

전방십자인대재건술 후 운동복귀 여부 판단을 위한 기능성 검사: 체계적 문헌고찰

서울백병원 정형외과¹, 서울백병원 스포츠메디컬센터², 인제대학교 스포츠의학연구소³

하정구^{1,2,3} · 정규성^{1,2,3} · 공두환^{2,3} · 송한익^{1,2}

Functional Tests for Determining Return to Play Following Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: Systematic Review

Jeongku Ha^{1,2,3}, Kyusung Chung^{1,2,3}, Doohwan Gong^{2,3}, Haneui Song^{1,2}

¹Department of Orthopedic Surgery and ²Sports Medical Center, Seoul Paik Hospital, College of Medicine, Inje University, Seoul,

³Sports Medicine Research Center, Inje University, Seoul, Korea

Functional tests have been widely used for evaluating the ability to determine return to sports after anterior cruciate ligament (ACL) reconstruction. To object of this study is to review the current literatures which use functional tests to determine return to sports after ACL reconstruction. A literature search was conducted using the PubMed database. The inclusion criteria were articles published from 2015 to 2019, the English language, original clinical trials, all levels of evidence, primary ACL reconstruction, skeletal maturity, and > 1 functional test used to allow release to sports activities. The exclusion criteria were revision ACL reconstructions or dislocated knees; major concomitant procedures such as high tibial osteotomy, meniscus allograft, other knee ligament reconstructions, immature patients. Twenty-three studies with 5,282 patients were included for this review. Total 47 kinds of tests for determining return to play were used at an average of 8.4 months. Single leg hop test was the most commonly used functional test, which was used in 16 studies, followed by triple hop and cross-over hop tests. Average limb symmetric index of the single leg hop test was 92.5%. Among the muscle strength tests, 60 deg/sec isokinetic knee extension test is the most common, which was used in eight studies, followed by 180 deg/sec isokinetic knee extension test, isometric knee extension test, 60 deg/sec isometric knee flexion test. Ten kinds of functional tests with motion analysis were performed in three studies. Single leg hop test was the most commonly reported functional test for determining return to play following ACL reconstruction and muscle strength test and motion analysis were also used as functional tests.

Keywords: Anterior cruciate ligament, Anterior cruciate ligament reconstruction, Return to sports

Received: March 27, 2020 Revised: May 13, 2020 Accepted: May 25, 2020

Correspondence: Jeongku Ha

Department of Orthopedic Surgery and Sports Medical Center, Seoul Paik Hospital, 9 Mareunnae-ro, Jung-gu, Seoul 04551, Korea
Tel: +82-2-2270-0025, Fax: +82-2-2270-0023, E-mail: revo94@hanmail.net

*This study was supported by research grant of Korean Society of Sports Medicine for 2018.

Copyright ©2020 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

전방십자인대 손상은 비교적 빈번히 발생하고, 치료 후 재활까지 많은 시간이 소요되는 등 중요한 임상적 의미를 가진 질환이다¹². 치료법에 관해 오랜 기간 동안 전 세계적으로 많은 연구가 진행되었음에도 불구하고 치료결과가 만족스럽지 못한 경우가 많아 여전히 논란의 여지가 많이 있다³⁴. 전방십자인대 재건술 후 결과에 대한 평가 지표로서 운동복귀(return to play) 여부가 많이 사용되고 있는데, 이는 이 질환에 대한 치료의 목표가 단순히 통증을 경감시키거나 일상생활로 복귀하는 것 이상의 목표, 즉 이환 이전에 수행하던 수준의 활동으로 복귀하는 목표를 가지고 있기 때문이다⁵. 운동복귀여부에 대한 논의는 복귀 시점, 평가 방법, 복귀를 위한 재활 방법 등 다양한 분야와 연관되어 있으며, 많은 연구자들과 임상 치료진들은 각자의 과학적 임상적 근거를 이용하여 운동복귀 여부에 대한 판단을 해오고 있다².

운동복귀 가능 여부의 기준은 수술 후 재활 기간, 객관적 평가법, 주관적 설문지, 기능적 운동 수행 평가 등의 방법 등이 제시되어 왔다². 하지만 각각의 평가법들은 장점과 단점을 동시에 가지고 있어서, 어느 하나만으로 운동복귀 여부를 평가하는 것은 상당한 오류를 내포할 수 있다고 잘 알려져 있다⁶. 하지만, 기능적 운동 수행 평가는 한 관절의 상태에만 국한된 것이 아니고, 해당 부위 하지 전체 혹은 신체 전체가 수행할 수 있는 능력을 포괄적으로 평가하기 때문에, 여러 단점(넓은 검사 공간 필요, 긴 검사 시간 소요, 고가의 검사 장비 비용)에도 불구하고 점차 그 사용이 늘어나고 있는 추세이다⁵.

Abrams 등⁵은 체계적 문헌 고찰을 통해서 전방십자인대 재건술 후 시행된 기능성 수행검사(functional performance test)에 대해 조사하여 발표한 바가 있다. 재활 경과 시간에 따라서 기능성 수행검사를 구분하여 결과를 분석하였고, 사용된 이식건의 종류에 따라 어떠한 결과 차이가 나오는지를 명시한 바가 있다⁵. 하지만, 운동 복귀 여부와 관련한 기능성 수행검사를 특정하여 조사한 것이 아니고 재활기간 전체에서 사용된 기능수행검사를 조사하였다. 재활 경과 시기별로 적용할 수 있는 기능검사 방법이 다를 수 있기 때문에, 본 저자들은 기능성 수행검사 중 운동복귀여부를 판단하는 시점에 시행되는 기능성 수행검사를 특정하여 조사하였고, 운동복귀가 가능하였던 군과 그렇지 않았던 군을 구분하여 각각의 경우에 기능성 검사 결과에 어떠한 결과 차이가 있는지를 밝히고자 하였다.

이러한 배경 하에, 본 저자들은 2015년 이후 최근 5년간 발표된 논문을 검색하여, 전방십자인대 재건술 이후 운동복귀 여부를 평가하는데 있어서 어떠한 기능적 검사법들이 이용되고 있는지를

조사하였다.

