

투구 시 견관절 회전근의 원심성 및 편심성 근력의 등속성 측정

가천대학교 길병원 정형외과학교실¹, 가천대학교 의과대학 물리치료학과²

김영규¹ · 손원수¹ · 조승현¹ · 최원호²

Isokinetic Measurement of a Concentric and Eccentric Strength of the Rotators in Throwing

Young Kyu Kim, MD, PhD¹, Won Su Son, MD¹, Seung Hyun Cho, MD¹, Won Ho Choi, PhD²

¹Department of Orthopedic Surgery, Gil Medical Center, Gachon University, Incheon,

²Department of Physical Therapy, Gachon University of Medicine and Science, Incheon, Korea

The shoulder injury was resulted from muscle imbalance between acceleration and deceleration during the throwing. The agonist-antagonist muscle strength relationship for throwing was formerly described as functional ratios of eccentric external rotator to concentric internal rotator moments and eccentric internal rotator to concentric external rotator moments. The purpose of this study was to measure the ratio of concentric and eccentric strength of the shoulder rotators by isokinetic muscle performance in Korean throwing college athletes for descriptive data. On 10 dominant shoulders of asymptomatic throwing college athletes applying Cybex II isokinetic dynamometer, concentric and eccentric muscle strength of the rotators were measured at the speed of 90°/s, 180°/s, 240°/s. Maximal torque ratio of the eccentric strength of the external rotator against the concentric strength of the internal rotator was 1.25, 1.13, 1.21 at the each speed. The functional external eccentric-to-internal concentric ratio was similar with previous published studies. There was no significant difference between each speed. Eccentric strength of the external rotator was higher than concentric strength of the internal rotator during internal and external rotation at all speeds. This functional assessment of strength testing that reflected the importance of eccentric external rotation strength for the dynamic shoulder joint stability during the throwing. Therefore, the increase of the eccentric strength of the external rotator would be helpful to prevent the shoulder injury and to treat for rehabilitation of injured shoulder.

Key Words: Shoulder, Rotator cuff, Muscle strength

Received: August 10, 2012 Revised: November 5, 2012 Accepted: November 15, 2012

Correspondence: Won Su Son

Department of Orthopedic Surgery, Gil Medical Center, Gachon University, 21 Namdong-daero 774 beon-gil, Namdong-gu, Incheon 405-760, Korea

Tel: +82-32-460-3384, Fax: +82-32-468-5437, E-mail: wonsu07@gilhospital.com

© This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

서론

투구 동작은 상지를 가속시키는 근육과 감속시키는 근육이 동시에 작용하며, 이 둘 사이의 힘의 불균형이 있을 경우에는 어깨 손상이 발생할 수 있다. 투구 중 상지의 가속과 감속은 내, 외회전근의 근력의 비율 변화에 따라 이루어진다. 따라서, 내, 외회전근의 불균형은 투구 동작 중 상지의 안정성에 영향을 미치며, 어깨 손상의 원인이 될 수 있기 때문에 많은 학자들이 투구 동작 중 내, 외회전근의 근력의 비율에 대해 연구해왔다¹⁻⁹⁾. 투구 동작의 가속기, 감속기에서의 내, 외회전근의 운동은 내회전근이 원심성 수축 운동을 하는 동시에 외회전근은 편심성 수축 운동을 함으로, 원심성 수축 운동뿐만 아니라 편심성 수축 운동이 투구 동작의 안정성에 중요한 역할을 한다고 알려져 있다⁹⁻¹¹⁾. 따라서 편심성 수축과 원심성 수축의 관계에 대한 이해를 바탕으로, 근력 불균형으로 인한 어깨 손상의 예방 및 재활을 위한 견관절 근력 강화 운동을 시행함에 있어 동적인 원심성 운동뿐만 아니라 편심성 운동도 중요하다¹²⁻¹⁴⁾.

