

앞십자인대 손상 예방을 위한 근신경 훈련의 최신 경향: 문헌 고찰

이광진¹ PhD, 안근옥² PhD

¹충북대학교 체육교육과, ²한국교통대학교 스포츠학부 스포츠의학

Latest Trends in Neuromuscular Training to Prevent Anterior Cruciate Ligament Injury: A Literature Review

Kwang-Jin Lee¹ PhD, Keun-Ok An² PhD

¹Department of Physical Education, Chungbuk National University, Cheongju; ²Sports Medicine Major, Division of Sports, Korea National University of Transportation, Chungju, Korea

PURPOSE: Anterior cruciate ligament (ACL) injuries are the most common in sports and have doubled in the past 20 years. This study aimed to analyze the latest trends and changes in training programs for ACL injury prevention.

METHODS: In this study, literature was searched using academic search sites, such as 'PubMed', 'Google Scholar', and 'Wiley Online Library'. The literature published between 2015 and 2021 was used.

RESULTS: Eleven papers were selected based on the literature selection criteria. Five warm-up exercise papers and six ACL injury prevention training program papers emphasized neuromuscular training.

CONCLUSIONS: The ACL injury prevention program can be applied in warm-up exercises and training programs. It consists of an exercise form that includes multidimensional components such as plyometrics, muscle strength, balance, and agility. The key to the ACL injury prevention program is to reflect multidimensional components in neuromuscular training and to obtain a significant effect, and it is recommended to participate in regular training for 12-18 sessions and at least 6 months. In addition, it is suggested to utilize the ACL injury prevention program presented in this study until an individual study for ACL injury prevention by sports type is conducted.

Key words: Anterior cruciate ligament, ACL injury prevention program, Neuromuscular training, Training type, Training volume

서론

앞십자인대(anterior cruciate ligament, ACL) 손상은 스포츠에서 가장 많이 발생하는 무릎 부상 중 하나이며, ACL 손상 예방을 위한 학자들과 임상 전문가들의 노력에도 불구하고 지난 20년동안 두배로 증가되었다[1]. ACL 손상은 외상 후 무릎 골관절염, 관절 불안정성 및 반월상 연골 파열 등 장기적인 근골격계 합병증과 관련 있으며[2], 운동선수의 70%가 손상 후 스포츠에 복귀하지만 인대의 완전한 파열이 있는 선수의 2/3 정도만 3년 후에 높은 수준의 경기력을 유지할 수 있다[3].

Hewett et al. [4]은 몸통과 엉덩관절의 근신경 조절 결핍이 하지의 능동적인 근신경 조절(active neuromuscular control) 감소에 영향을 미치고 무릎의 동적 밖굽이(dynamic knee valgus) 현상을 증가시키며, 폐쇄사슬운동 동안 이마면 및 가로면의 비정상적이거나 불충분한 근신경 조절로 인해 무릎의 정렬과 하중 전달에 직접적으로 영향을 미치기 때문에 ACL 손상을 일으킬 수 있다고 보고하였다. 또한 후방 및 가측 엉덩관절 주변 근육의 근신경 조절에 결함이 발생되면 착지 시 엉덩관절 운동을 조절하는데 필요한 최적의 모멘트(moment) 생성을 방해하고, 무릎을 정중선(median line) 방향으로 이동시켜 잠재적으로 밖굽

Corresponding author: Keun-Ok An **Tel** +82-43-841-5995 **Fax** +82-43-841-5990 **E-mail** koan@ut.ac.kr

Keywords 앞십자인대, 앞십자인대 손상예방 프로그램, 근신경 훈련, 훈련 형태, 훈련 양

Received 1 Nov 2021 **Revised** 23 Nov 2021 **Accepted** 24 Nov 2021

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

이 무릎(외반슬, genu valgum)과 같은 자세와 함께 부상의 위험을 증가시킨다. 결과적으로 착지동작, 피봇(pivot) 및 급격한 정지 후 방향전환 중에 ACL 손상이 주로 발생되지만[5], 발이 고정된 상태에서 무릎 벌림 증가, 엉덩관절 안쪽돌림 감소, 무릎 굽힘 감소 및 엉덩관절 굽힘 감소, 높은 지면 반력과 같은 생체역학적 부상 위험 요소가 확인됨에 따라 잠재적으로 ACL 손상은 예방이 가능하다[2].

앞집자인데 손상예방 프로그램(ACL injury prevention program, ACL-IPP)은 착지력 감소와 모음 및 벌림 모멘트를 줄이기 위한 근신경과 고유수용감각의 훈련을 손상예방프로그램에 반영하여 ACL 손상에 원인이 되는 생체역학적 위험 요인을 감소시키는 훈련 프로그램을 의미한다. 또한 스트레칭, 근력 및 균형 운동뿐만 아니라 손상이 발생하는 동작에 대해 인지능력을 촉진시키고 스포츠 종목에 필요한 민첩성과 운동기술을 향상시키는 근신경 훈련(neuromuscular training, NMT)이 포함된 훈련 프로그램이다[6]. 하지만 NMT 프로그램의 빈도, 기간 및 형태에 관련된 선행연구가 일관성 없이 다양하게 존재하고 체계화되지 않았으며, ACL 손상 예방 프로그램과 관련된 메타분석 및 고찰 연구를 통한 구체적인 가이드라인이 제시되지 않아 NMT의 효과를 결정짓는 특정 훈련 형태(type) 및 양(volume)에 대한 체계적인 고찰 연구를 통해 NMT 가이드라인을 제시할 필요가 있다.