연구 방법

1. 연구 설계

본 연구는 전방십자인대 재건술 후 운동복귀 평가 방법에 대한 체계적 문헌 고찰로 PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) 그룹이 제시한 체계적 문헌 고찰 보고 지침에 따라 수행되었다⁷.

2. 문헌 검색

국의 PubMed, Medline database를 통하여 2019년 3월에 검색을 시행하였다. 검색어는 anterior cruciate ligament reconstruction, return to sport(s), return to play, functional test로 하였고, 2015년 1월부터 2019년 3월까지 발행된 논문을 대상으로 하였다. 총 150개의 논문이 검색되었고 이 중 성인 환자에게 일차 십자인대 재건술을 시행하고 운동복귀여부를 평가하기 위해 기능성 수행평가(functional test)를 시행한 경우를 포함하였다. 종설, 증례, 가이드라인 등 임상 시험 논문이 아닌 경우는 제외하였으며, 십자인대 재건술을 시행하지 않은 경우, 재재건술을 한 경우, 유청소년 환자를 대상으로 한 경우 등도 제외하였다.

제목 및 초록 검색을 통해 제외 작업을 시행한 결과 총 41개의 논문이 선택되었으며 해당 논문들은 본문 검토를 통해 추가 선별 작업을 시행하였다. 운동복귀여부의 평가가 아닌 적용한 재활운동의 효과를 평가하기 위해 기능평가를 한 경우, 데이터가 제공되지 않아 자료추출을 할 수 없는 경우 등은 추가로 제외하여 최종 23개의 논문이 선택되었다(Fig. 1). 하위 그룹 분석은 운동복귀검사 성공 여부를 기준으로 진행되었으며 성공한 그룹과 성공하지 못한 그룹의 데이터가 각각 제시된 논문 7개만을 포함하여 진행하였다.

검색된 논문을 분석하여 각 검사방법의 limb symmetric index (LSI)의 평균을 계산하였다. LSI가 제시된 연구는 제시된 데이터를 이용하였으며, LSI가 제시되지 않고 양측 하지의 검사결과만 제시된 경우는 다음의 수식을 이용하여 LSI를 추산하였다.

$$LSI (\%) = \frac{\text{involved limb}}{\text{uninvolved limb}} \times 100$$

검사 종류에 따라서 LSI를 산출해 낼 수 없는 경우(양측 하지를 동시에 사용해야만 검사를 시행할 수 있는 경우. Postural stability test 등이 있었는데 이 경우는 LSI를 표시하지 않았다.

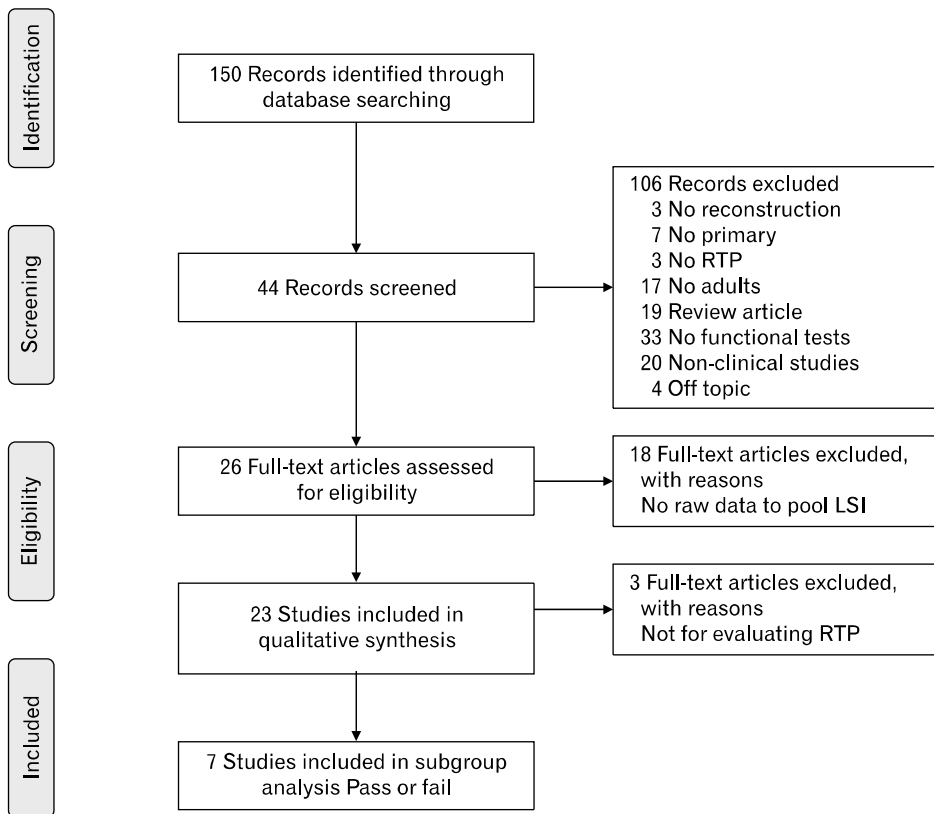


Fig. 1. PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) flow diagram for the systematic review.

결 과

총 23개의 논문이 검색되었으며, 5,282명의 환자가 연구에 포함되었다(Table 1). 근거의 수준은 level I은 1개, level II는 10개, level III는 11개, level IV는 1개였다. 운동복귀여부를 평가한 시점은 평균 8.3개월(range, 3–14.5개월)이었다. 기능성 검사 방법 중에서 가장 많이 사용된 검사는 hop test였다(Table 2). Hop test로는 single hop test, triple hop test, vertical jump, 6-m timed hop, cross-over hop, square hop test 등이 있다(Fig. 2). Single hop test가 그 중 가장 많이 사용되었으며, 평균 8.8개월에 평가가 진행되었고, 평균 LSI는 92.5%였다. Return to play (RTP)에 성공한 그룹과 성공하지 못한 그룹을 구분하여 하위그룹분석을 시행하였으며, single leg hop test는 성공한 그룹에서 94.6%의 결과를 보인 반면 성공하지 못한 그룹에서는 87.3%의 결과를 보였다(Table 3). 근력 검사도 많은 논문에서 시행되는 것이 확인되었다(Table 4). 가장 많이 시행되는 검사는 60° 각속도 등속성 신전 검사였으며 총 8개의 논문에서 평균 8.3개월에 시행되는 것으로 조사되었다. 180° 등속성 신전검사, 60° 등속성 굴곡 검사 등이 그 다음으로 많이 사용되고 있었다. 등속성 검사, 등척성 검사, 등장성 검사 방법 등이 독자적으로 사용되거나 혹은 다른 근력검사방법과 조합되어 사용되고 있었다. 하위그룹분석에서 60° 등속