Wilk 등⁹⁾은 외회전근의 편심성 운동을 포함한 외회전근의 편심성 근력과 내회전근의 원심성 근력에 대한 비를 조사한 결과 내회전근을 원심성으로 움직이게 하는 힘과 투구 동작의 역동적 힘을 극복하고 이를 감소시키기 위한 외회전근의 편심성 운동의 토크가 내회전근의 원심성 운동의 토크보다 크다는 가설을 제시하였으며, 내회전근의 원심성 근력과 외회전근의 편심성 근력의 비를 기능적 비율이라고 정의하였다. 이와 같은 투구 동작 시 내, 외회전근의 관계에 대한 연구들은 초기에는 내, 외회전근의 원심성 운동 중심의 원심성 비율에 대해 연구되었으나, 이 후 투구 동작 시 원심성 수축 및 편심성 수축과의 관계의 기능적 비율에 대해 우세 상지와 비우세 상지, 투구 동작을 주로 하는 군과, 일반 군에 대한 연구가 발표되고 있다^{6,7,15,16)}.

이에 본 연구에서는 90°/s, 180°/s, 240°/s의 서로 다른 속도로 내, 외회전근의 편심성 및 원심성 근력을 측정하여 내회전 시의 내회전근의 원심성 근력과 외회전근의 편심성 근력의 비율을 내회전의 기능적 비율이라 정의한 후, 그 값을 측정하였으며, 내회전 시의 내회전근의 원심성 근력과 외회전근의 원심성 근력의 비율을 원심성 비율로 정의한 후 측정을 시행하였다. 각속도의 변화와 기능적 비율의 상관관계, 각속도 차이에 따른 기능적 비율의 차이를 알아보고자 하였으며, 기능적 비율에 대한 해석을 토대로 투구 동작을 주로 하는 선수에서 외회전 편심력 운동을 포함하는 프로그램으로 어깨 손상 예방 및 재활 치료의 지침으로 삼고자 하였다.

연구 방법

신체 건강한 대학 야구, 핸드볼을 주 종목으로 하는 대학교 체육학과 남학생 10명을 대상으로 하였으며 평균 연령은 22세



Fig. 1. Preparation for isokinetic strength testing of shoulder rotators. The upper extremity was positioned with 90° of shoulder abduction and 90° of elbow flexion. Strength was tested through 160° of range of motion.



Fig. 2. Measurement for concentric and eccentric strength of shoulder internal rotator. Small arrow: direction of motion from full external rotation to full internal rotation, Large arrow: direction of setup for isokinetic dynamometer.

(범위, 19-24세)였다. 평균 체중은 73.8 kg (범위, 62-95 kg), 평균 신장은 174.3 cm (범위, 167-186 cm)였다. 전 예에서 우세 견관절에 과거력상 외상의 경력이나 견관절 동통 또는 불안정성을 호소한 경우는 없었다.

등속성 근력 운동 측정기로는 Cybex II isokinetic dynamometer (Cybex Inc., Ronkonkoma, NY, USA)를 사용하였으며 HUMAC 컴퓨터 시스템을 이용하여 자료를 수집하였다. 측정 전에 모든 참가자에게 연구에 대한 자세한 설명을 하고 실험 참여에 대한 동의를 얻었으며 측정 30분 전에 약 10분간 준비 운동을 시행토록 하였다. 측정은 누운 자세에서 팔과 가슴을 끈으로 안정화시키고 우세 견관절을 90° 외전, 주관절을 90° 굴곡시킨 상태로 고정 한 후 외회전 90°에서 내회전 70°까지 160°의 운동범위에서 측정하였다(Fig. 1).

내회전근의 근력을 측정하기 위해 먼저 90°의 느린 속도로 원심성 근력 및 편심성 근력 측정 방법을 연습시키고 3회의

최대한의 힘을 발휘한 상태에서 원심성 및 편심성 근력 측정을 시행하였다. 같은 방법으로 180°/s 속도와 240°/s의 빠른 속도에서도 원심성 및 편심성 근력을 측정하였으며 측정하는 동안 각 사이클 사이에 5분 정도의 시간을 두어 근육 피로에 의한 결과의 이상이 없도록 하였다(Fig. 2). 외회전근의 원심성 및 편심성 근력 측정도 동일한 방법으로 시행하였다(Fig. 3).

