

# 전방십자인대의 기능성 보조기: 체계적 문헌고찰

건국대학교병원 정형외과<sup>1</sup>, 올곧은병원 정형외과<sup>2</sup>

김두한<sup>1,2</sup> · 이동원<sup>1</sup> · 김진구<sup>1</sup>

## Functional Brace of Anterior Cruciate Ligament: Systematic Review

Du Han Kim<sup>1,2</sup>, Dhong Won Lee<sup>1</sup>, Jin Goo Kim<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Orthopaedic Surgery, Konkuk University Medical Center, Seoul,

<sup>2</sup>Department of Orthopaedic Surgery, Allgoden Hospital, Daegu, Korea

Functional knee braces are commonly prescribed to support anterior cruciate ligament (ACL) reconstruction. The aim of this study was to evaluate the current literature on the use of functional knee braces of ACL with respect to biomechanical, clinical and functional outcomes. A literature search was conducted (2000 to 2017) by two independent reviewers using PubMed MEDLINE database. Articles were retrieved by an electronic search using keywords (anterior cruciate ligament, brace, and bracing) and their combinations. Current functional braces used to treat ACL injury were identified. Studies that met inclusion criteria were assessed for pertinent data. Fourteen studies met the inclusion criteria. Functional knee brace reportedly did not improve long-term clinical and functional outcomes following ACL reconstruction, but some studies suggest that functional brace may have some benefit with regard to biomechanics, proprioception, and subsequent injury rates. Functional knee brace after ACL reconstruction was found no significant difference in clinical and functional outcomes. But Further large-scale recent studies will be required to determine long-term outcomes of the brace.

**Keywords:** Anterior cruciate ligament, Anterior cruciate ligament reconstruction, Braces, Ligaments, Review

### 서 론

스포츠 인구의 증가로 인해 스포츠 손상이 늘어가면서 무릎 관절의 전방십자인대 손상 또한 증가하고 있는 추세이며, 미국, 덴마크, 스웨덴, 독일 등에서는 해마다 인구 10만명 당 약 32-91명 정도 전방십자인대 재건술을 받는 것으로 조사되었다<sup>1-3</sup>. 전방십자인대가 손상되면 슬관절의 운동 역학에 영향을 끼치게 되고, 지속적인 불안정성으로 인해 반월상 연골판, 관절연골에 추가적인 손상이 발생할 수 있으며, 근신경 장애에 따른 운동 능력 저하도 발생할 수 있어 젊고 활동적인 환자에게는 전방십자인대 재건술이 많이 시행되고 있다. 최근 중년 이후에도 스포츠 참여가 늘어감에 따라 중년 이상의 환자에서도 전방십자인대 재건술은 점점 더 늘어가고 있는 추세이다<sup>4,5</sup>.

Received: February 5, 2018 Revised: June 1, 2018

Accepted: June 4, 2018

Correspondence: Jin Goo Kim

Department of Orthopaedic Surgery, Konkuk University Medical Center, 120-1 Neungdong-ro, Gwangjin-gu, Seoul 05030, Korea

Tel: +82-2-2030-7606, Fax: +82-2-2030-7369

E-mail: boram107@hanmail.net

Copyright ©2018 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.

전방십자인대 재건술 후 기능성 보조기의 목적은 스포츠 활동 시 무릎에 안정감을 주어 추가적인 손상을 예방하고, 이식건의 회복을 도우며, 슬관절의 고유감각기능 향상 및 수술 후 활동 시 자신감 회복이다. 따라서 현재 많은 정형외과 의사들이 전방십자인대 재건술 후 보조기를 처방하고 있으나 비싼 보조기의 가격에 비해 임상적인 또는 기능적인 효과가 부족하다는 의견 또한 있다.