도 신전검사 결과 운동복귀성공군이 80.9%인 반면 비성공군은 77.5%의 LSI 결과를 보였다(Table 3). 동작분석 장비를 통한 기능평가도 3개의 연구에서 시행되었으며, 평균 8.2개월에 총 10개 항목의 검사가 진행되었고, 10개 검사의 LSI는 72.8%–119.0%으로 확인되었다(Table 5). RTP 성공 여부에 관한 데이터가 제시된 논문을 따로 추출하여 하위그룹 분석을 시행하였다. 총 7개의 논문에서 24개 종류의 기능검사가 사용되었으며, RTP 성공 여부에 따른 논문이 해당되었으며, 이 논문들에서 사용된 총 24개 종류의 기능검사 항목에 대하여 하위그룹분석을 시행할 수 있었다(Table 3).

고 찰

본 연구를 통해 전방십자인대 재건술 후 운동복귀여부를 위한 평가에서 47개 항목의 기능검사가 시행되고 있음을 알 수 있었다. Hop test 등과 같이 특정 동작을 수행하여 거리나 시간 등을 측정하는 형태의 기능성 수행평가는 총 20종류였으며, 근력측정 장비를 이용하여 다양한 형태의 근력을 측정하는 방법은 총 19종류였고, 동작분석 장비를 이용하여 움직임의 형태를 분석한 방법은 총 10종류가 포함되었다. 가장 많은 논문에서 사용되고 있는 검사방법은 single leg hop test였으며, 그 다음은 triple hop test,

Table 1. Summary of the characteristics of included studies

No.	Study	Design	Level of evidence	N	Follow-up month	Standard name of tests	LSI (%)
1	Werner et al. (2018) ⁸	Case-control study	III	30	12	Single leg hop	97.6
						Cross-over hop	95.4
						6-m timed hop	94.8
						Isokinetic knee extension 60°	90.2
						Isokinetic knee extension 60° eccentric	86.4
						Isokinetic knee extension 180°	83.6
						Isokinetic knee extension 180° eccentric	79.8
						Isokinetic knee flexion 60°	79.0
						Isokinetic knee flexion 60° eccentric	80.8
						Isokinetic knee flexion 180°	88.4
						Isokinetic knee flexion 180° eccentric	87.4
2	Novaretti et al. (2018) ⁹	Retrospective cohort study	III	58	12	Isokinetic knee extension 60°	71.6
						Isokinetic knee flexion 60°	90.5
						Isokinetic H/Q ratio	132.9
						Postural stability analysis	–
						Drop vertical jump	72.0
3	Nawasreh et al. (2018) ¹⁰	Prospective longitudinal cohort study	II	95	6	Isometric knee extension	97.6
						Single leg hop	94.5
						Cross-over hop	95.9
						Triple hop	95.0
						6-m timed hop	96.2
4	Ebert et al. (2018) ¹¹	Case series	IV	111	12	Isokinetic knee extension 90°	79.8
						Isokinetic knee flexion 90°	91.4
						Single leg hop	86.2
						6-m timed hop	86.4
						Triple hop	86.8
						Cross-over hop	86.3
5	Burland et al. (2018) ¹²	Retrospective cross sectional study	III	50	6	Isometric knee extension	85.5
						Isometric knee flexion	79.4
						Isokinetic knee extension 60°	85.4
						Isokinetic knee extension 180°	86.0
						Isokinetic knee extension 300°	87.2
						Isokinetic knee flexion 60°	91.0
						Isokinetic knee flexion 180°	94.2
						Isokinetic knee flexion 300°	96.6
6	Wellsandt et al. (2017) ¹³	Prospective cohort	II	70	6	Isometric knee extension	–
						Single leg hop	–
						Cross-over hop	–
						Triple hop	–
						6-m timed hop	–
7	Webster and Feller (2017) ¹⁴	Retrospective cohort study	III	3,452	14	Single leg hop	94.0
						Cross-over hop	96.0
8	Sousa et al. (2017) ¹⁵	Retrospective cohort	III	223	6	Isokinetic knee extension 60°	–
						Isokinetic knee extension 180°	–
						Isokinetic knee flexion 60°	–
						Isokinetic knee flexion 180°	–
						Vertical jump	–
						Single leg hop	–
						Triple hop	–

Table 1. Continued

No.	Study	Design	Level of evidence	N	Follow-up month	Standard name of tests	LSI (%)
9	Hamrin Senorski (2017) ¹⁶	Prospective observational registry	II	157	10	Isotonic knee extension	90.8
						Isotonic knee flexion	96.8
						Vertical jump	88.8
						Single leg hop	96.4
						Side hop	
10	Gokeler et al. (KSSTA) (2017) ¹⁷	Prospective cohort	II	28	6.5	Side hop	87.1
						Single leg hop	-
						Triple hop	-
						Isokinetic knee extension 60°	86.0
						Isokinetic knee extension 180°	-
						Isokinetic knee extension 300°	-
11	Gokeler et al. (OTSR) (2017) ¹⁸	Case control study	II	52	7	Single leg hop	95.7
						Cross-over hop	96.5
						Side hop	93.8
12	Faltstrom et al. (2017) ¹⁹	Cross-sectional study	III	154	14.5	Star excursion balance test	99.5
						Single leg hop	99.8
						5-jump test	-
						Drop vertical jump	-
						Tuck jump	-
						Side hop	97.2
13	Zwolski et al. (2016) ²⁰	Cross sectional	III	45	10	Single leg hop	92.5
						Triple hop	93.3
						Cross-over hop	93.1
						Isometric knee extension	81.5
14	Kyritsis et al. (2016) ²¹	Retrospective cohort study	III	158	7.8	Isokinetic knee extension 60°	91.3
						Isokinetic knee extension 60°	91.3
						Isokinetic knee extension 180°	89.6
						Isokinetic knee extension 300°	92.0
						Running t test	-
						Single leg hop	98.0
						Triple hop	98.5
						Cross-over hop	99.0
15	Kline et al. (2016) ²²	Prospective cohort	II	30	3	Isometric knee extension	-
						Y balance test	-
						Single leg step down	-
						Knee flexion excursion	-
						Knee extensor moment	-
16	Grindem et al. (2016) ²³	Prospective cohort	II	100	9	Isokinetic knee extension 60°	81.9
						Single leg hop	89.8
						Triple hop	91.8
						Triple hop	91.5
						6-m timed hop	95.2
17	Schmitt et al. (2015) ²⁴	Prospective comparative study	II	77	8.2	Landing knee flexion	98.4
						Landing knee extension	97.3
						Landing peak knee flexion moment	74.8
						Landing peak knee extension moment	-
						Landing peak vGRF	81.4
						Landing peak loading rate	72.8

