

전방십자인대 손상 유무에 따른 태권도 시범단원의 하지근 기능 및 고유수용감각 비교연구

한국체육대학교 스포츠의학연구실

한상일 · 오재근 · 송기재

Comparison of Lower Extremity Muscle Function and Proprioception According to Anterior Cruciate Ligament Reconstruction in Taekwondo Demonstration Players

Sang Il Han, Jae Keun Oh, Ki Jae Song

Laboratory of Sports Medicine, Korea National Sport University, Seoul, Korea

Purpose: The purpose of this study was to provide basic data for injury prevention and rehabilitation program development of Taekwondo demonstration team by comparing lower extremity muscles function and proprioceptive senses of Taekwondo demonstration team with or without anterior cruciate ligament (ACL) injury. The subjects were ACL injured Taekwondo demonstration player group (ATD, n=13) who underwent ACL reconstruction and Kukkiwon Taekwondo demonstration player group (KTD, n=13) without injury history.

Methods: To evaluate the lower extremity muscles function, we measured the flexor-extensor muscle strength ratio and isokinetic muscle strength of the knee joint using a isokinetic muscle strength measuring device. In order to investigate the proprioceptive sensory function, position sense, and threshold to detection of passive motion was using a isokinetic muscle strength measuring device. The experiment was conducted on average 26 months after surgery.

Results: The results of this study are as follows. There was no significant difference between the two groups in the knee joint flexor-extensor ratio. But there was a significant difference in Knee joint flexion and extension strength between two groups at an angular velocity of 60°/sec, 180°/sec, and 300°/sec. and KTD group was higher than ATD groups ($p=0.014$, $p=0.001$, $p=0.029$, $p=0.005$, $p=0.043$, $p=0.041$, respectively). There was no significant difference between the two groups in the proprioceptive sensory test.

Conclusion: The results of this study showed that the normal flexor to extensor ratio (50%–70%), But it was close to the injury risk level. Therefore, the training program for the improvement of the muscle strength and the imbalance of the strength of the lower extremity muscle function should be performed in both groups.

Keywords: Anterior cruciate ligament, Lower extremity function, Proprioception, Taekwondo

Received: September 24, 2019 Revised: October 24, 2019 Accepted: October 31, 2019

Correspondence: Ki Jae Song

Laboratory of Sports Medicine, Korea National Sport University, 1239 Yangjae-daero, Songpa-gu, Seoul 05541, Korea

E-mail: jordanforever@hanmail.net

Copyright ©2019 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

태권도는 겨루기, 품새, 시범으로 구분할 수 있으며¹, 2000년 시드니 올림픽에 정식종목으로 채택되면서 209개국 8,000만명 이상이 수련하며 세계화를 이루고 있다². 이 중 시범은 품새, 겨루기, 기본동작, 호신술, 격파 등으로 이루어져 있으며, 가장 많은 비중을 차지하는 격파이다. 격파는 공중으로 도약하여 연속적인 동작으로 회전, 방향 전환을 통해 높은 위치의 목표물을 타격하는 동작으로 이루어져 있다³. 태권도의 고난도 격파 기술들이 급진적으로 발전하면서 과도한 동작으로 인해 부상의 빈도 또한 늘어났다. 무리한 기술시도 혹은 착지하는 과정에서 주로 부상이 발생하며^{3,4}, 특히 하지의 부상 빈도가 가장 빈번하다고 하였다. 하지 부상의 원인은 점프 동작이나 착지 과정에서의 과부하 및 상해 후 불완전한 회복이 주된 요인이라 할 수 있다⁵.

전방십자인대는 대퇴골과 경골을 연결하여 슬관절의 굴곡, 신전, 회전 운동을 수행하는데 중요한 역할을 하며⁶, 스포츠 현장에서 부상빈도가 가장 높은 부위이다⁷. 전방십자인대 부상의 원인은 점프 후 착지하는 동안 발이 고정된 상태에서 대퇴골의 과도한 외회전, 후방 병진운동, 과신전 등이 대표적인 원인으로⁸ 70% 이상이 비접촉성 부상이다.