측정된 수치는 컴퓨터 시스템에 저장한 후(Fig. 4) 내, 외회전근의 최대 토크 비를 조사하여, 각속도에 따른 원심성 근력 비율, 기능적 근력 비율을 비교하였다. 통계학적 분석은 SPSS ver. 20.0 (IBM, Armonk, NY, USA) 프로그램을 이용한 비모수 검정 방법 중 Kruskal Wallis H 검정으로 유의성을 검증하였고 유의 수준은 $p < 0.05$ 로 하였다. 각속도에 따른 근력 비의 변화는 Spearman 상관관계 분석법을 이용하였다.

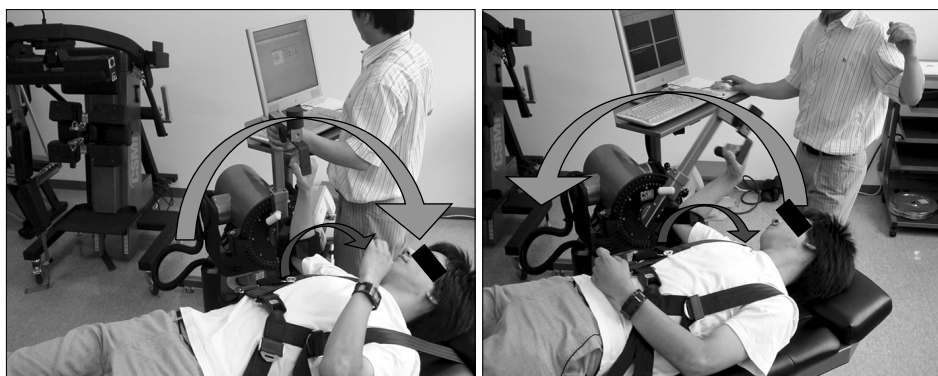


Fig. 3. Measurement for concentric and eccentric strength of shoulder external rotator.

Birth date: 1982-07-21 Involved Side: Group 1: 24 Height: 185 Centimeters Preferred Side: Group 2: Weight: 110 Kilograms Doctor: Sex: Male Tester: Diagnosis: Surgery:				Birth date: 1982-07-21 Involved Side: Group 1: 24 Height: 185 Centimeters Preferred Side: Group 2: Weight: 110 Kilograms Doctor: Sex: Male Tester: Diagnosis: Surgery:			
Isokinetic Con/Ecc Speed 90/90 degrees/Reps 5 Internal Rotators (Con) Value Cof Var %BW Ratio Peak Torque (Newton-Meters - Average Value) Right 33 0.14 30 42 0.16 39 129 Left 0 0.00 0 0 0.00 0 0 Deficit 0 0.00 0 0 0.00 0 0 Work per Repetition (Newton-Meters - Average Value) Right 57 0.20 51 68 0.15 75 130 Left 0 0.00 0 0 0.00 0 0 Deficit 0 0.00 0 0 0.00 0 0 Range of Motion (Degrees) Right 89 0.00 89 89 0.00 89 89 Left 0 0.00 0 0 0.00 0 0 Deficit 0 0.00 0 0 0.00 0 0				Isokinetic Ecc/Con Speed 180/180 degrees/Reps 5 Internal Rotators (Con) Value Cof Var %BW Ratio Peak Torque (Newton-Meters - Average Value) Right 34 0.07 30 41 0.19 36 120 Left 0 0.00 0 0 0.00 0 0 Deficit 0 0.00 0 0 0.00 0 0 Work per Repetition (Newton-Meters - Average Value) Right 56 0.10 51 68 0.15 75 122 Left 0 0.00 0 0 0.00 0 0 Deficit 0 0.00 0 0 0.00 0 0 Range of Motion (Degrees) Right 89 0.00 89 89 0.00 89 89 Left 0 0.00 0 0 0.00 0 0 Deficit 0 0.00 0 0 0.00 0 0			
Isokinetic Con/Ecc Speed 240/240 degrees/Reps 5 Internal Rotators (Con) Value Cof Var %BW Ratio Peak Torque (Newton-Meters - Average Value) Right 31 0.07 30 43 0.04 36 139 Left 0 0.00 0 0 0.00 0 0 Deficit 0 0.00 0 0 0.00 0 0 Work per Repetition (Newton-Meters - Average Value) Right 52 0.09 48 69 0.12 63 134 Left 0 0.00 0 0 0.00 0 0 Deficit 0 0.00 0 0 0.00 0 0 Range of Motion (Degrees) Right 89 0.00 89 89 0.00 89 89 Left 0 0.00 0 0 0.00 0 0 Deficit 0 0.00 0 0 0.00 0 0				Isokinetic Ecc/Con Speed 240/240 degrees/Reps 5 External Rotators (Con) Value Cof Var %BW Ratio Peak Torque (Newton-Meters - Average Value) Right 27 0.04 24 38 0.09 36 145 Left 0 0.00 0 0 0.00 0 0 Deficit 0 0.00 0 0 0.00 0 0 Work per Repetition (Newton-Meters - Average Value) Right 56 0.07 51 77 0.12 72 139 Left 0 0.00 0 0 0.00 0 0 Deficit 0 0.00 0 0 0.00 0 0 Range of Motion (Degrees) Right 89 0.00 89 89 0.00 89 89 Left 0 0.00 0 0 0.00 0 0 Deficit 0 0.00 0 0 0.00 0 0			