Table 1. Continued

No.	Study	Design	Level of evidence	N	Follow-up month	Standard name of tests	LSI (%)
18	Papalia et al. (2015) ²⁵	Randomized controlled trial	I	40	6	Single leg hop	-
						6-m timed hop	-
						Cross-over hop	-
19	Muller et al. (2015) ²⁶	Prospective controlled trial	II	40	6	Isometric knee flexion	74.8
						Isometric knee extension	86.7
						Isometric H/Q ratio	87.4
						Single leg hop	80.7
						Cross-over hop	91.9
						Triple hop	88.5
						Square hop	86.7
20	Mayer et al. (2015) ²⁷	Retrospective cohort	III	98	9	Functional movement screen (deep squat, hurdle step, in line lunge, shoulder mobility, active straight leg raise, trunk stability push up, rotatory stability)	-
						Y balance test	97.8
21	Lepley and Palmieri-Smith (2015) ²⁸	Cross-sectional	III	52	7.4	Single leg hop	84.2
						Isokinetic knee extension 60°	73.6
22	Ithurburn et al. (2015) ²⁹	Controlled laboratory	III	93	8.2	Landing flexion excursion	90.0
						Landing peak trunk flexion angle	119.0
						Landing peak knee extension moment	85.0
23	Herbst et al. (2015) ³⁰	Prospective cohort	II	69	6	One- and two-legged stability tests	-
						Counter movement jumps height, power	-
						Speedy jumps	-
						Plyometric jumps	-
						Quick feed test	-

LSI: Limb symmetric index, H/Q: hamstring to quadriceps, KSSTA: Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy, OTSR: Orthopaedics & Traumatology: Surgery & Research, vGRF: vertical ground reaction force.

cross-over hop test였다.

운동복귀를 평가하는 방법은 전통적으로 수술 후 경과한 시간, 주관적 증상, 설문지, 관절이완정도 등이 많이 사용되어 왔다. Barber-Westin과 Noyes²가 시행한 체계적 문헌고찰에 의하면, 2001년부터 2011년까지 발표된 전방십자인대 재건술 후 재활과 관련한 논문 중 40%에서는 운동복귀의 기준을 제시하지 않았으며, 32%에서는 수술 후 경과한 시간이 유일한 기준이었다고 보고하고 있다. 단지 13%의 연구에서만 근력, 일반적 무릎 검진, single leg hop test, Lachman rating, 설문지 등을 사용한 객관적인 기준을 제시하고 있다고 하였다. 전방십자인대 재건술의 목표는 정상적인 무릎관절의 안정성과 기능을 회복하여 운동에 성공적으로 복귀하는데 있다고 할 수 있다. 하지만, 수술기법이 발달하고 재활 프로그램 등이 진화해가고 있음에도 불구하고, 균형, 고유수용감각, 근력, 근신경 조절 등의 회복은 수술 후 상당 기간이 지난 후에도 회복되지 않는다고 많은 연구자들이 보고하고 있다. Bonfim 등³¹은 십자인대 재건술 후 감각 및 운동 신경이 12개월에

서 30개월이 지난 후에도 회복되지 않았다고 보고한 바가 있다. 전방십자인대 재건술 후 4-12개월에 시행한 single leg hop landing 에서나^{32,33}, 수술 후 5개월에서 12개월 사이에 시행한 내리막길 달리기에서³⁴, 수술 후 3개월에 시행한 전방 런지 동작³⁵ 등에서 무릎 관절의 운동역학의 변화가 관찰되었음을 보고한 논문들도 있다. 즉, 수술 후 상당기간이 지난 후에도 무릎의 기능이 완전히 회복되지 않으며, 이러한 요소들은 추후 발생하는 재손상과 밀접한 연관이 있으리라 추정해 볼 수 있는 것이다. 실제로, 장기간 추시 관찰한 연구 논문에서 전방십자인대 재건술을 시행하고 운동에 복귀한 환자들에서 높은 정도의 재손상율이 관찰되고 있음이 보고되고 있다^{36,37}. 따라서, 수술 후 운동복귀 여부에 대한 판단은 단순히 수술 후 경과한 시간만으로 판단할 수는 없으며, 여러가지 측면에서 환자의 상태를 파악하여 결정해야 함을 알 수 있다.

본 저자들의 문헌고찰을 통해, 전방십자인대 재건술 후 운동복귀여부를 평가하기 위해 가장 흔하게 사용되는 기능검사는 single

Table 2. Summary of functional tests

Standard name of tests	N	Follow-up month	LSI average (%)
Vertical jump (8,9)	380	8	88.8
Single leg hop (1,3,4,6-14,16,18,19,21)	4,807	8.8	92.5
Side hop (9,10,11,12)	391	9.5	92.8
Triple hop (3,4,6,8,10,13,14,16,19)	970	7.8	92.2
Cross-over hop (1,3,4,6,7,11,13,14,18,19)	4,093	8.7	94.3
6-m timed hop (1,3,4,6,16,18)	446	8.5	93.1
Square hop (19)	40	6	86.7
Running t test (14)	158	7.8	-
Y balance test (15,20)	128	6	97.8
Single leg step down (15)	30	3	-
One- and two-legged stability tests (23)	69	6	-
Counter movement jumps height, power speedy jumps, plyometric jumps, quick feed test (23)	69	6	-
Star excursion balance test (12)	154	14.5	99.5
5-Jump test (12)	154	14.5	-
Drop vertical jump (2,12)	212	13.3	-
Tuck jump (12)	154	14.5	-
Postural stability analysis (2)	58	12	-

The numbers in the parenthesis are numbers of order of the studies listed in Table 1.
LSI: limb symmetric index.