전방십자인대 부상 후에는 기능적 불안정성과 관절운동의 제한, 하지 근력의 약화, 관절위치 감각을 포함한 고유수용감각의 저하 등을 유발시키는 것으로 알려져 있다^{9,10}. 슬괵근(hamstring muscle)의 근력이 대퇴사두근의 근력보다 50% 이하일 경우 부상 발생율이 높다고 하였으며, 슬관절 굴곡근의 비율이 신전근에 비해 50%~70%가 이상적이고, 50% 미만일 경우 굴곡근의 약화로 전방십자인대가 손상되고 70%가 초과하면 신전근의 약화로 무릎 관절 부상의 위험이 있다고 하였다¹¹⁻¹³. 이와 같은 이유로 전방십자인대 재건술 후에는 무릎관절의 안정화를 위해 대퇴의 근력 회복이 가장 중요하다¹⁴.

슬관절의 안정성을 위해 필수로 요구되어지는 고유수용성 감각은 상해 및 수술로 기능이 약화될 수 있으며, 고도의 순발력이 요구되는 태권도 시범 동작에서 고유수용감각의 결여는 상해의 원인이 된다¹⁵. 따라서 고유수용감각의 저하는 기능적 안정성

부재로 재손상을 유발할 수 있어 회복이 매우 중요하다^{16,17}. 그동안의 선행연구를 살펴보면 전방십자인대 부상 후 재활운동 프로그램이 주로 연구되었으나^{18,22}, 전방십자인대 재건술에 따른 현역 태권도 시범단 선수의 근 기능, 고유수용성감각에 대한 연구는 미비한 실정이다. 따라서 본 연구는 태권도 시범단원의 전방십자인대 손상에 따른 슬관절의 기능적 상태를 확인하고 태권도 시범단원의 부상 후 재손상 예방과 수술 후 재활프로그램의 기초자료를 제공하고자 실시하였다.

연구 방법

1. 연구 대상

본 연구의 대상은 국기원 태권도 시범단 소속 선수 26명을 대상으로 전방십자인대 재건술 경험이 있는 시범단원(anterior cruciate ligament injured Taekwondo demonstration player [ATD])과 슬관절의 근골격계 질환이나 전방십자인대 상해 경험이 없는 시범단원(Kukkiwon Taekwondo demonstration player [KTD])으로 집단을 설정하여 진행하였다. ATD 집단은 남자 10명, 여자 3명으로 수술 후 실험까지의 기간은 평균 26개월이었으며, 수술은 타가진 10명, 자가와 타가진 2명, 자가진 1명이었다. KTD 집단은 남자 11명, 여자 2명이었다. 태권도 경력 10년 이상, 시범 경력 3년 이상의 단원으로 연구 참여를 제한하였으며, 자발적 참여의사를 밝힌 대상자에 한하여 연구를 진행하였다. 대상자의 신체적 특성은 Table 1과 같다.

2. 측정 항목 및 방법

1) 신체 조성

신장은 자동 신장계(DS-102; Jenix, Seoul, Korea)를 이용하여 측정하였으며, 신체구성은 In-body 770 (InBody, Seoul, Korea)을 이용하여 체중(kg), 골격근량(kg), 체지방률(%), 체질량 지수(kg/m²)를 측정하였다.

Table 1. Physical characteristics of subjects

Group	Height (cm)	Weight (kg)	SMM (kg)	BMI (kg/m ²)	%BF
ATD (n=13)	169.52±6.62	63.93±7.08	29.48±3.92	22.21±1.66	17.65±5.91
KTD (n=13)	172.47±7.14	67.02±9.26	32.55±5.38	22.48±2.16	13.96±4.47

Values are presented as mean±standard deviation.

