드(endogenous opioid)를 포함하여 하행성 통증 억제 시스템(descending inhibitory pain systems)을 활성화하는 자극을 생성하며²⁷, interleukin (IL)-6 및 IL-8과 같은 염증 유발 지표(proinflammatory markers)의 순환 수준은 정상 수준으로 감소시키고, IL-10과 같은 항염증성 사이토카인(anti-inflammatory cytokines)의 생성은 촉진하는 효과를 나타내는 것으로 보고되었다²⁸. 본 연구에서 신체활동 수준이 높았던 그룹에서 초기에 더 낮은 주관적 통증을 나타낸 것도 적극적인 신체활동 수행을 통해 활성화된 EIA 효과에서 기인한 것으로 생각된다.

견관절 ROM은 전방굴곡, 외회전, 외전 모두 유의한 상호작용 효과와 함께 HPA 그룹이 LPA 그룹보다 수술 후 6주, 3개월에 유의하게 더 큰 ROM을 나타냈다. 초기 치유 단계에서 신체활동 수준이 높았던 환자들은 낮았던 환자들보다 견관절 ROM이 수술 후 6주에 더 적게 감소하고, 수술 6주 이후부터 3개월까지 더 많이 증가하였다. 이러한 결과는 신체활동 수준에 따른 그룹 간 견관절 통증 분석에서 나타난 결과와 관련이 있을 것으로 생각된다. 환자들은 관절 ROM을 측정하는 동안 편안하게 가동할 수 있는 움직임의 끝 범위(end range)를 통증이 유발되지 않는 불편감의 마지막 지점으로 인식하였다. 따라서 신체활동 수준이 높은 그룹에서 나타난 감소한 통증 지각이 관절 ROM의 차이에도 유의한 영향을 미쳤을 것으로 생각된다.

환자의 일상생활 활동과 관련된 견관절 기능의 회복 수준은 ASES 점수로 평가하였다. 분석 결과 유의한 상호작용 효과와 함께 HPA 그룹에서 수술 후 6주, 3개월에 유의하게 더 높은 기능 점수를 나타냈다. 선행 연구에서는 회전근개 봉합술 후 환자 결과를 평가하기 위한 ASES 점수의 임상적으로 중요한 최소 차이(minimum clinically important difference, MCID)를 17점으로 제안하였다¹⁸. 본 연구의 결과에서 HPA 그룹은 수술 전과 비교하여 수술 후 12주에 수술 전보다 25.9점 증가한 점수와 함께 유의한 MCID를 나타냈다. 반면 LPA 그룹은 수술 후 12주에 수술 전보다 15.4점 증가하기는 했으나 유의한 MCID에는 미치지 못했다.

회전근개 봉합술 후 견관절의 근 기능 회복은 모든 환자의 근본적인 목표이다. 등속성 측정 장비를 통한 근력 측정은 재활에 대한 더 나은 이해 및 개선된 환자 순응도(patient compliance)와 같은 이점을 제공한다¹⁹. 본 연구의 결과에서 견관절 등속성 근력은 전방굴곡, 외회전에서 유의한 상호작용 효과와 함께 HPA 그룹이 수술 후 3개월에 유의하게 더 높은 근력을 나타냈다. 하지만 신전, 내회전 근력에서는 유의한 상호작용 효과 및 그룹 간 차이가 나타나지 않았다. 이러한 결과는 회전근개 복합체의

해부학적 특성과 기능의 차이에서 기인한 것으로 생각된다²⁹. 본 연구에서는 대상자 포함 기준에서 견갑하근 파열 환자는 제외하였으며, 포함된 환자들은 모두 극상근에 대한 봉합술을 실시한 환자들이었다. 따라서 신체활동 수준에 따른 통증 및 구조적 결과의 차이에 따라 극상근의 주요 기능인 전방굴곡과 외회전 근력에서만 유의한 상호작용과 함께 그룹 간 차이가 나타난 것으로 생각된다.