전방십자인대 재건술의 수술 기법이 발전 및 변화에 따라서 보조기에 대한 인식 또한 변하고 있다. 과거 대퇴골의 등장점(isometric point)에 대퇴 터널을 만들어 이식물을 고정하는 방식을 선호하였는데, 이 수술 방법은 전후방 안정성은 충분하련을 수 있으나 회전 불안정성까지 해결할 수 없다는 사실이 많은 연구를 통해 증명되면서 최근 다시 대퇴 터널을 전방십자인대의 해부학적 중심부로 바꾸고 있다. 따라서 전방십자인대 재건술 시 전방십자인대의 해부학적 대퇴골 중심에 대퇴 터널을 만들기에 적합한 부전내측 삽입구를 통한 방법 및 outside-in 방법이 선호되고 있다. 그러나 이러한 수술 방식은 해부학적 중심부에 대퇴 터널을 만들 수 있는 장점에도 불구하고, 대퇴 터널과 경골 터널이 별도로 만들어지면서 터널 간의 굴곡 각도가 발생하게 되어 이식건의 부하를 증가시키며 press-fit 방식을 사용할 수 없으므로 초기 고정 강도가 약한 단점이 발생한다<sup>6-10</sup>. 이러한 이유로 수술 초기에 이식건을 보호할 수 있는 보조기의 중요성이 더 커지게 되었고 이에 수술 후 보조기의 필요성에 대하여 다시 신중히 고려되고 있다.

본 연구의 목적은 전방십자인대 재건술 후 착용하는 기능성 보조기에 대한 생역학적, 임상적 및 기능적 연구들을 비교

분석하고자 하는 것이다.

**문헌 검색**

참고 문헌에 대한 검색은 PubMed MEDLINE database를 통하여 2017년 10월에 시행되었으며, 키워드는 “anterior cruciate ligament,” “brace,” “bracing”을 이용하였다. 2000년 1월부터 2017년 9월까지 발행된 논문을 대상으로 두 명의 연구자(DHK, DWL)가 독립적으로 데이터를 검색하였으며, 연구 방식, 전방십자인대 재건술 방법, 검사 시기 및 검사 방법, 연구 결과의 적절성을 검토하였다. 전방십자인대 재건술을 하지 않았더라도 보조기의 기능을 전방십자인대와 연관 지어 연구한 논문은 포함했지만 영어가 아닌 논문, 중설 및 증례 보고, 추시 기간이 3개월 이하, 보조기의 성능이 불확실하거나 보조기에 대하여 명확히 기재가 되어 있지 않은 경우는 연구에서 제외하였다.

검색을 통하여 총 219개의 논문이 검색되었으며, 제목과 초록을 검토한 결과 25개의 논문이 포함되었다. 포함된 논문의 본문을 검토한 결과 13개의 논문이 배제되어 총 12개의 논문이 연구에 포함되게 되었다. 최종 포함된 논문의 인용 논문을 재검색하여, 추가로 2개의 논문을 연구에 포함했으며, 본 연구의 마지막에 같은 방식으로 한 번 더 검색을 시행하였다(Fig. 1).

**종류와 원리**

기능성 보조기는 규격품으로 바로 살 수 있는 제품화된

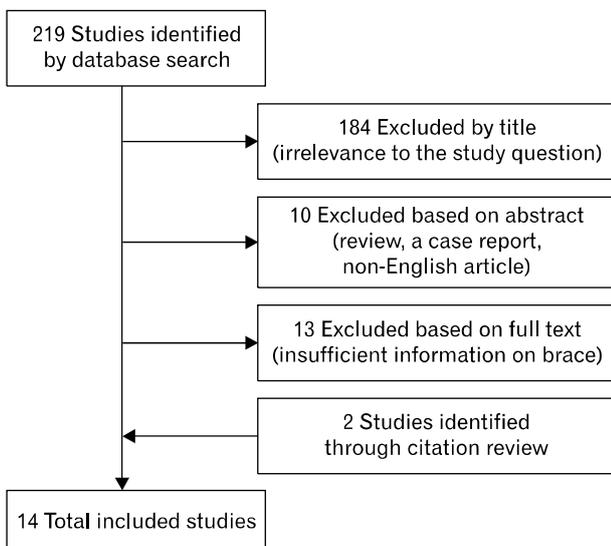


Fig. 1. Flow diagram of the systematic review process.



Fig. 2. Photograph of four points of leverage system functional brace.

종류와 환자의 다리 크기에 맞게 주문 제작할 수 있는 종류가 있다. 보조기를 구성하는 재료로는 알루미늄, 탄소 복합제, 탄소흑연제, 마그네슘제 등이 있으며, 디자인의 원리는 허벅지 앞과 뒤, 종아리, 그리고 경골 앞 부위, 총 네 군데의 안정성을 주는 four points of leverage, 무릎 주위 전체를 지지하는 total support system, 신축성이 있는 flexible subshell 등이 있으며, 강한 고정력을 가지는 보조기는 힌지(hinge)를 이용하여 슬관절의 움직임을 허용하고 있다(Fig. 2)<sup>11</sup>.