SMM: skeletal muscle mass, BMI: body mass index, %BF: percent body fat, ATD: anterior cruciate ligament injured Taekwondo demonstration player, KTD: Kukkiwon Taekwondo demonstration player.

2) 하지근 기능

(1) **슬관절 굴곡-신전 근력 비:** 슬관절 굴곡-신전 근력 비의 측정에는 등속성 근력측정 장비인 Humac NORM (CSMi, Stoughton, MA, USA)를 이용하여 각속도 60°/sec에서 5회 반복값의 평균값을 굴곡-신전 비율 공식을 이용하여 산출하였다.

(2) **등속성 근력:** 등속성 근력측정 장비인 Humac NORM (CSMi)을 이용하여 슬관절 굴곡·신전근의 근력을 측정하였다. 피험자의 하퇴부가 평행이 되도록 검사대에 앉힌 후 슬관절 중심점을 동력계의 회전축과 일치시켰으며, 근력 측정 시 외력이 가해지지 않도록 대퇴부와 가슴을 고정하고 스트랩으로 발목을 고정시켜 슬관절의 굴곡·신전을 부하별로 측정하였다. 각속도 60°/sec에서 5회, 180°/sec에서 10회, 300°/sec에서 25회를 실시하여 체중에 대한 최대우력(peak torque, %BW)과 총 일량(total work, %BW)을 측정하였다^{10,23}.

3) 고유수용성 감각

(1) **관절위치감각:** 피험자의 무릎 각도는 신전 0°와 굴곡 90°범위까지로 제한하고 90° 굴곡에서 인지된 각도인 신전 45°범위를 재현하도록 하였다. 검사 전 목표각 45°에서 5초 동안 유지하여 목표각을 인지시키고 대상자가 목표각을 능동적·수동적으로 재현하도록 하였다. 각 3회 반복 측정하였으며, 목표각에서 벗어난 오차각도의 평균값을 검사 결과로 채택하였다²⁴.

(2) **수동운동역치:** 수동운동역치 검사는 등속성 장비인 Humac NORM (CSMi)의 passive motion mode를 이용하였다. 피험자의 슬관절을 45°에 고정시켜 놓은 후 0.25°/sec의 속도로 슬관절이 신전하도록 하여 피험자가 슬관절의 움직임을 인지하는 순간 스스로 정지버튼을 누르게 하였다. 2번의 연습 후 3회 반복 측정하여 오차값의 평균을 결과값으로 사용하였다²⁵.

3. 자료 분석

본 연구에서 얻어진 모든 자료들은 IBM SPSS ver. 21.0 (IBM Corp., Armonk, NY, USA)을 이용하여 기술 통계치(mean±standard deviation)를 산출하였으며, 집단 간 슬관절의 굴곡근-신전근 비율, 근력, 고유수용감각의 차이를 확인하기 위하여 독립표본(independent) t-test를 실시하였다. 이때 모든 통계의 유의 수준은 $\alpha=0.05$ 로 설정하였다.

결 과

1. 슬관절 굴곡-신전 비율의 차이

집단 간 슬관절 굴곡근-신전근 비율의 차이를 확인한 결과 Table 2와 같이 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았다.

2. 슬관절 등속성 근력의 차이

1) 60°/sec에서의 슬관절 등속성 굴곡 및 신전의 최대우력의 차이

집단 간 60°/sec에서 슬관절 굴곡 및 신전의 체중에 대한 최대우력의 차이를 확인한 결과 Table 3과 같이 굴곡에서 KTD 집단(149.46±37.55)이 ATD 집단(115.31±27.74)보다 통계적으로 유의하게 높은 것으로 나타났으며($p=0.014$), 신전에서 KTD 집단(301.23±64.40)이 ATD 집단(223.38±43.91)에 비해 통계적으로 유의하게 높게 나타났($p=0.001$).