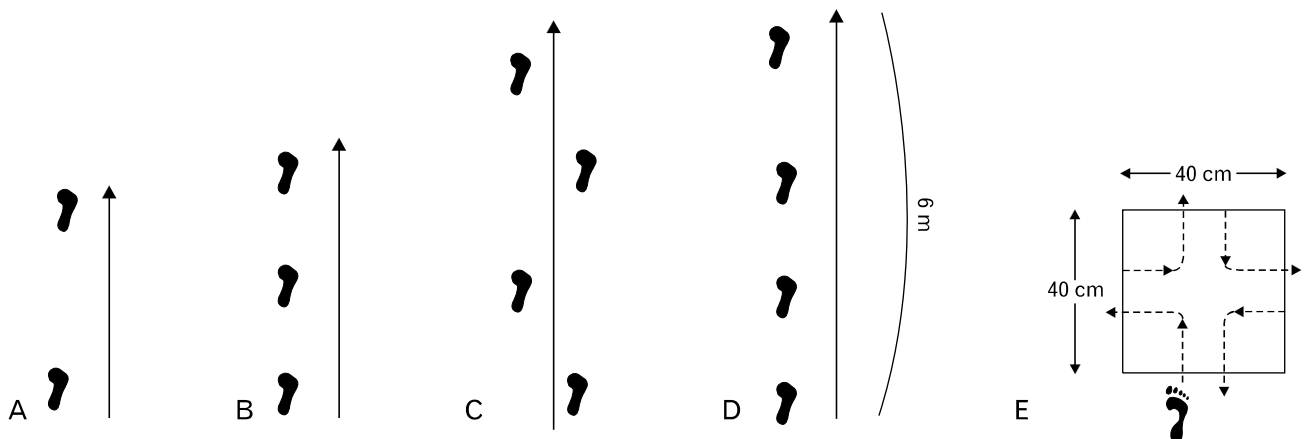


Fig. 2. Various hop tests for functional evaluation after anterior cruciate ligament reconstruction. (A) Single leg hop test. (B) Triple hop test. (C) Cross-over hop test. (D) 6-m timed hop test. (E) Square hop test.

leg hop test임을 알 수 있었다. Hop test는 매우 간단하고 많은 공간이 필요하지 않아서 누구나 쉽게 할 수 있다는 점, 반대편 다리를 참고치로 사용할 수 있다는 점 등의 장점이 있어서 전방십자인대 재건술 후 기능을 평가하는 방법으로 널리 사용되어 왔다³⁸. 다양한 형태의 hop test가 보고된 바가 있는데, 한발로 멀리뛰기, 한발로 높이 뛰기, 세발 연속 뛰기, 특정 모양을 그리면서 뛰기, cross-over로 뛰기, 6 m 빨리 뛰기 등이 있다. 이 중에서 가장 많이 사용되는 것은 single leg hop test (한발로 멀리뛰기)였다. 이전의 많은 연구에서 hop test와 다른 지표들 간에 어떠한 상관관계가 있는지를 밝히는 시도가 많이 진행되었다. Logerstedt 등³⁹은

hop test와 International knee documentation committee Knee score (IKDC knee score)와의 상관 관계를 분석한 연구를 시행하였다. 네 개의 hop test (single leg, cross-over, triple, and 6-m timed hop test) 중에서 6-m timed hop test와 cross-over hop test가 IKDC 정상치를 가장 잘 예측할 수 있는 인자임을 밝혔고, cross-over hop test는 88%의 민감도로 4개 검사 방법 중 가장 정확히 정상 기능을 반영할 수 있다는 점을 보고한 바 있다³⁹. Ra 등⁴⁰의 연구에서도 hop test와 IKDC, Lysholm test가 아주 높은 상관관계를 보이고 있음을 이용하여 IKDC와 Lysholm점수 체계의 상이점을 밝힌 바가 있다. 본 문헌고찰에 포함된 논문

Table 3. Subgroup analysis: comparison between pass group vs. fail group

Standard name of tests	LSI (%)	
	Pass	Fail
Vertical jump (9)	90.5	85.8
Single leg hop (1,3,7,9,19)	94.6	87.3
Side hop (9)	100.0	93.8
Triple hop (3,19)	92.8	82.5
Cross-over hop (1,3,7,19)	96.0	89.8
6-m timed hop (1,3)	97.8	92.9
Square hop (19)	87.5	83.8
Drop vertical jump (2)	71.9	72.1
Isometric knee extension (3,5,19)	96.0	85.7
Isokinetic knee extension 60 (1,2,5)	80.9	77.5
Isokinetic knee extension 180 (1,5)	87.5	78.2
Isokinetic knee extension 300 (5)	92.7	69.3
Isometric knee flexion (5,19)	76.3	71.2
Isometric H/Q ratio (19)	86.5	91.1
Isometric knee extension (3,5,19)	93.4	68.6
Isokinetic knee flexion 60 (1,2,5)	87.0	85.7
Isokinetic knee flexion 180 (1,5)	90.8	90.9
Isokinetic knee flexion 300 (5)	98.3	91.2
Isokinetic knee extension 60 eccentric (1)	88.0	84.0
Isokinetic knee extension 180 eccentric (1)	75.0	87.0
Isokinetic knee flexion 60 eccentric (1)	82.0	79.0
Isokinetic knee flexion 180 eccentric (1)	85.0	91.0
Isokinetic H/Q ratio (2)	127.8	139.2

The numbers in the parenthesis are numbers of order of the studies listed in Table 1.