건의 치유와 신체활동 간의 연관성에 대한 선행 연구에서 Bring 등⁹은 신체활동이 파열된 건의 치유를 향상시키고, 신경 가소성의 속도에 영향을 미친다는 것을 발견하였으며, 치유에 대한 신체활동의 효과가 말초신경계(peripheral nervous system)를 통해 중재될 수 있음을 보고하였다. Palmes 등¹⁰은 아킬레스건 봉합술 후 초기 신체활동이 건의 치유를 빠르게 가속화하고, 치유된 건의 편향(deflection)을 감소시킨다고 보고하였으며, 더 높은 신체 활동이 더 성숙한 조직 복구와 관련이 있음을 시사하였다. 본 연구에서도 이전 연구들과 유사한 결과가 확인되었으며, 신체활동 수준이 높을수록 건의 치유율이 증가하고 재파열률이 감소하는 경향을 발견했다. 조직 치유와 관련하여 신체활동을 통해 나타나는 신경 내성장(nerve ingrowth)은 증식기(proliferative phase)에 최대 발생하며, 초기 치유 단계인 2-4주 사이에 조직화된 콜라겐의 최대 증가가 이루어진다. 4주 이후부터는 건에서 감각 신경 섬유(sensory nerve fiber)의 발생이 잇달아 감소함에 따라 새롭게 조직화된 콜라겐 형성의 속도는 서서히 감소하기 시작한다¹². 따라서 회전근개 봉합술 후 회전근개 건의 재파열률을 낮추기 위해서는 수술 후 초기 치유 단계에 높은 신체활동 수준을 유지하는 것이 중요할 것이다.

본 연구의 제한점은 후향적 연구이기 때문에 편향 및 부정확성의 가능성을 배제할 수 없다는 점, 표본 크기가 작아 결과를 일반화하기 어렵다는 점이다. 따라서 향후 본 연구의 결과를 토대로 제한점을 보완하고, 환자가 수행하는 신체활동의 강도와 양을 통제하는 무작위 대조시험(randomized controlled trial)을 실시한다면, 신체활동이 회전근개 봉합술 후 결과에 영향을 미치는 수준에 대한 정확한 임계값을 확인할 수 있을 것으로 생각한다.

결론적으로 관절경하 회전근개 봉합술 후 초기 치유 단계의 신체활동 수준이 높을수록 더 초기에 통증 완화 및 견관절 기능 회복을 나타냈다. 또한 봉합된 건의 치유율이 증가하고, 재파열률이 감소하는 경향을 나타냈다. 따라서 회전근개 봉합술 후 견관절 고정화로 인해 신체활동 수준이 급격하게 감소하는 초기 치유 단계에서 걷기, 계단 오르기, 고정식 자전거 타기 등과 같은 하지를 사용하는 신체활동의 적극적인 수행은 환자의 견관절 통증, 관절 ROM, 일상생활 활동, 근 기능을 초기에 회복시키고, 재파열률과

관련된 구조적 결과를 향상하는 데 도움을 주는 효과적인 증재 방법으로 생각된다.

Conflict of Interest

No potential conflict of interest relevant to this article was reported.

ORCID

Moon-Young Choi, <https://orcid.org/0000-0002-1381-1166>

Jin-Seong Kim, <https://orcid.org/0000-0002-6960-3593>

Doo-Hwan Kong, <https://orcid.org/0000-0002-8140-9937>

Suk-Hwan Jang, <https://orcid.org/0000-0002-7880-2797>

Author Contributions

Conceptualization: MYC, SHJ. Data curation: MYC, JSK, DHK. Formal analysis, Validation: MYC. Investigation: MYC, JSK. Methodology: MYC, DHK, SHJ. Project administration, Resources, Supervision: SHJ. Writing—original draft: MYC. Writing—review & editing: all authors.