2) 180°/sec에서의 슬관절 등속성 굴곡 및 신전의 최대우력의 차이

집단 간 180°/sec에서 슬관절 등속성 굴곡 및 신전의 체중에 대한 최대우력의 차이를 확인한 결과 Table 3과 같이 굴곡에서 KTD 집단(122.54±33.69)이 ATD 집단(97.77±18.67)보다 통계적으로 유의하게 높은 것으로 나타났으며($p=0.029$), 신전에서 KTD 집단(201.62±33.60)이 ATD 집단(161.69±31.92)에 비해 통계적으로 유의하게 높게 나타났($p=0.005$).

3) 300°/sec에서의 슬관절 등속성 굴곡 및 신전의 최대우력의 차이

집단 간 300°/sec에서의 슬관절 등속성 굴곡 및 신전의 체중에 대한 최대우력의 차이를 확인한 결과 Table 3과 같이 굴곡에서 KTD집단(115.15±31.10)이 ATD집단(93.77±18.22)보다 통계적으로 유의하게 높은 것으로 나타났으며($p=0.043$), 신전에서 KTD

Table 2. Difference in the ratio of the muscle strength of the knee

Group	Mean±SD	F	p-value
ATD	51.65±6.52	0.041	0.830
KTD	50.85±11.64		

SD: standard deviation, ATD: anterior cruciate ligament injured Taekwondo demonstration player, KTD: Kukkiwon Taekwondo demonstration player.

집단(168.15 ± 29.18)이 ATD집단(143.46 ± 29.06)에 비해 통계적으로 유의하게 높게 나타났다($p=0.041$).

4) 60°/sec에서의 슬관절 등속성 굴곡 및 신전의 총 일량의 차이

집단 간 60°/sec에서 슬관절 등속성 굴곡 및 신전의 체중에 대한 총 일량의 차이를 확인한 결과 Table 4와 같이 굴곡에서 KTD 집단(806.92 ± 212.90)이 ATD 집단(635.31 ± 151.98)보다 통계적으로 유의하게 높은 것으로 나타났으며($p=0.026$), 신전에서 KTD 집단($1,494.77 \pm 217.30$)이 ATD 집단($1,149.31 \pm 275.78$)보다 통계적으로 유의하게 높게 나타났다($p=0.002$).

5) 180°/sec에서의 슬관절 등속성 굴곡 및 신전의 총 일량의 차이

집단 간 180°/sec에서의 슬관절 등속성 굴곡 및 신전의 체중에 대한 총 일량의 차이를 확인한 결과 Table 4와 같이 신전에서 KTD 집단($2,060.46 \pm 261.05$)이 ATD 집단($1,757.46 \pm 308.99$)보다 통계적으로 유의하게 높게 나타났으나($p=0.012$), 굴곡에서는 차이가 나타나지 않았다.

Table 3. Difference in the peak torque of the knee extension–flexion muscle strength between groups

Angular velocity	Motion	Group	Mean±SD	F	p-value
60°/sec	Flx	ATD	115.31±27.74	-2.638	0.014*
		KTD	149.46±37.55		
	Ex	ATD	223.38±43.91	-3.601	0.001***
		KTD	301.23±64.40		
180°/sec	Flx	ATD	97.77±18.67	-2.319	0.029*
		KTD	122.54±33.69		
	Ex	ATD	161.69±31.92	-3.106	0.005**
		KTD	201.62±33.60		
300°/sec	Flx	ATD	93.7±18.22	-2.139	0.043*
		KTD	115.15±31.10		
	Ex	ATD	143.46±29.06	-2.162	0.041*
		KTD	168.15±29.18		

SD: standard deviation, Flx: flexor, Ex: extensor, ATD: anterior cruciate ligament injured Taekwondo demonstration player, KTD: Kukkiwon Taekwondo demonstration player.

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$.