LSI: limb symmetric index, H/Q: hamstring to quadriceps.

중에서는 Muller 등²⁶의 연구가 hop test의 유용성에 대해 기술하고 있다. 저자들은 40명의 전방십자인대 재건술 시행 환자들을 대상으로 전향적 연구를 수행하였으며, 수술 후 6개월에 다양한 검사 방법들을 이용하여 환자들을 검사하였고, 각각의 결과들이 운동 복귀 여부와 어떠한 상관관계를 가지는지 조사하였다. 그 결과, single hop for distance, cross-over hop, triple hop, anterior cruciate ligament-return to sport after injury scale (ACL-RSI), IKDC가 운동미복귀군에서 유의하게 낮은 값을 보이고 있음을 밝혔으며, 그 중에서 single hop for distance와 ACL-RSI가 운동복귀여부를 예측하는 가장 강한 예측인자라고 주장하였다.

근력 평가도 전방십자인대 재건술 후 운동복귀여부를 평가하는데 있어서 매우 중요하게 사용되는 기능 검사 중의 하나이다. 본 문헌고찰에서도 많은 연구에서 근력평가가 운동복귀여부를 평가하는 도구로 사용되고 있음을 알 수 있었다. 그 중 가장 많이 사용되는 것은 60° 각속도에서 진행되는 등속성(isokinetic) 무릎 신전 검사였고, 180° 등속성 신전검사, 60° 등속성 굴곡검사

가 그 다음으로 많이 사용되고 있었다. 각 논문을 자세히 보았을 때, 여러 종류의 근력검사 즉, 등속성, 등장성, 등척성(isometric) 근력검사가 단독으로 쓰이기도 하고 함께 쓰이기도 함을 알 수 있다. 등속성 검사 방법이 가장 많이 사용되는데 이는 등속성 검사는 피검자가 힘을 주는 만큼 저항이 걸리는 검사이기 때문에 피검자의 상태와 상관없이 일정하게 힘이 주어지는 등장성 검사방법에 비해 안전하기 때문이다. 이러한 이유로 등속성 검사는 신뢰성이 타 검사법에 비해 신뢰성이 높다는 연구가 있고, 십자인대 재건술 후 근력회복의 정도를 파악하는데 있어서도 높은 신뢰성을 보여주었다는 보고가 있다⁴¹. 하지만, 등속성검사는 고가의 등속성 검사 장비를 사용해야 측정이 가능하다는 결정적인 단점이 있다. 따라서, 일반적으로 세 가지 검사 방법 모두 최대 근력 수축이 요구되어 결국 서로 높은 상관관계를 가지고 있으므로 서로 교차 사용하는 경향이 있다⁴².

그렇긴 하여도, 각각의 검사 방법이 목표로 하는 검사 내용과 의미하는 바가 각각 약간씩 다르기 때문에 구분하여 사용하는 것이 좋을 것이라 판단된다. 등속성 검사에서도 각속도에 따라서 다른 의미를 가지고 있으므로 구분하여 사용하는 것이 좋겠지만, 아직까지 그러한 연구가 운동복귀여부를 판단하는 데에 있어서 충분히 진행되지는 못한 것으로 판단된다. 본 문헌고찰에서도 각 논문들이 이러한 부분에 대해 충분히 근거를 밝히지는 않고 있으며, 대부분 기존의 연구를 바탕으로 혹은 관습적으로 해오는 방법으로 검사방법을 적용하고 있는 것으로 판단된다.

기능평가가 운동복귀를 완벽하게 예측하는 데에 한계가 있는 하지만, 잘못된 형태의 운동 동작을 교정하고 균형감각을 키우는 근력 훈련을 통해서 십자인대 재손상을 예방할 수 있다는 연구 결과가 있다⁴³. 이와 같은 요소들은 동작 분석 연구를 통해서 확인할 수 있는데, 본 저자들의 문헌고찰에서도 총 세개의 문헌을 검색할 수 있었다. Schmitt 등²⁴은 124명을 대상으로 진행한 동작 분석 연구에서 대퇴사두근 근력이 높은 군에서(건축과 비교하여 90% 이상에 도달한 군) 대퇴사두근 근력이 낮은 군에 비해 정상과 비슷한 착지패턴을 보였음을 밝혔다. 이 결과를 바탕으로 저자들은 운동복귀시에 대퇴사두근의 근력을 중요하게 평가해야 한다고 주장하였다.

본 연구의 제한점으로는 첫번째, 검색어를 return to play (sports)와 functional test로 하였기 때문에, 개별 기능성 검사들이 산발적으로 포함된 모든 논문들을 검색하지는 못하였다. 예를 들어, single leg hop test를 return to play의 판단기준으로 사용한 연구가 있다고 하여도 검색어에 functional test가 없으면 검색되지 않았다. 이로 인해 상당수의 연구가 누락되었을 것으로 판단되지만, 현실적으로 모든 종류의 개별 기능 검사를 검색어로 넣을

Table 4. Summary of muscle strength tests

Standard name of tests	No	Follow-up month	LSI average(%)
Isotonic knee extension (9)	157	10.0	90.8
Isotonic knee flexion (9)	157	10.0	96.8
Isometric knee extension (3,5,6,13,15,19)	330	6.2	87.8
Isometric knee flexion (5,19)	90	6.0	77.1
Isometric H/Q ratio (19)	40	6.0	87.4
Isokinetic knee extension 60 (1,2,5,8,10,14,16,21)	699	8.3	82.9
Isokinetic knee extension 60 eccentric (1)	30	12.0	86.4
Isokinetic knee extension 90 (4)	111	12.0	79.8
Isokinetic knee extension 180 (1,5,8,10,14)	489	7.7	86.4
Isokinetic knee extension 180 eccentric (1)	30	12.0	79.8
Isokinetic knee extension 300 (5,10,14)	236	6.8	89.6
Isokinetic knee flexion 60 (1,2,5,8)	361	9.0	86.8
Isokinetic knee flexion 60 eccentric (1)	30	12.0	80.8
Isokinetic knee flexion 90 (4)	111	12.0	91.4
Isokinetic knee flexion 180 (1,5,8)	303	8.0	91.3
Isokinetic knee flexion 180 eccentric (1)	30	12.0	87.4
Isokinetic knee flexion 300 (5)	50	6.0	96.6
Isokinetic H/Q ratio (2)	58	12.0	132.9

The numbers in the parenthesis are numbers of order of the studies listed in Table 1.
LSI: limb symmetric index, H/Q: hamstring to quadriceps.