References

- Nikolaidou O, Migkou S, Karampalis C. Rehabilitation after rotator cuff repair. *Open Orthop J* 2017;11:154-62.
- Lapner PL, Sabri E, Rakhra K, et al. A multicenter randomized controlled trial comparing single-row with double-row fixation in arthroscopic rotator cuff repair. *J Bone Joint Surg Am* 2012;94:1249-57.
- van der Zwaal P, Thomassen BJ, Nieuwenhuijse MJ, Lindenburg R, Swen JW, van Arkel ER. Clinical outcome in all-arthroscopic versus mini-open rotator cuff repair in small to medium-sized tears: a randomized controlled trial in 100 patients with 1-year follow-up. *Arthroscopy* 2013;29:266-73.
- Barth J, Andrieu K, Fotiadis E, Hannink G, Barthelemy R, Saffarini M. Critical period and risk factors for retear following arthroscopic repair of the rotator cuff. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2017;25:2196-204.
- Uquillas CA, Capogna BM, Rossy WH, Mahure SA, Rokito AS. Postoperative pain control after arthroscopic rotator cuff repair. *J Shoulder Elbow Surg* 2016;25:1204-13.
- Pizzi LT, Toner R, Foley K, et al. Relationship between potential opioid-related adverse effects and hospital length of stay in patients receiving opioids after orthopedic surgery. *Pharmacotherapy* 2012;32:502-14.
- Morris BJ, Mir HR. The opioid epidemic: impact on orthopaedic surgery. *J Am Acad Orthop Surg* 2015;23:267-71.
- Garimella V, Cellini C. Postoperative pain control. *Clin Colon Rectal Surg* 2013;26:191-6.
- Bring DK, Kreicbergs A, Renstrom PA, Ackermann PW. Physical activity modulates nerve plasticity and stimulates repair after Achilles tendon rupture. *J Orthop Res* 2007;25:164-72.
- Palmes D, Spiegel HU, Schneider TO, et al. Achilles tendon healing: long-term biomechanical effects of postoperative mobilization and immobilization in a new mouse model. *J Orthop Res* 2002;20:939-46.
- Naugle KM, Fillingim RB, Riley JL 3rd. A meta-analytic review of the hypoalgesic effects of exercise. *J Pain* 2012;13:1139-50.
- Ackermann PW, Ahmed M, Kreicbergs A. Early nerve regeneration after achilles tendon rupture: a prerequisite for healing?: a study in the rat. *J Orthop Res* 2002;20:849-56.
- Oh JY, Yang YJ, Kim BS, Kang JH. Validity and reliability of Korean version of International Physical Activity Questionnaire (IPAQ) short form. *J Korean Acad Fam Med* 2007;28:532-41.
- Ainsworth BE, Haskell WL, Herrmann SD, et al. 2011 Compendium of Physical Activities: a second update of codes and MET values. *Med Sci Sports Exerc* 2011;43:1575-81.
- Güler T, Sivas F, Yurdakul FG, et al. Early improvement in physical activity and function after total hip arthroplasty: predictors of outcomes. *Turk J Phys Med Rehabil* 2019;65:379-88.
- Hohmann E, Glatt V, Tetsworth K; Delphi Panel. Subacromial decompression in patients with shoulder impingement with an intact rotator cuff: an expert consensus statement using the modified Delphi technique comparing North American to European shoulder surgeons. *Arthroscopy* 2022;38:1051-65.
- Lee KW, Seo DW, Bae KW, Choy WS. Clinical and radiological evaluation after arthroscopic rotator cuff repair using suture bridge technique. *Clin Orthop Surg* 2013;5:306-13.
- Wylie JD, Beckmann JT, Granger E, Tashjian RZ. Functional outcomes assessment in shoulder surgery. *World J Orthop* 2014;5:623-33.
- Bigoni M, Gorla M, Guerrasio S, et al. Shoulder evaluation with isokinetic strength testing after arthroscopic rotator cuff repairs. *J Shoulder Elbow Surg* 2009;18:178-83.
- Niglis L, Collin P, Dosch JC, Meyer N, Kempf JF; SoFCOT.

- Intra- and inter-observer agreement in MRI assessment of rotator cuff healing using the Sugaya classification 10years after surgery. *Orthop Traumatol Surg Res* 2017;103:835-9.
21. Goetti P, Denard PJ, Collin P, Ibrahim M, Hoffmeyer P, Lädermann A. Shoulder biomechanics in normal and selected pathological conditions. *EFORT Open Rev* 2020;5:508-18.
 22. Yamamoto N, Itoi E. A review of biomechanics of the shoulder and biomechanical concepts of rotator cuff repair. *Asia Pac J Sports Med Arthrosc Rehabil Technol* 2015;2:27-30.
 23. van der Meijden OA, Westgard P, Chandler Z, Gaskill TR, Kokmeyer D, Millett PJ. Rehabilitation after arthroscopic rotator cuff repair: current concepts review and evidence-based guidelines. *Int J Sports Phys Ther* 2012;7:197-218.
 24. Thomopoulos S, Williams GR, Soslowsky LJ. Tendon to bone healing: differences in biomechanical, structural, and compositional properties due to a range of activity levels. *J Biomech Eng* 2003;125:106-13.
 25. Wassinger CA, Lumpkins L, Sole G. Lower extremity aerobic exercise as a treatment for shoulder pain. *Int J Sports Phys Ther* 2020;15:74-80.
 26. Da Silva Santos R, Galdino G. Endogenous systems involved in exercise-induced analgesia. *J Physiol Pharmacol* 2018;69:3-13.
 27. Naugle KM, Naugle KE, Fillingim RB, Samuels B, Riley JL 3rd. Intensity thresholds for aerobic exercise-induced hypoalgesia. *Med Sci Sports Exerc* 2014;46:817-25.
 28. Mork PJ, Vasseljen O, Nilsen TI. Association between physical exercise, body mass index, and risk of fibromyalgia: longitudinal data from the Norwegian Nord-Trøndelag Health Study. *Arthritis Care Res (Hoboken)* 2010;62:611-7.
 29. Sgroi TA, Cilenti M. Rotator cuff repair: post-operative rehabilitation concepts. *Curr Rev Musculoskelet Med* 2018;11:86-91.