Table 4. Difference in the total work of the knee extension–flexion muscle strength between groups

Angular velocity	Motion	Group	Mean±SD	F	p-value
60°/sec	Flx	ATD	635.31±151.98	-2.366	0.026*
		KTD	806.92±212.90		
	Ex	ATD	1,149.31±275.78	-3.548	0.002**
		KTD	1,494.77±217.30		
180°/sec	Flx	ATD	937.00±223.32	-1.650	0.112
		KTD	1,132.54±364.19		
	Ex	ATD	1,757.46±308.99	-2.701	0.012*
		KTD	2,060.46±261.05		
300°/sec	Flx	ATD	1,663.85±432.19	-0.604	0.552
		KTD	1,779.77±541.02		
	Ex	ATD	143.46±29.06	-1.986	0.059
		KTD	168.15±29.18		

SD: standard deviation, Flx: flexor, Ex: extensor, ATD: anterior cruciate ligament injured Taekwondo demonstration player, KTD: Kukkiwon Taekwondo demonstration player.

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$.

Table 5. Difference of the joint position sense between groups

Motion	Group	Mean±SD	F	p-value
AJPS	ATD	3.42±2.77	0.056	0.955
	KTD	3.36±2.79		
PJPS	ATD	10.16±6.23	1.218	0.235
	KTD	7.58±4.45		

SD: standard deviation, AJPS: active joint position sense, ATD: anterior cruciate ligament injured Taekwondo demonstration player, KTD: Kukkiwon Taekwondo demonstration player, PJPS: passive joint position sense.

6) 300°/sec에서의 슬관절 등속성 굴곡 및 신전의 총 일량의 차이

집단 간 300°/sec에서의 슬관절 등속성 굴곡 및 신전의 체중에 대한 총 일량의 차이를 확인한 결과 Table 4와 같이 굴곡과 신전 모두 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았다.

3. 고유수용성 감각의 차이

1) 관절위치감각의 차이

집단 간 슬관절 능동적·수동적 관절위치감각의 차이를 확인한 결과 Table 5와 같이 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았다.

2) 수동운동역치의 차이

집단 간 슬관절 수동운동역치를 확인한 결과 Table 6과 같이 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았다.

고 찰

태권도 시범은 기술격파의 비중이 커지면서 회전, 점프 후 착지 등 고난이도 동작으로 부상에 노출되어 있으며, 환부의 수술 후에도 재활이 불완전한 상태로 스포츠 현장에 복귀하여 재손상의 위험에도 노출되어 있다. 특히 근력의 보강 위주의 훈련이 아닌 기술위주의 반복 치중한 훈련을 지속할 경우 특히 더 위험하다. 이에 본 연구는 전방십자인대 재건술을 실시한 시범단원과 전방십자인대 손상 경험이 없는 시범단원을 대상으로 슬관절 굴곡근-신전근의 비율, 등속성 근력, 고유수용성 감각을 비교 분석하여 태권도 시범 단원들의 전방십자인대 부상 후 재손상 예방과 수술 후 재활프로그램의 기초자료를 제공하기 위해 실시하였다. 연구 결과에 따른 논의는 다음과 같다.

Table 6. Difference of the threshold to detection of passive motion between groups

Group	Mean±SD	F	p-value
ATD	1.39±0.94	-1.628	0.117
KTD	2.06±1.14		

SD: standard deviation, ATD: anterior cruciate ligament injured Taekwondo demonstration player, KTD: Kukkiwon Taekwondo demonstration player.

1. 슬관절 굴곡근-신전근 비율

Lee와 Shin³은 태권도 시범단 단원들에게 있어서 슬관절 부상이 가장 빈번하게 일어난다고 보고하였으며, 전방십자인대 수술 후 근육의 불균형으로 인해 슬관절의 굴곡근과 신전근의 비율이 현저히 낮아진다고 하였다. 정상적인 슬관절의 굴곡근과 신전근의 비율은 50%~70%으로¹³, 50% 미만일 경우 굴곡근의 약화로 인해 전방십자인대의 부상이 일어날 수 있으며, 70% 초과인 경우 신전근의 약화로 무릎 내부의 부상을 동반한다고 하였다¹¹⁻¹³.