Fig. 4. Internal and external torque values were extracted at each speed.

Table 1. Comparison of mean torque (newton-meters, Nm) between IR and ER

	90°/s	180°/s	240°/s
IRcon	31.1	29.6	29.8
IRecc	41.6	35.5	39.1
ERcon	26.4	22.3	21.3
ERecc	38.4	33.1	34.8

IR: internal rotator, ER: external rotator, IRcon: internal rotator concentric, IRecc: internal rotator eccentric, ERcon: external rotator concentric, ERecc, external rotator eccentric.

결 과

90°/s, 180°/s, 240°/s의 각 속도당 내회전근의 원심성 평균 최대 토크는 31.1 newton-meters (Nm) Nm, 29.6 Nm, 29.8 Nm였으며, 편심성 평균 최대 토크는 41.6 Nm, 35.5 Nm, 39.1 Nm였다. 외회전근의 원심성 평균 최대 토크는 각 속도당 26.4 Nm, 22.3 Nm, 21.3 Nm였으며, 편심성 평균 최대 토크는 38.4 Nm, 33.1 Nm, 34.8 Nm였다(Table 1).

내회전근에 대한 외회전근의 원심성 최대 토크 비(원심성 근력 비율)는 각 속도당 0.88, 0.77, 0.73으로 모든 속도에서 내회전근의 원심성 근력이 더 높았으며, 속도가 증가할수록 비율은 감소하였으나 유의한 상관관계는 없었다. 외회전근의 원심성 근력에 대한 내회전근의 편심성 근력의 최대 토크 비는 각 속도당 1.57, 1.63, 1.88으로 외회전 시 모든 속도에서 내회전근의 편심성 근력이 더 높았으며 속도가 증가할수록 비율은 증가하는 양상을 보였으나 유의한 상관 관계는 없었다. 내회전근의 원심성 근력에 대한 외회전근의 편심성 근력의 최대 토크 비(기능적 근력 비율)는 각 속도당 1.25, 1.13, 1.21으로 내회전 시 모든 속도에서 외회전근의 편심성 근력이 더 높았으며 유의한 상관관계를 보이지 않았다. 각속도에 따른 원심성 근력 비율 및 기능적 근력비율은 유의한 차이를 보이지 않았다($p>0.05$) (Table 2).