### 전방십자인대 재건술의 수술 과정

일반적으로 전방십자인대 파열이 있는 활동적인 환자들은 슬관절의 불안정성으로 인한 이차적인 퇴행성 변화가 발생할 수 있어 재건술이 시행되고 있다. 전방십자인대 재건술에 흔히 사용되는 이식전으로는 자가 골-슬개건-골, 자가 슬괵건, 자가 대퇴사두건, 동종건(골-슬개건-골, 아킬레스건 및 전, 후 경골건) 등이 있다. 수술은 대부분 관절내시경으로 이루어지며, 수술 후 전후방 안정성뿐 아니라 회전 불안정성까지 안정화를 얻으려면 전방십자인대의 해부학적 부착점에 이식건을 정확하게 위치시키는 것이 중요한데, 수술 과정 중에서 대퇴골 터널을 생성하는 방법에 따라 경경골(transstibial) 방식, 전내측 경삽입구(anteromedial trans-portal portal) 방식, outside-in 방식으로 나뉘게 된다. 경경골 방식은 경골의 터널을 이용하여 대퇴골의 터널을 만드는 수술 방식으로 해부학적인 대퇴골 부착부에 정확히 위치시키기 어려운 단점이 있다. 이러한 단점을 보완하기 위해 경골의 터널과 독자적으로 해부학적 위치에 대퇴골 터널을 만들 수 있는 전내측 경삽입구 방식이나 outside-in 방식이 최근 많은 관심을 받고 있는데, 이 방법들 또한 단점으로 독자적인 터널로 인한 이식건의 굴곡 각도 증가하여 이식건의 부하가 증가할 수 있다는 의견들도 있다<sup>6,10</sup>.

### 전방십자인대기능성 보조의 생역학적 연구

전방십자인대의 기능은 일차적으로 슬관절의 전후 안정성을, 이차적으로는 내회전, 외회전 및 내반, 외반 안정성을 유지해 주는 것이다<sup>12</sup>. 따라서 전방십자인대 기능성 보조기도 이와 같은 전방십자인대의 본연 기능을 근간으로 디자인되고 있다. 본 연구에 포함된 14개의 연구 중 5개의 연구에서 보조기 착용에 따른 경골의 전방전위, 회전 정도, 지면 반발력 등에

대한 생역학적 실험을 하였다.

Pierrat 등<sup>13</sup>은 힌지가 있는 기능성 보조기 3개와 하나의 슬리브(sleeve)형 보조기의 전방 전위 정도를 관절측정기를 이용하여 측정하였을 때, 기능성 보조기가 슬관절 안정성에 효과가 있는 것으로 나타났다. 최근에는 3차원적인 운동 분석 데이터를 이용하여 보조기 착용 후 슬관절 뿐만 아니라 고관절 및 족관절에 대한 지면 반발력, 굴곡 및 신전각의 변화, 모멘트(moment) 등의 다양한 결과를 분석하는 연구도 진행되고 있다. 연구에 따르면 슬관절의 기능성 보조기는 착지 동작 시 슬관절 뿐만 아니라 고관절의 굴곡 및 신전 각도에도 의미 있는 영향을 주어 전방십자인대의 부상과 관련된 중요한 생역학적인 인자를 안정시켜 줄 수 있다는 의견도 제시되었다<sup>14</sup>. 또 다른 연구로 자가슬개건을 이용한 전방십자인대 재건술을 시행한 환자에게서 계단 하강 및 점프 착지 동작 직후 피벗(pivot) 동작과 같은 비교적 고강도의 운동 부하 결과, 보조기 착용군이 미착용 군보다 과도한 경골 회전을 제한하는 것으로 나타났지만 전방십자인대 손상이 없는 정상적인 슬관절과는 차이를 보였다고 발표하였다<sup>15</sup>. 그러나 Jalali 등<sup>16</sup>은 상반되는 결과를 발표하였는데, 전방십자인대의 손상을 받은 슬관절에서 투시조영 분석기를 이용하여 런지 운동 시 슬관절의 각도에 따른 전방전위의 정도를 측정하였는데, 보조기 착용군과 미착용군에서 의미 있는 차이는 없는 것으로 확인되었다. Beynnon 등<sup>17</sup>은 만성 전방십자인대 손상이 있는 환자를 대상으로 기능성 보조기의 안정성에 대한 역학적 연구를 한 결과 체중 부하 및 비 체중 부하 시에는 전방 불안정성을 유의하게 줄여 주었으나, 비 체중 부하에서 체중 부하로 슬관절의 부하가 이동할 때는 정상적인 슬관절에 비해 3.5배 정도 전방 전위가 발생함을 보고하였다(Table 1).