본 연구결과 전방십자인대 손상 경험이 있는 ATD 집단은 51.65%, 경험이 없는 KTD 집단에서는 50.85%로 두 집단에서 통계적으로 유의한 차이는 나타나지 않았다. 두 집단 모두 정상 범위의 슬관절 굴곡근-신전근 비율을 나타냈으나, 그 비율이 50%에 가까워 부상의 위험에 노출되어 있음을 확인할 수 있었다. 태권도의 특성상 슬관절의 신전동작이 발차기 및 격파의 주된 동작으로 반복적인 기술훈련으로 인해 이와 같은 결과가 초래된 것으로 판단되며 추후 재손상 및 부상예방을 위해서는 슬관절 굴곡근과 신전근의 이상적인 근력 비율을 위한 훈련 프로그램이 적용되어 관리가 필요할 것으로 판단된다.

2. 등속성 근력

전방십자인대 재건술 후 슬관절 신전근과 굴곡근의 근력은 감소하며, 특히 대퇴 근력의 약화로 인해 슬관절의 불안정성이 증가하게 된다²⁶. 이처럼 스포츠 활동 중 부상을 예방하기 위해 외력에 견딜 수 있는 근력이 필요하며, 선수들의 부상의 발생 빈도는 근력과 밀접한 관계가 있다고 하였다²³. 따라서 현장으로 복귀 이전에 충분한 재활운동이 이루어지지 않으면 관절의 불안정성, 슬관절의 이차적인 손상을 유발하고 근력의 부족으로 다시 전방십자인대의 재손상을 초래할 수 있다²⁷.

본 연구결과 체중 당 최대우력에서 각속도 60°/sec, 180°/sec, 300°/sec의 신전근, 굴곡근에서 모두 KTD 집단이 ATD 집단보다 통계적으로 유의하게 높게 나타났으며, 체중 당 총 일량에서도 KTD 집단이 ATD 집단보다 각속도 60°/sec에서는 신전근, 굴곡근이 각속도 180°/sec에서 신전근이 통계적으로 유의하게 높게 나타

났다. 전방십자인대 재건술 후 대퇴근력 결손율은 환측이 건측과 비교해 6개월 경과 시 24%~40.5%의 차이를 보인다고 하였다²⁸. 따라서 전방십자인대 부상 후 복귀한 시범단원들이 수술을 하지 않은 시범단원에 비해 하지의 근력이 약하다는 것을 알 수 확인하였으며, 굴곡근과 신전근의 이상적인 근력비율을 맞추고 동시에 전체적인 근력의 향상과 스포츠현장으로의 복귀 기준에 부합되는 트레이닝이 선행되어야 할 것으로 생각한다.

3. 고유수용감각

전방십자인대 손상 후 슬관절의 근력약화, 불안정성과 더불어 고유수용감각의 관절위치감각 능력이 감소하고 운동역치가 감소하여 그 기능이 저하된다^{29,30}. 전방십자인대 손상 후 성공적인 복귀를 위해서 근력의 향상과 함께 슬관절의 기능적인 안정성을 제공하는 고유수용감각의 회복이 재손상 예방을 위해 중요하다¹⁷.

본 연구에서 고유수용감각을 측정한 결과 능동적·수동적 관절위치검사, 수동 운동 역치 검사에서 모두 두 집단 간에 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았다. 선행연구에서 전방십자인대 재건술 후 재활에 따라 고유수용감각은 6개월 이후 건측과 유사한 정도로 회복하였다고 하였다^{24,31}. 이처럼 전방십자인대 손상 경험에 있는 시범단원들은 수술 후 재활과정을 통해 고유수용성 감각이 정상수준으로 회복된 것으로 판단된다. 관절의 안정성을 유지하기 위해 고유수용감각 훈련 또한 지속적으로 진행해야 할 것으로 생각한다.