고 찰

투구 동작에서 견관절의 안정성에 기여하는 주 요소는 회전근개와 상완 이두근의 장 두(long head)이다. 견관절은 상완골 두가 상대적으로 작은 관절와 강(glenoid fossa)에 얹혀져 있으므로 작은 외력에도 불안정하지만 이러한 구조는 큰 운동성을 얻는데 도움이 된다. 골의 형태, 관절낭 인대 등이 견관절의 정적 안정성을 제공하지만 운동 시에는 회전근개의 편심성

Table 2. External to internal peak torque ratios

	90°/s	180°/s	240°/s
ERcon/IRcon*	0.88	0.77	0.73
IRecc/ERcon*	1.57	1.63	1.88
ERecc/IRcon* [†]	1.25	1.13	1.21

IRcon: internal rotator concentric, IRecc: internal rotator eccentric, ERcon: external rotator concentric, ERecc: external rotator eccentric.

*No statistically significant difference ($p>0.05$) between speed; [†]No statistically significant correlation between speeds and functional ratio.

근육 수축과 원심성 근육 수축의 균형이 견관절의 동적 안정성에 중요한 역할을 한다. 특히 외회전근은 투구 시 마무리 동작에서 팔을 감속시키는 역할뿐 아니라 견관절을 기능적으로 안정화시키기 때문에 내회전근력에 대한 외회전근력이 균형을 이룰 수 있으며, 균형이 잘 이루어 졌을 때 동적 안정성을 가지게 된다. 근력의 균형이 깨질 경우 동적 불안정성을 유발할 수 있으며, 이로 인해 어깨 손상이 발생할 수 있다^{17,18}. 따라서 회전근개의 균형 및 동적인 안정성이 투구 중 손상을 방지하는데 중요한 역할을 담당하게 되며, 회전근개의 내, 외회전근의 원심성, 편심성 근력의 관계 및 비율에 대한 연구를 바탕으로 한 운동 프로그램이 투구 중 어깨 손상의 예방 및 손상 후 재활에 도움을 줄 수가 있다.

Wilk 등⁹은 프로 야구 선수의 연구에서 내회전근에 대한 외회전근의 원심성 최대 토크 비 평가의 필요성을 피력하였으며, Ellenbecker와 Mattalino⁶가 시행한 연구에서도 견관절 손상으로 이어지는 내회전근에 대한 외회전근의 원심성 최대 토크 비를 보고하였다. 본 연구의 결과에 따르면 내회전근에 대한 외회전근의 원심성 최대 토크 비는 각 속도당 0.88, 0.77, 0.73로 측정되었으며, 각속도 증가에 따른 유의한 상관관계를 나타내지는 않았지만 속도가 증가할수록 비율은 감소하는 양상을 보였다. 이는 이 전에 보고되었던 원심성 근력 비율과 유사한 값을 나타냈다^{4,6,9,13}. 하지만 내회전근과 외회전근의 원심성 근력만을 연구하는 것은 투구 동작 시 회전근개에서 작용하는 힘의 원리와 다르다. 투구 동작 중 감속기와 가속기의 회전근개 근력의 변화는 내회전시 운동 방향, 각속도에 따라 변화하는 동안 내회전근의 원심성 근력과 대응되는 외회전근의 편심성 근력의 변화에 따라 균형을 이루게 된다. Wilk 등⁹은 내회전근의 원심성 근력에 대한 외회전근의 편심성 근력의 최대 토크비율을 기능적 비율이라 정의하였으며, 외회전근의 편심력을 연구하는데 필요하다고 하였다.

Scoville 등¹⁰은 대학생 남자의 우세 견관절에서 기능적 비율

Table 3. Comparison of concentric external to internal peak torque ratio (concentric ratio), eccentric external to concentric internal peak torque ratio (functional ratio) with those previous studies

Study	Test speeds	Concentric ratio	Study	Test speeds	Functional ratio
Present study	240	0.73	Present study	240	1.21
Noffal ¹³⁾	300	0.65	Noffal ¹³⁾	300	1.17
Cook et al. ⁴⁾	300	0.70	Sirota et al. ¹²⁾	120	1.19
Ellenbecker and Mattalino ⁶⁾	300	0.70	Scoville et al. ¹⁰⁾	90	1.08
Wilk et al. ⁹⁾	300	0.61	Bak and Magnusson ¹⁹⁾	30	0.89