Table 5. Functional tests with motion analysis methods

Standard name of tests	No	Follow-up month	LSI average (%)
Landing knee flexion (17)	77	8.2	98.4
Landing knee extension (17)	77	8.2	97.3
Landing peak knee flexion moment (17)	77	8.2	74.8
Landing peak knee extension moment (17,22)	170	8.2	85.0
Landing peak vGRF (17)	77	8.2	81.4
Landing peak loading rate (17)	77	8.2	72.8
Landing flexion excursion (22)	93	8.2	90.0
Landing peak trunk flexion angle (22)	93	8.2	119.0
Knee flexion excursion (15)	30	3.0	-
Knee extensor moment (15)	30	3.0	-

The numbers in the parenthesis are numbers of order of the studies listed in Table 1.
LSI: limb symmetric index, vGRF: vertical ground reaction force.

수는 없었다. 두번째, 각각 다른 시점에서 시행한 검사들의 LSI결과를 추출하여 평균을 구하였기 때문에, 여기서 얻어진 값들을 절대적인 기준값으로 다른 재활시기에 있는 환자들에게 그대로 적용하는 것에는 주의가 필요하다.

결론

전방십자인대 재건술 이후 운동복귀 여부를 결정하는 기능 검사로는 single leg hop test가 가장 많이 쓰이고 있으며, 근력검사와 동작분석 검사도 여러 연구에서 사용되고 있다. 전방십자인대

재건술 후에 운동복귀 여부를 결정하는 것은 치료의 주 목적과 밀접한 연관성이 있으므로 다양한 검사방법을 이용하여 포괄적인 평가를 하는 것이 중요하다.

Conflict of Interest

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

ORCID

Jeongku Ha <https://orcid.org/0000-0002-2602-820X>

Kyusung Chung <https://orcid.org/0000-0002-2378-0359>

Doohwan Gong <https://orcid.org/0000-0002-8140-9937>

References

1. Feller J, Webster KE. Return to sport following anterior cruciate ligament reconstruction. *Int Orthop* 2013;37:285-90.
2. Barber-Westin SD, Noyes FR. Factors used to determine return to unrestricted sports activities after anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy* 2011;27:1697-705.
3. Ardern CL, Webster KE, Taylor NF, Feller JA. Return to sport following anterior cruciate ligament reconstruction surgery: a systematic review and meta-analysis of the state of play. *Br J Sports Med* 2011;45:596-606.
4. Ardern CL, Taylor NF, Feller JA, Webster KE. Fifty-five per cent return to competitive sport following anterior cruciate ligament reconstruction surgery: an updated systematic review and meta-analysis including aspects of physical functioning and contextual factors. *Br J Sports Med* 2014;48:1543-52.
5. Abrams GD, Harris JD, Gupta AK, et al. Functional performance testing after anterior cruciate ligament reconstruction: a systematic review. *Orthop J Sports Med* 2014;2:2325967113518305.
6. Lentz TA, Zeppieri G Jr, Tillman SM, et al. Return to preinjury sports participation following anterior cruciate ligament reconstruction: contributions of demographic, knee impairment, and self-report measures. *J Orthop Sports Phys Ther* 2012;42:893-901.
7. Moher D, Liberati A, Tetzlaff J, Altman DG; PRISMA Group. Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement. *J Clin Epidemiol* 2009;62:1006-12.
8. Werner JL, Burland JP, Mattacola CG, Toonstra J, English RA, Howard JS. Decision to return to sport participation after anterior cruciate ligament reconstruction, part II: self-reported and functional performance outcomes. *J Athl Train* 2018;53:464-74.
9. Novaretti JV, Franciozi CE, Forgas A, Sasaki PH, Ingham SJM, Abdalla RJ. Quadriceps strength deficit at 6 months after ACL reconstruction does not predict return to preinjury sports level. *Sports Health* 2018;10:266-71.
10. Nawasreh Z, Logerstedt D, Cummer K, Axe M, Risberg MA, Snyder-Mackler L. Functional performance 6 months after ACL reconstruction can predict return to participation in the same preinjury activity level 12 and 24 months after surgery. *Br J Sports Med* 2018;52:375.
11. Ebert JR, Edwards P, Yi L, et al. Strength and functional symmetry is associated with post-operative rehabilitation in patients following anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2018;26:2353-361.
12. Burland JP, Kostyun RO, Kostyun KJ, Solomito M, Nissen C, Milewski MD. Clinical outcome measures and return-to-sport timing in adolescent athletes after anterior cruciate ligament reconstruction. *J Athl Train* 2018;53:442-51.
13. Wellsandt E, Failla MJ, Snyder-Mackler L. Limb symmetry indexes can overestimate knee function after anterior cruciate ligament injury. *J Orthop Sports Phys Ther* 2017;47:334-8.
14. Webster KE, Feller JA. Younger patients and men achieve higher outcome scores than older patients and women after anterior cruciate ligament reconstruction. *Clin Orthop Relat Res* 2017;475:2472-80.
15. Sousa PL, Krych AJ, Cates RA, Levy BA, Stuart MJ, Dahm DL. Return to sport: does excellent 6-month strength and function following ACL reconstruction predict midterm outcomes? *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2017;25:1356-63.
16. Hamrin Senorski E, Samuelsson K, Thomee C, Beischer S, Karlsson J, Thomee R. Return to knee-strenuous sport after anterior cruciate ligament reconstruction: a report from a rehabilitation outcome registry of patient characteristics. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2017;25:1364-74.
17. Gokeler A, Welling W, Zaffagnini S, Seil R, Padua D. Development of a test battery to enhance safe return to sports after anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2017;25:192-9.
18. Gokeler A, Welling W, Benjaminse A, Lemmink K, Seil R, Zaffagnini S. A critical analysis of limb symmetry indices of hop tests in athletes after anterior cruciate ligament reconstruction: a case control study. *Orthop Traumatol Surg Res* 2017;103:947-51.
19. Faltstrom A, Hagglund M, Kvist J. Functional performance among active female soccer players after unilateral primary anterior cruciate ligament reconstruction compared with knee-healthy controls. *Am J Sports Med* 2017;45:377-85.
20. Zwolski C, Schmitt LC, Thomas S, Hewett TE, Paterno MV. The utility of limb symmetry indices in return-to-sport assessment in patients with bilateral anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med* 2016;44:2030-8.
21. Kyritsis P, Bahr R, Landreau P, Miladi R, Witvrouw E. Likelihood of ACL graft rupture: not meeting six clinical