### 전방십자인대 기능성 보조기의 임상적인 결과

슬관절의 임상적 결과는 Lysholm 점수, Tegner 점수, International Knee Documentation Committee (IKDC) 점수 등의 주관적인 평가와 관절 가동 범위(range of motion), 재손상 빈도, 근력 등과 같은 객관적인 평가가 있는데, 이를 조사 연구는 총 6개가 확인되었다. 그중 4개의 연구에서 기능성 보조기가 주관적인 평가에 영향을 미치지 않는다고 보고하였다. McDevitt 등<sup>18</sup>은 다기관 95명을 대상으로 한 전향적인 연구에서 전방십자인대 재건술 후 보조기를 착용하는 것이 슬관절의 안정성, IKDC 점수, Lysholm 점수, 관절운동 범위,

**Table 1.** Summary of published biomechanical results of functional brace of anterior cruciate ligament

Study	Level of evidence (study design)	No. of cases	Brace type	Tool of evaluation	Outcomes measured	Result
Pierrat et al. <sup>13</sup>	III (Controlled laboratory study)	16 Injured knees, no control group	3 Fabric hinged braces and 1 knee sleeve	GNRB arthrometer	Anterior tibial translation	Three fabric hinged braces may effectively replace the passive mechanical role of ACL.
Ewing et al. <sup>14</sup>	III (Controlled laboratory study)	15 Healthy knees, no control group	Rigid polymer frames brace	3-Dimensional motion and force plate	Ground-reaction force, joint angles, moments, power, and work	Braces may help reduce the risk of noncontact knee injuries.
Giotis et al. <sup>15</sup>	II (Prospective comparative study)	20 BPTB ACLR, 20 intact ACL	Prophylactic brace, sleeved brace, without a brace	8-Camera optoelectronic system	Tibial rotation during pivoting motion	Bracing limited the excessive tibial rotation. However, full restoration to normative values was not achieved.
Jalali et al. <sup>16</sup>	III (Controlled laboratory study)	12 ACL deficient knees, no control group	Rigid functional brace	Fluoroscopic images during lunge	Anterior tibial translation	Functional knee bracing is not sufficient to control the anterior tibial translation.
Beynon et al. <sup>17</sup>	III (Controlled laboratory study)	9 ACL deficient knees, no control group	Rigid functional knee brace	Vermont knee laxity device	Anterior tibial translation	Braces were not effective in reducing the abnormal anterior translations produced by the change from non-WB to WB.

ACL: anterior cruciate ligament, BPTB: bone patella tendon bone, ACLR: anterior cruciate ligament reconstruction, WB: weight bearing.

근력 등의 임상적인 결과에서 차이를 보이지 않음을 발표하였다. Harilainen과 Sandelin<sup>19</sup>은 60명의 전방십자인대 재건술을 받은 환자들을 전향적으로 Lysholm 점수, Tegner 점수, 전후방 불안정성 및 근력을 평가한 결과 유의한 차이가 없음을 보고하였고 Birmingham 등<sup>20</sup>도 150명을 대상으로 수술 후 기능성 보조기 착용한 군과 슬리브형 보조기를 착용한 군에서 전방십자인대-삶의 질 평가(Anterior Cruciate Ligament-Quality of Life Questionnaire) 및 Tegner 점수를 비교한 결과 임상적으로 기능성 보조기의 우월성을 증명할 수 없었다. 관절 가동 범위에 관해서 긍정적인 연구가 있었다. Mikkelsen 등<sup>21</sup>은 0° 고정 신전 보조기가 슬관절의 신전을 지속적인 유지를 하지 못하기 때문에 5°과 신전 보조기를 사용하였을 때, 굴곡 제한, 관절 이완, 통증 등의 임상적인 결과에는 큰 차이가 없었으나 신전 소실을 더 예방할 수 있었다고 보고하였다.