이 1.05-1.08에 이른다고 하였으며, Noffal¹³⁾은 대학 야구 선수의 우세 견관절에서 1.15-1.19의 기능적 비율을 보고하였다. 본 연구에서 내회전근의 원심성 근력에 대한 외회전근의 편심성 근력의 최대 토크 비는 각 속도당 1.23, 1.11, 1.16으로 이와 같은 기능적 비율은 투구 동작 중 가속기 및 감속기의 내회전 동작에서 외회전근이 원심성 힘보다 편심성 힘으로 작용한다는 것을 의미한다. 반면에 Bak과 Magnusson¹⁹⁾은 수영 선수에 대한 기능적 비율이 0.89로 외회전의 편심성 근력이 내회전의 원심성 근력에 비해 작은 수치를 보고하였다. 이러한 기능적 비율의 연구들 간의 차이는 근력과 각속도 간의 관계로 인해 영향을 미칠 수가 있다. 각속도가 증가할수록 원심성 내 회전근의 힘이 줄어드는데 반해 편심성 외 회전근의 힘은 증가하거나 유지된다^{7,12)}. 따라서 속도가 커질수록 기능적 비율이 증가할 수 있다. Bak과 Magnusson¹⁹⁾은 30°/s, Scoville 등¹⁰⁾은 90°/s, Sirota 등¹²⁾은 60°/s, 120°/s, 그리고 Noffal¹³⁾은 300°/s에서 기능적 비율을 보고하였으나 각속도의 차이에 따른 기능적 비율의 차이에 대해서는 보고하고 있지 않아 각속도에 대한 기능적 비율의 차이에 대한 연구가 필요하다(Table 3). 본 연구에서 90°/s, 180°/s, 240°/s의 각속도에 증가에 따른 기능적 비율의 변화에 대해 조사한 결과, 각속도의 변화에 따른 기능적 비율은 유의한 차이가 없었다. 이는 투구 동작에서는 6,000°/s 이상의 회전 각속도를 보이지만 실험적으로는 최대 300°/s 정도의 각속도로 시행하기 때문에, Bak과 Magnusson¹⁹⁾의 연구에서와 같이 아주 느린 각속도가 아니라면, 각속도의 작은 차이는 실제 투구동작에서 보다 훨씬 작은 변화로 인해 기능적 비율의 변화는 크지 않게 나타날 수도 있다는 연구 상의 제한점이 있다. 두 번째로 실험 자세의 차이에 따른 중력의 영향이 누운 자세 보다 앉은 자세의 경우 높은 내회전의 원심성 근력을 보일 수 있어 기능적 비율에 영향을 미칠 수가 있다. 따라서 본 연구에서는 누운 자세로 실험을 시행하여 중력에 대한 영향을 최소화하였다.

내회전근의 원심성 근력에 대한 외회전근의 편심성 근력의 최대 토크비가 1보다 크다는 것은 외회전근의 편심성 힘이 내회전근의 원심성 힘보다 크다는 의미이며, 투구 동작 후

팔의 속도를 감속시키는 과정에서 빨리 움직이는 팔의 속도를 줄이기 위한 것이다^{20,24)}. 내회전근과 하지 및 몸통 부분에서의 큰 운동량 전달이 투구 동작의 가속기 시 빠른 각속도를 이루게 하지만, 감속기에서는 팔의 속도를 감소시키기 위해 그 운동량보다 큰 외회전근의 편심성 근력이 사용되게 된다. 따라서 외회전근에는 큰 편심성 부하가 걸리게 되며, 반복적인 큰 부하의 편심성 운동은 근육 사이 결체 조직의 파열과 만성 염증을 유발하여 해부학적, 그리고 역학적 변화를 발생시키고, 이에 따른 불안정성은 어깨 부상으로 이어지게 된다. 내회전근에 비해 상대적으로 외회전근이 약하다면 더욱 쉽게 어깨 부상으로 이어질 수 있다. 따라서, 외회전근의 편심성 운동을 포함한 어깨 운동이 강조되어야 하며 어깨 부상 예방 및 어깨 부상 후의 재활 운동으로 사용되어야 한다.