- discharge criteria before return to sport is associated with a four times greater risk of rupture. *Br J Sports Med* 2016;50:946-51.
22. Kline PW, Johnson DL, Ireland ML, Noehren B. Clinical predictors of knee mechanics at return to sport after ACL reconstruction. *Med Sci Sports Exerc* 2016;48:790-5.
23. Grindem H, Snyder-Mackler L, Moksnes H, Engebretsen L, Risberg MA. Simple decision rules can reduce reinjury risk by 84% after ACL reconstruction: the Delaware-Oslo ACL cohort study. *Br J Sports Med* 2016;50:804-8.
24. Schmitt LC, Paterno MV, Ford KR, Myer GD, Hewett TE. Strength asymmetry and landing mechanics at return to sport after anterior cruciate ligament reconstruction. *Med Sci Sports Exerc* 2015;47:1426-34.
25. Papalia R, Franceschi F, Tecame A, D'Adamio S, Maffulli N, Denaro V. Anterior cruciate ligament reconstruction and return to sport activity: postural control as the key to success. *Int Orthop* 2015;39:527-34.
26. Muller U, Kruger-Franke M, Schmidt M, Rosemeyer B. Predictive parameters for return to pre-injury level of sport 6 months following anterior cruciate ligament reconstruction surgery. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2015;23:3623-31.
27. Mayer SW, Queen RM, Taylor D, et al. Functional testing differences in anterior cruciate ligament reconstruction patients released versus not released to return to sport. *Am J Sports Med* 2015;43:1648-55.
28. Lepley LK, Palmieri-Smith RM. Quadriceps strength, muscle activation failure, and patient-reported function at the time of return to activity in patients following anterior cruciate ligament reconstruction: a cross-sectional study. *J Orthop Sports Phys Ther* 2015;45:1017-25.
29. Ithurburn MP, Paterno MV, Ford KR, Hewett TE, Schmitt LC. Young athletes with quadriceps femoris strength asymmetry at return to sport after anterior cruciate ligament reconstruction demonstrate asymmetric single-leg drop-landing mechanics. *Am J Sports Med* 2015;43:2727-37.
30. Herbst E, Hoser C, Hildebrandt C, et al. Functional assessments for decision-making regarding return to sports following ACL reconstruction. Part II: clinical application of a new test battery. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2015;23:1283-91.
31. Bonfim TR, Jansen Paccola CA, Barela JA. Proprioceptive and behavior impairments in individuals with anterior cruciate ligament reconstructed knees. *Arch Phys Med Rehabil* 2003;84:1217-23.
32. Deneweth JM, Bey MJ, McLean SG, Lock TR, Kolowich PA, Tashman S. Tibiofemoral joint kinematics of the anterior cruciate ligament-reconstructed knee during a single-legged hop landing. *Am J Sports Med* 2010;38:1820-8.
33. Gokeler A, Hof AL, Arnold MP, Dijkstra PU, Postema K, Otten E. Abnormal landing strategies after ACL reconstruction. *Scand J Med Sci Sports* 2010;20:e12-9.
34. Tashman S, Kolowich P, Collon D, Anderson K, Anderst W. Dynamic function of the ACL-reconstructed knee during running. *Clin Orthop Relat Res* 2007;454:66-73.
35. Papannagari R, Gill TJ, Defrate LE, Moses JM, Petruska AJ, Li G. In vivo kinematics of the knee after anterior cruciate ligament reconstruction: a clinical and functional evaluation. *Am J Sports Med* 2006;34:2006-12.
36. Hui C, Salmon LJ, Kok A, Maeno S, Linklater J, Pinczewski LA. Fifteen-year outcome of endoscopic anterior cruciate ligament reconstruction with patellar tendon autograft for "isolated" anterior cruciate ligament tear. *Am J Sports Med* 2011;39:89-98.
37. Pinczewski LA, Lyman J, Salmon LJ, Russell VJ, Roe J, Linklater J. A 10-year comparison of anterior cruciate ligament reconstructions with hamstring tendon and patellar tendon autograft: a controlled, prospective trial. *Am J Sports Med* 2007;35:564-74.
38. Fitzgerald GK, Lephart SM, Hwang JH, Wainner RS. Hop tests as predictors of dynamic knee stability. *J Orthop Sports Phys Ther* 2001;31:588-97.
39. Logerstedt D, Grindem H, Lynch A, et al. Single-legged hop tests as predictors of self-reported knee function after anterior cruciate ligament reconstruction: the Delaware-Oslo ACL cohort study. *Am J Sports Med* 2012;40:2348-56.
40. Ra HJ, Kim HS, Choi JY, Ha JK, Kim JY, Kim JG. Comparison of the ceiling effect in the Lysholm score and the IKDC subjective score for assessing functional outcome after ACL reconstruction. *Knee* 2014;21:906-10.
41. Montgomery LC, Douglass LW, Deuster PA. Reliability of an isokinetic test of muscle strength and endurance. *J Orthop Sports Phys Ther* 1989;10:315-22.
42. Moss CL, Wright PT. Comparison of three methods of assessing muscle strength and imbalance ratios of the knee. *J Athl Train* 1993;28:55-8.
43. Hewett TE, Ford KR, Myer GD. Anterior cruciate ligament injuries in female athletes: Part 2, a meta-analysis of neuromuscular interventions aimed at injury prevention. *Am J Sports Med* 2006;34:490-8.