보조기의 중요한 기능 중 하나인 재발 방지 효과에서는 비교적 좋은 결과를 보고 하였다. 전방십자인대 재건술을 시행

한 스키 선수들을 대상으로 한 연구에서 재부상률은 보조기 착용군이 4%, 비착용군이 9%로 나타났으며 그 중에서도 수술이 필요할 정도의 부상이 확인된 군은 보조기 착용군이 1%, 비착용군이 4%로 조사되어 스키 운동 시 보조기 착용이 재발 방지에 도움이 되는 것으로 나타났다<sup>22</sup>. 유사한 연구로 전방십자인대가 손상당하여 결손이 있는 스키 선수를 대상으로 한 재부상률을 조사하였을 때도 보조기 착용군이 2%, 보조기 미착용군이 13%로 훨씬 더 재부상률이 낮은 것으로 확인되었다<sup>23</sup>. 그러나 이러한 연구들이 모두 스키 선수들을 대상으로 이루어졌기 때문에, 더욱 더 다양하고 폭 넓은 군에서의 연구가 향후 필요하다(Table 2).

### 전방십자인대 보조기의 기능적인 결과

본 연구에 포함된 논문 중 5개의 논문에서 전방십자인대

**Table 2.** Summary of published clinical results of functional brace after anterior cruciate ligament reconstruction

Study	Level of evidence (study design)	No. of cases	Brace type and duration	Reconstruction technique	Clinical outcomes measured	Result
McDevitt et al. <sup>18</sup>	I (Prospective randomized multicenter study)	47 Braces, 48 no-brace	DonJoy IROM, 6 mo	BPTB autograft	IKDC, Lysholm score, and strength test	Bracing does not appear to change the clinical outcomes.
Harilainen and Sandelin <sup>19</sup>	I (Randomized prospective study)	30 Braces, 30 no-brace	DonJoy IROM, 12 wk	BPTB autograft	Lysholm score, Tegner score, strength test	Knee braces are not needed in the postoperative rehabilitation after ACLR.
Birmingham et al. <sup>20</sup>	I (Randomized controlled study)	76 Braces, 76 sleeves	DonJoy Legend and Neoprene sleeve, 12 mo	Hamstring autograft	ACL-quality of life questionnaire, Tegner score	A functional brace does not result in superior outcomes compared with a sleeve.
Mikkelsen et al. <sup>21</sup>	I (Prospective randomized study)	22 Study groups, 22 control groups	Hyperextension brace and straight brace, 3 mo	BPTB autograft	VAS and range of motion	Hyperextension brace seems to be an easy way of ensuring full extension.
Sterett et al. <sup>22</sup>	III (Cohort study)	257 Braces, 563 no-brace	CTi2 brace, NR	BPTB autograft, hamstring autograft, allograft	Subsequent knee injuries	The increased risk of subsequent knee injury in non-braced group
Kocher et al. <sup>23</sup>	III (Cohort study)	101 Braces, 79 no-brace	CTi2 brace, NR	NR	Subsequent knee injuries	The risk ratio for subsequent knee injury comparing non-braced with braced skiers was 6.4 (13% and 2%).

BPTB: bone patella tendon bone, IKDC: International Knee Documentation Committee, ACLR: anterior cruciate ligament reconstruction, ACL: anterior cruciate ligament, VAS: visual analogue scale, NR: not reported.

재건술을 받았거나 전방십자인대의 손상이 있는 환자에게 보조기의 착용과 한 발 뛰기, 러닝, 민첩성, 고유감각기능 등의 기능적인 결과와의 연관성을 보고하였으나 보조기의 착용이 이러한 기능적인 결과에 큰 영향을 끼치지 못했다. Wu 등<sup>24,25</sup>은 전방십자인대 재건술을 시행 받은 환자를 대상으로 기능성 보조기와 placebo 보조기, 보조기 미착용군 간의 근력 및 고유감각신경에 관한 비교 연구를 한 결과, 기능성 보조기와 placebo 보조기에서 고유감각신경 검사에서는 향상되는 결과를 보였으나 다른 검사 결과에서는 큰 차이를 보이지 않았고, 마찬가지로 전방십자인대 재건술 후 5개월째 실시한 달리기 속도, 점프력, 방향전환 등과 같은 기능적인 검사에서도 보조기의 착용은 큰 효과가 없는 것으로 보고하였다. 전향적인 다기관 연구에서도 전방십자인대 후 보조기 착용은 한 발 뛰기와 같은 기능적인 평가에서 우월함을 확인할 수 없었으며<sup>18,20</sup>, 전방십자인대의 손상이 있으나 재건술을 받지 않은 환자에

대한 연구에서도 기능성 보조기는 슬리브형 보조기에 비해 기능적인 평가에서 유의한 차이가 없었다<sup>26</sup>.