본 연구는 전방십자인대 손상 유무에 따른 태권도 시범단원들의 하지근 기능 및 고유수용감각의 차이를 비교 분석하여 전방십자인대의 재손상 방지에 도움이 되는 기초자료를 제공하고자 실행하였다. 본 연구의 결과에 따른 결론은 다음과 같다.

집단 간 슬관절 굴근-신근 비율, 고유수용성감각(동적관절위치감각, 정적관절위치감각, 수동운동역치)의 차이를 비교한 결과 통계적으로 유의한 차이는 나타나지 않았으나, 슬관절 굴곡근, 신전근의 등속성 근력에서 체중 당 최대우력은 각속도 60°/sec, 180°/sec, 300°/sec에서 모두 KTD 집단이 ATD 집단보다 통계적으로 유의하게 높게 나타났으며, 체중 당 총 일량은 각속도 60°/sec에서 굴곡근, 신전근 각속도 180°/sec에서 신전근이 통계적으로 유의하게 높게 나타났다.

결론적으로 슬관절 굴곡근-신전근 비율에서 정상범위를 나타냈지만, 다양한 각속도에서의 등속성 근력이 집단 간에 유의한 차이가 나타난 것을 미루어 볼 때, 특히 전방십자인대 손상 경험에 있는 시범단원의 경우 하지 근력의 비율, 근력 향상에 대한 훈련 프로그램 필수적으로 요구되며, 평상시 기술훈련 뿐 아니라 관절의 안정성 유지를 위한 훈련프로그램이 적용되어야 할 것으로

판단된다.

Conflict of Interest

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

ORCID

Sang Il Han <https://orcid.org/0000-0002-1644-3637>

Jae Keun Oh <https://orcid.org/0000-0003-1303-2661>

Ki Jae Song <https://orcid.org/0000-0002-1910-0277>

Acknowledgements

This study was modified and supplemented by Sang Il Han's master's thesis.

References

1. Kukkiwon. Kukkiwon's official website [Internet]. Seoul (KR): Kukkiwon; 2018 [cited 2019 Nov 7]. Available from: <http://www.kukkiwon.or.kr>.
2. World Taekwondo Federation. World Taekwondo Federation's official website [Internet]. Seoul (KR): World Taekwondo Federation; 2018 [cited 2019 Nov 7]. Available from: <http://www.wtf.org>.
3. Lee YJ, Shin MY. A study on the sports injuries of University Taekwondo demonstration team. Taekwondo J Kukkiwon 2014;5:119-38.
4. Kim JS. The exploration of factors causing injuries in Taekwondo demonstration. Korea J Sport 2018;16:709-17.
5. Park JB, Kim SD, Yim DS, Jung HD. A theoretical understanding and practical establishment of the KyeokPa of Taekwondo: the view focused on organic harmony and motion of body and mind. Korea Sports Res 2006;17: 691-702.
6. Yoon SW. Anterior cruciate ligament damage and rehabilitation exercise. Sport Sci 2002;80:21-9.
7. Kvist J. Rehabilitation following anterior cruciate ligament injury. Sports Med 2004;34:269-80.
8. Stillman BC, McMeeken JM. The role of weightbearing in the clinical assessment of knee joint position sense. Aust J Physiother 2001;47:247-53.