Noffal¹³⁾의 연구에서 투구 선수의 내회전근의 원심성 근력에 대한 외회전근의 편심성 근력의 최대 토크 비가 일반인에 비해 작았으며 빠른 속도에서 내회전근의 원심성 토크 증가가 아닌 외회전근의 편심성 토크 감소로 인한 비율이 변했음을 보고하였다. 따라서 투구 운동을 위한 근력 강화 프로그램에 대흉근과 광배근을 포함한 내회전근의 강화 운동 외에도 외회전근의 편심성 근력 강화 운동을 포함할 경우 투구 동작 시 어깨 손상 예방에 더 효율적이다^{13,14,25,26)}.

Wilk 등⁹⁾은 “투구 선수의 열가지 운동” 중 외회전근의 강화를 위한 운동으로 측와위에서 상지의 외회전 운동, 복와위에서 외회전 방향으로의 노젓기 운동으로 외회전근의 원심성, 편심성 근력을 강화할 수 있다고 보고하였다. 또한 견관절 90° 외전, 주관절 90° 굴곡한 자세에서 한쪽이 고정된 탄력 밴드를 잡고 외회전근의 원심성 근력을 이용한 빠른 외회전 운동 시행 후 외회전 상태에서 내회전을 하면서 증가된 탄력밴드의 장력에 대응하는 외회전근의 편심성 근력을 이용하여 천천히 내회전하는 외회전근 편심성 운동을 사용할 수 있다. 이 외에도 파트너와 동반한 고유수용성 강화 운동, 볼리스트릭 플라이오메트릭 운동이 사용된다^{27,28)}.

본 연구에서는 투구 동작 시의 내, 외회전근의 최대 토크 비의 분석을 통해 어깨 손상 시 재활을 위한 적절한 자료

제시와 함께 외회전근의 편심성 근력 운동의 중요성에 대해 보고하였으나 일반인과 프로 선수, 어깨 손상 선수와의 비교 조사를 통한 자료의 추가와 함께 어깨 손상 환자에게서의 외회전근의 편심성 근력 운동을 포함한 재활 운동 후 임상적 평가를 통한 기능적 향상 결과에 대한 평가를 보완할 필요가 있을 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