## 고 찰

전방십자인대 재건술 후 보조기의 목적은 스포츠 활동으로 복귀하였을 때 추가적인 손상을 예방하고, 치유되는 동안 이식건을 보호하며, 슬관절의 고유신경감각을 더 향상해 환자의 자신감을 회복시키는 데 있다. 본 연구의 목적은 전방십자인대 재건술 후 착용하는 기능성 보조기가 이식건에 역학적인 안정감을 주고, 환자에게 임상적 및 기능적으로 긍정적인 영향을 주어 재활에 도움이 되는지를 알아보고자 하였다.

많은 연구에서 기능성 보조기는 슬관절에 역학적으로 안정감을 주는 것으로 보고를 하였지만, 스포츠 활동과 관련된 역동적인 동작에서는 그 기능이 아직은 증명되지 못하였고,

임상적인 결과 또한 보조기 착용군의 우월함을 증명하지 못하였다. 이러한 불확실한 임상적인 결과 때문에 전방십자인대 수술 후 보조기의 처방을 꺼리는 의사들도 있지만, 재발의 위험성을 줄일 수 있고, 운동 시 자신감, 재손상에 대한 불안감과 같은 환자들의 심리적인 요인들은 임상적인 결과에 반영이 되지 않기 때문에 임상적인 결과의 유의성이 없다 하더라도 더욱 더 신중하게 받아들여야 한다.

고유감각기능과 관련된 연구에서는 보조기가 확실한 도움이 된다는 보고는 없으나 기존의 기능성 보조기와는 다르게 슬리브형 보조기는 고유감각기능에 도움이 된다는 연구들이 있다. Palm 등<sup>27</sup>은 전방십자인대 재건술을 받은 65명을 대상으로 한 슬리브형 보조기의 기능을 평가한 결과, 보조기 착용이 고유감각기능을 향상할 수 있음을 보고 하였다. 슬리브형 보조기는 일반적인 슬관절 보조기와는 다르게 많은 부분의 피부를 덮을 수 있게 제작되는데, 이는 피부 신경에 추가적인 자극을 주고 피부 수용체에 구심성 유입을 증가시키게 된다. 그리고 피부 및 근육과 관절낭에 압력을 주어 근육 방추체와 골지건 기관(Golgi tendon organ)에 적절한 자극을 주게 된다. 이러한 작용들이 근육 조절에 피드백을 주게 되어 기능적 관절 안정성을 향상할 수 있게 된다<sup>28</sup>.

전방십자인대 재건술 후 회복에는 무릎 주위 근육의 발달이 중요하다. 그중에서도 대퇴사두근은 슬관절의 안정성 및 역동적인 기능, 재손상 방지, 관절염의 발생 등에 밀접한 관련이 있기 때문에 특히 더 중요하게 여겨지고 있다. 무릎 주위 부상 이후 대퇴사두근은 신경계의 억제를 받게 되는데 이러한 과정은 관절기원성 근 억제(arthrogenic muscle inhibition)로 알려져 있다<sup>29</sup>. 관절기원성 근 억제는 관절의 부종, 염증, 통증, 이완 및 구조적인 손상이 있을 시 활성화될 수 있어 전방십자인대 손상뿐만 아니라 골관절염, 타박상, 반월 연골판 손상, 수술 후에도 작용을 한다<sup>30,31</sup>. 그중에서도 전방십자인대 손상이 있을 시 관절기원 근억제는 초기에 활성화되고, 수상 후 약 2년 전후에는 거의 작용하지 않는 것으로 알려져 전방십자인대 손상 및 수술 후 초기 재활이 더 강조되는 이유이다<sup>32</sup>. 대퇴사두근에 작용하는 관절기원 근 억제 뿐만 아니라 대퇴사두근에 길항하는 햄스트링의 활성화 또한 전방십자인대 수술 후 흔히 관찰된다. 이러한 햄스트링 공동활성화 작용은 경골의 전방 전위를 막고 슬관절의 안정성을 주기 위한 자연스러운 보상 작용으로 설명되는데, 이것은 전방십자인대 재건술 후 슬관절의 재활 시 관절 운동 제한과 대퇴사두근 근력 향상에 부정적인 영향을 줄 수 있다<sup>33</sup>.