9. Kim DK, Park WH. Knee muscle strength after revision anterior cruciate ligament (ACL) reconstruction: comparison primary ACL reconstruction. *Korean J Sports Med* 2016;34: 72-7.
10. Kim EK. The effects of proprioceptive exercise and isokinetic exercise on function of knee joint anterior cruciate ligament reconstruction. *J Sports Korean Res* 2007;15:479-88.
11. Buschbacher RM, Prahlow ND, Dave SJ. Sports medicine and rehabilitation: a sport-specific approach. Philadelphia (PA): Lippincott Williams & Wilkins; 2008.
12. Croisier JL, Ganteaume S, Binet J, Genty M, Ferret JM. Strength imbalances and prevention of hamstring injury in professional soccer players: a prospective study. *Am J Sports Med* 2008;36:1469-75.
13. Dvir Z. Isokinetics: muscle testing, interpretation, and clinical applications. Elsevier Health Sciences; 2004.
14. Boling MC, Bolgla LA, Mattacola CG, Uhl TL, Hosey RG. Outcomes of a weight-bearing rehabilitation program for patients diagnosed with patellofemoral pain syndrome. *Arch Phys Med Rehabil* 2006;87:1428-35.
15. Cha YN, Oh JK. Difference of lower extremity, trunk muscle strength, balance ability and proprioception among Korea National Taekwondo demonstration player, competition player and trainee. *Sport Sci* 2016;33:175-84.
16. Barrack RL, Lund PJ, Skinner HB. Knee joint proprioception revisited. *J Sport Rehabil* 1994;3:18-42.
17. Mir SM, Hadian MR, Talebian S, Nasser N. Functional assessment of knee joint position sense following anterior cruciate ligament reconstruction. *Br J Sports Med* 2008;42: 300-3.
18. Kim JK, Jang JH. Differences in the recovery of muscular function in knee joint according to application time of exercise rehabilitation program after anterior cruciate ligament reconstruction. *Korea J Sports Sci* 2012;21:1045-58.
19. An KO, Oak JS, Park WY, Kim JG, Yang SJ. Gender differences in the effect of rehabilitative exercise program during 24weeks after anterior cruciate ligament reconstruction. *Korean J Sport Sci* 2013;24:195-203.
20. Cho WS, Seol ES, Kim MY, Ahn HS, Ji HC. The results of sports rehabilitation after anterior cruciate ligament reconstruction. *J Korean Sports Med* 2005;23:241-5.
21. Choi HS, Shin YA. Changes of muscular strength and balance ability after rehabilitation programme related with graft choice in ACL reconstruction. *Korean J Phys Educ* 2012;5:429-40.
22. Huh MD, Lee KY. The effect of recovered isokinetic training after ACL in adult. *Korean Soc Sports Sci* 2009;18:1115-25.
23. Ahn NY, Lee WJ, Kim KJ. The influence of isokinetic muscle function of knee joint in knee injury. *J Coach Dev* 2013;15:96-104.
24. Oh SJ, Yang SJ, Ha JK, Seo JG, Choi JY, Kim JG. The effectiveness of joint position sense test in evaluating the proprioceptive function after anterior cruciate ligament reconstruction. *Korean J Sports Med* 2011;29:83-8.
25. Kim DK, Park WH. Proprioceptive and strength comparison of remnant preserved versus conventional anterior cruciate ligament reconstruction. *Korean J Sports Med* 2011;29: 99-104.
26. Takarada Y, Takazawa H, Ishii N. Applications of vascular occlusion diminish disuse atrophy of knee extensor muscles. *Med Sci Sports Exerc* 2000;32:2035-9.
27. Lee GJ, Kim BR, Kim JT, Lim IS. The effects of exercise rehabilitation program during 12 weeks after ACL reconstruction on the function index, muscle activation, and agonist/ntagonist ratio in the knee joint. *Korean J Phys Educ* 2013;52:483-94.
28. Palmieri-Smith RM, Thomas AC, Wojtys EM. Maximizing quadriceps strength after ACL reconstruction. *Clin Sports Med* 2008;27:405-24.
29. Carter ND, Jenkinson TR, Wilson D, Jones DW, Torode AS. Joint position sense and rehabilitation in the anterior cruciate ligament deficient knee. *Br J Sports Med* 1997;31:209-12.
30. Corrigan JP, Cashman WF, Brady MP. Proprioception in the cruciate deficient knee. *J Bone Joint Surg Br* 1992;74:247-50.
31. Angoules AG, Mavrogenis AF, Dimitriou R, et al. Knee proprioception following ACL reconstruction: a prospective trial comparing hamstrings with bone-patellar tendon-bone autograft. *Knee* 2011;18:76-82.