1. Alderink GJ, Kuck DJ. Isokinetic Shoulder Strength of High School and College-Aged Pitchers*. J Orthop Sports Phys Ther 1986;7:163-72.
2. Brown LP, Niehues SL, Harrah A, Yavorsky P, Hirshman HP. Upper extremity range of motion and isokinetic strength of the internal and external shoulder rotators in major league baseball players. Am J Sports Med 1988;16:577-85.
3. Codine P, Bernard PL, Pocholle M, Benaim C, Brun V. Influence of sports discipline on shoulder rotator cuff balance. Med Sci Sports Exerc 1997;29:1400-5.
4. Cook EE, Gray VL, Savinar-Nogue E, Medeiros J. Shoulder antagonistic strength ratios: a comparison between college-level baseball pitchers and nonpitchers. J Orthop Sports Phys Ther 1987;8:451-61.
5. Ellenbecker TS. A total arm strength isokinetic profile of highly skilled tennis players. Isokinet Exerc Sci 1991;1:9-21.
6. Ellenbecker TS, Mattalino AJ. Concentric isokinetic shoulder internal and external rotation strength in professional baseball pitchers. J Orthop Sports Phys Ther 1997;25:323-8.
7. Hinton RY. Isokinetic evaluation of shoulder rotational strength in high school baseball pitchers. Am J Sports Med 1988;16:274-9.
8. Perrin DH, Robertson RJ, Ray RL. Bilateral Isokinetic peak torque, torque acceleration energy, power, and work relationships in athletes and nonathletes. J Orthop Sports Phys Ther 1987;9:184-9.
9. Wilk KE, Andrews JR, Arrigo CA, Keirns MA, Erber DJ. The strength characteristics of internal and external rotator muscles in professional baseball pitchers. Am J Sports Med 1993;21:61-6.
10. Scoville CR, Arciero RA, Taylor DC, Stoneman PD. End range eccentric antagonist/concentric agonist strength ratios: a new perspective in shoulder strength assessment. J Orthop Sports Phys Ther 1997;25:203-7.
11. David G, Magarey ME, Jones MA, Dvir Z, Turker KS, Sharpe M. EMG and strength correlates of selected shoulder muscles during rotations of the glenohumeral joint. Clin Biomech (Bristol, Avon) 2000;15:95-102.
12. Sirota SC, Malanga GA, Eischen JJ, Laskowski ER. An eccentric- and concentric-strength profile of shoulder external and internal rotator muscles in professional baseball pitchers. Am J Sports Med 1997;25:59-64.
13. Noffal GJ. Isokinetic eccentric-to-concentric strength ratios of the shoulder rotator muscles in throwers and nonthrowers. Am J Sports Med 2003;31:537-41.
14. Dale RB, Kovaleski JE, Ogletree T, Heitman RJ, Norrell PM. The effects of repetitive overhead throwing on shoulder rotator isokinetic work-fatigue. N Am J Sports Phys Ther 2007;2:74-80.
15. Mikesky AE, Edwards JE, Wigglesworth JK, Kunkel S. Eccentric and concentric strength of the shoulder and arm musculature in collegiate baseball pitchers. Am J Sports Med 1995;23:638-42.
16. Walmsley RP, Szybbo C. A comparative study of the torque generated by the shoulder internal and external rotator muscles in different positions and at varying speeds. J Orthop Sports Phys Ther 1987;9:217-22.
17. Altchek DW, Hatch JD. Rotator cuff injuries in overhead athletes. Oper Tech in Orthop 2001;11:2-8.
18. Wang HK, Cochrane T. Mobility impairment, muscle imbalance, muscle weakness, scapular asymmetry and shoulder injury in elite volleyball athletes. J Sports Med Phys Fitness 2001;41:403-10.
19. Bak K, Magnusson SP. Shoulder strength and range of motion in symptomatic and pain-free elite swimmers. Am J Sports Med 1997;25:454-9.
20. Dillman CJ, Fleisig GS, Andrews JR. Biomechanics of pitching with emphasis upon shoulder kinematics. J Orthop Sports Phys Ther 1993;18:402-8.
21. Escamilla RF, Fleisig GS, Barrentine SW, Zheng N, Andrews JR. Kinematic comparisons of throwing different types of baseball pitches. J Appl Biomech 1998;14:1-23.
22. Escamilla RF, Fleisig GS, Zheng N, Barrentine SW, Andrews JR. Kinematic comparisons of 1996 Olympic baseball pitchers. J Sports Sci 2001;19:665-76.
23. Feltner M, Dapena J. Dynamics of the shoulder and elbow joints of the throwing arm during a baseball pitch. Int J Sport Biomech 1986;2:235-59.
24. Fleisig G, Escamilla RF, Andrews JR, Matsuo T, Satterwhite Y, Barrentine SW. Kinematic and kinetic comparison between baseball pitching and football passing. J Appl Biomech 1996;12:207-24.
25. Moncrief SA, Lau JD, Gale JR, Scott SA. Effect of rotator cuff exercise on humeral rotation torque in healthy indi-

- duals. J Strength Cond Res 2002;16:262-70.
26. Treiber FA, Lott J, Duncan J, Slavens G, Davis H. Effects of Theraband and lightweight dumbbell training on shoulder rotation torque and serve performance in college tennis players. Am J Sports Med 1998;26:510-5.
27. Heiderscheit BC, McLean KP, Davies GJ. The effects of isokinetic vs. plyometric training on the shoulder internal rotators. J Orthop Sports Phys Ther 1996;23:125-33.
28. Carter AB, Kaminski TW, Douex AT Jr, Knight CA, Richards JG. Effects of high volume upper extremity plyometric training on throwing velocity and functional strength ratios of the shoulder rotators in collegiate baseball players. J Strength Cond Res 2007;21:208-15.