따라서 앞으로 전방십자인대 재건술 후 필요한 보조기는

단순히 이식건에 기계적인 고정력만 주는 기능뿐만 아니라 슬관절의 고유감각신경의 보존, 수술받은 환자의 자신감 회복 및 대퇴사두근의 근력 강화에 필요한 근-신경계에 긍정적인 영향을 줄 수 있는 보조기가 연구되어야 할 것이다.

## 결론

건강에 대한 관심이 늘어나면서 스포츠 손상과 밀접한 관계가 있는 전방십자인대 재건술은 앞으로도 많이 시행될 것이다. 전방십자인대 재건술 후 기능적 보조기 착용이 생역학적 및 기능적으로 도움이 된다는 주장도 있으나, 입증할만한 충분한 근거는 부족한 상황이다. 앞으로 역동적인 신체 활동에서도 본연의 전방십자인대 기능을 재현할 만한 기능을 함과 동시에 근-신경계적으로 긍정적인 작용을 하여 원활한 재활을 할 수 있는 보조기에 대한 개발과 더불어 이에 따른 체계적인 연구가 지속해서 이루어져야 할 것이다.

## Conflict of Interest

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

## References

1. Granan LP, Bahr R, Steindal K, Furnes O, Engebretsen L. Development of a national cruciate ligament surgery registry: the Norwegian National Knee Ligament Registry. *Am J Sports Med* 2008;36:308-15.
2. Granan LP, Forssblad M, Lind M, Engebretsen L. The Scandinavian ACL registries 2004-2007: baseline epidemiology. *Acta Orthop* 2009;80:563-7.
3. Lind M, Menhert F, Pedersen AB. The first results from the Danish ACL reconstruction registry: epidemiologic and 2 year follow-up results from 5,818 knee ligament reconstructions. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2009;17:117-24.
4. Claes S, Hermie L, Verdonk R, Bellemans J, Verdonk P. Is osteoarthritis an inevitable consequence of anterior cruciate ligament reconstruction? A meta-analysis. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2013;21:1967-76.
5. Lawrence JT, Argawal N, Ganley TJ. Degeneration of the knee joint in skeletally immature patients with a diagnosis of an anterior cruciate ligament tear: is there harm in delay of treatment? *Am J Sports Med* 2011;39:2582-7.
6. Petersen W, Tretow H, Weimann A, et al. Biomechanical

- evaluation of two techniques for double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction: one tibial tunnel versus two tibial tunnels. *Am J Sports Med* 2007;35:228-34.
7. Seon JK, Gadikota HR, Wu JL, Sutton K, Gill TJ, Li G. Comparison of single-and double-bundle anterior cruciate ligament reconstructions in restoration of knee kinematics and anterior cruciate ligament forces. *Am J Sports Med* 2010; 38:1359-67.
  8. van Eck CF, Schkrohowsky JG, Working ZM, Irrgang JJ, Fu FH. Prospective analysis of failure rate and predictors of failure after anatomic anterior cruciate ligament reconstruction with allograft. *Am J Sports Med* 2012;40:800-7.
  9. Kim JG, Wang JH, Lim HC, Ahn JH. Femoral graft bending angle and femoral tunnel geometry of transportal and outside-in techniques in anterior cruciate ligament reconstruction: an in vivo 3-dimensional computed tomography analysis. *Arthroscopy* 2012;28:1682-94.
  10. Tashiro Y, Irarrazaval S, Osaki K, Iwamoto Y, Fu FH. Comparison of graft bending angle during knee motion after outside-in, trans-portal and trans-tibial anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2017;25: 129-37.
  11. Smith SD, Laprade RF, Jansson KS, Aroen A, Wijdicks CA. Functional bracing of ACL injuries: current state and future directions. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2014;22: 1131-41.
  12. Andersson D, Samuelsson K, Karlsson J. Treatment of anterior cruciate ligament injuries with special reference to surgical technique and rehabilitation: an assessment of randomized controlled trials. *Arthroscopy* 2009;25:653-85.
  13. Pierrat B, Oullion R, Molimard J, et al. Characterisation of in-vivo mechanical action of knee braces regarding their anti-drawer effect. *Knee* 2015;22:80-7.
  14. Ewing KA, Begg RK, Galea MP, Lee PV. Effects of prophylactic knee bracing on lower limb kinematics, kinetics, and energetics during double-leg drop landing at 2 heights. *Am J Sports Med* 2016;44:1753-61.
  15. Giotis D, Zampeli F, Pappas E, Mitsionis G, Papadopoulos P, Georgoulis AD. Effects of knee bracing on tibial rotation during high loading activities in anterior cruciate ligament-reconstructed knees. *Arthroscopy* 2013;29:1644-52.
  16. Jalali M, Farahmand F, Mousavi SM, et al. Fluoroscopic analysis of tibial translation in anterior cruciate ligament injured knees with and without bracing during forward lunge. *Iran J Radiol* 2015;12:e17832.
  17. Beynon BD, Fleming BC, Churchill DL, Brown D. The effect of anterior cruciate ligament deficiency and functional bracing on translation of the tibia relative to the femur during nonweightbearing and weightbearing. *Am J Sports Med* 2003; 31:99-105.
  18. McDevitt ER, Taylor DC, Miller MD, et al. Functional bracing after anterior cruciate ligament reconstruction: a prospective, randomized, multicenter study. *Am J Sports Med* 2004;32:1887-92.
  19. Harilainen A, Sandelin J. Post-operative use of knee brace in bone-tendon-bone patellar tendon anterior cruciate ligament reconstruction: 5-year follow-up results of a randomized prospective study. *Scand J Med Sci Sports* 2006;16:14-8.
  20. Birmingham TB, Bryant DM, Giffin JR, et al. A randomized controlled trial comparing the effectiveness of functional knee brace and neoprene sleeve use after anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med* 2008;36:648-55.
  21. Mikkelsen C, Cerulli G, Lorenzini M, Bergstrand G, Werner S. Can a post-operative brace in slight hyperextension prevent extension deficit after anterior cruciate ligament reconstruction? A prospective randomised study. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2003;11:318-21.
  22. Sterett WI, Briggs KK, Farley T, Steadman JR. Effect of functional bracing on knee injury in skiers with anterior cruciate ligament reconstruction: a prospective cohort study. *Am J Sports Med* 2006;34:1581-5.
  23. Kocher MS, Sterett WI, Briggs KK, Zurakowski D, Steadman JR. Effect of functional bracing on subsequent knee injury in ACL-deficient professional skiers. *J Knee Surg* 2003;16: 87-92.
  24. Wu GK, Ng GY, Mak AF. Effects of knee bracing on the functional performance of patients with anterior cruciate ligament reconstruction. *Arch Phys Med Rehabil* 2001;82:282-5.
  25. Wu GK, Ng GY, Mak AF. Effects of knee bracing on the sensorimotor function of subjects with anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med* 2001;29:641-5.
  26. Mortaza N, Abu Osman NA, Jamshidi AA, Razjouyan J. Influence of functional knee bracing on the isokinetic and functional tests of anterior cruciate ligament deficient patients. *PLoS One* 2013;8:e64308.
  27. Palm HG, Brattinger F, Stegmüller B, Achatz G, Riesner HJ, Friemert B. Effects of knee bracing on postural control after anterior cruciate ligament rupture. *Knee* 2012;19:664-71.
  28. Strutzenberger G, Braig M, Sell S, Boes K, Schwameder H. Effect of brace design on patients with ACL-ruptures. *Int J Sports Med* 2012;33:934-9.
  29. Rice DA, McNair PJ. Quadriceps arthrogenic muscle inhibition: neural mechanisms and treatment perspectives. *Semin Arthritis Rheum* 2010;40:250-66.

30. Urbach D, Awiszus F. Impaired ability of voluntary quadriceps activation bilaterally interferes with function testing after knee injuries: a twitch interpolation study. *Int J Sports Med* 2002;23:231-6.
31. Suter E, Herzog W, Bray RC. Quadriceps inhibition following arthroscopy in patients with anterior knee pain. *Clin Biomech (Bristol, Avon)* 1998;13:314-9.
32. Urbach D, Nebelung W, Becker R, Awiszus F. Effects of reconstruction of the anterior cruciate ligament on voluntary activation of quadriceps femoris a prospective twitch interpolation study. *J Bone Joint Surg Br* 2001;83:1104-10.
33. Pamukoff DN, Pietrosimone BG, Ryan ED, Lee DR, Blackburn JT. Quadriceps function and hamstrings co-activation after anterior cruciate ligament reconstruction. *J Athl Train* 2017;52:422-8.