연구 방법

1. 문헌검색방법

이 연구에서는 자료수집을 위해 ‘PubMed’, ‘Google Scholar’, ‘Wiley Online Library’의 학술 검색 사이트를 이용하여 문헌을 검색하였으며, ACL-IPP, NMT 및 준비운동(warm-up)과 관련된 검색어를 주제로 사용하였다. 식별된 논문들 중에 참고문헌으로 사용될 논문은 수동으로 평가하여 관련 논문이 모두 포함되었는지 확인하였다. 허용되는 문헌 형식은 학술지(scholarly journals), 완전한 내용이 지원되는 학술회의 논문(conference papers)의 형식이 포함되었으며, 언어는 영어로만 한정하였다.

2. 문헌선택

문헌의 선정기준은 1) NMT를 운동프로그램에 적용한 연구, 2) ACL 손상 예방과 관련된 변인이 설정된 연구, 3) 사전과 사후 중재 프로그램을 적용하여 평균과 표준편차를 통해 통계량을 보고한 연구로 설정하였다.

3. 논문의 질 평가

두명의 저자들(제1저자, 교신저자)이 기준을 충족하는 모든 자료를 검토한 후에 이 연구에 부합된 논문을 채택하였다. 출판 연도, 제목, 중

재 프로그램 특성(ACL-IPP, NMT), 실험 대상자, 통계처리 기준을 토대로 추상화된 데이터를 비교하고 불일치 여부는 외부 초청 전문가 1인이 최종적으로 판정하였다.

4. 제외기준

2015년 이전에 출간된 연구는 문헌 검색 후 제외하였으며, ACL 예방을 위한 NMT의 최신 동향을 파악하기 위해 2015-2021년 사이에 출판된 문헌만 포함하였다. 중재 프로그램이 ACL손상을 예방하기 위한 NMT를 사용한 경우와 ACL-IPP인 경우에만 자료에 포함하였다. 저자들은 제목, 초록을 우선 검토하여 868편의 문헌을 제외하였으며, 선택된 33편 논문 전체를 독립적으로 검토하여 문헌선택기준에 충족된 11편을 선정하였다. 이 논문의 저자들이 동의하지 않을 경우에는 초빙된 외부 전문가 1인과 협의하여 합의된 문헌을 최종 선정하였다. 구체적인 연구 방법은 Fig. 1에 제시한 바와 같다.

결 과

1. 준비운동(warm-up)

준비운동을 활용한 ACL-IPP 장점은 적은 비용과 최소한의 장비로 현장에서 사용할 수 있다는 점에서 가장 실용적이고 효율적인 접근 방법이며[7], 관절운동범위와 근육 및 건의 범위를 늘리고, 근육의 경직성 감소, 체온과 심박수 상승 및 신경의 반응을 증가시켜 근육의 성능을 향상시킬 수 있다. 특히 종목의 특성을 고려한 준비운동은 속도, 높이, 근력 등을 포함한 체력과 스포츠수행력을 향상시키고 부상의 위험을 감소시킬 수 있다. Manoel et al. [8]은 준비운동이 운동 단위 활성화를 촉진시키는 신경 경로의 개방을 허용하기 때문에 근신경의 활

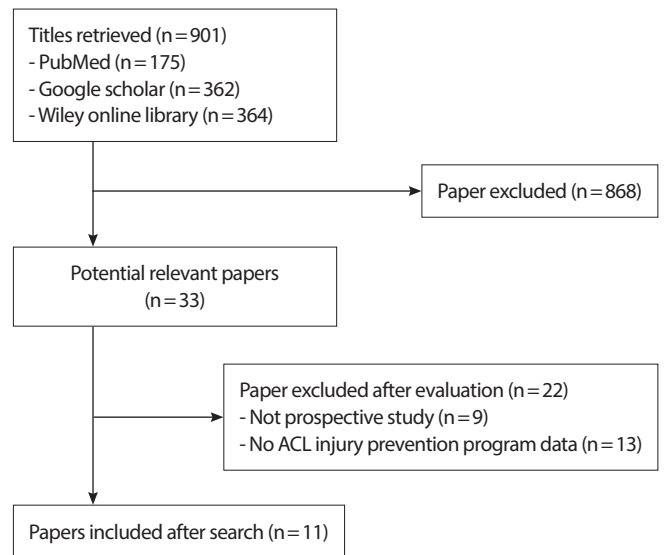


Fig. 1. Flow diagram of retrieved, screened and included studies.

성화를 촉진시키며, 경기의 수준에 맞는 폭발적인 동작을 수행하는 데 도움이 될 수 있다고 보고하였다. 따라서 훈련 또는 경기중에 종목의 특성에 맞는 경기 기술을 올바르게 수행할 수 있도록 준비운동 기간에 실행할 필요가 있으며, 고유수용감각, 근력강화, 플라이오메트릭 및 민첩성 기술 등을 통합한 준비운동이 ACL 손상 예방을 위해 권장되고 있다[9].

García-Luna et al. [10]은 축구 준비운동 프로그램의 일부로 ACL-IPP (knee band squat exercise, side-steps exercise, Bulgarian split squat exercise)를 적용한 결과, ACL 손상에 영향을 주는 무릎의 동적 박곡이(dynamic knee valgus) 현상을 급격하게 감소시킨다고 하였으며, De Sire et al. [11]은 관절의 가동성을 강조한 전통적인 준비운동과 동적인 균형, 점프, 컷팅, 시각과 인지능력을 고려한 방향전환 등 근신경 활성화를 강조한 준비운동을 축구선수에게 적용한 결과, 근신경 준비운동(neuromuscular warm-up) 집단이 넙다리곧은근, 안쪽넙다리근, 넙다리두갈래근 및 안쪽넙다리뒤근의 활성화 시간 개선에 대한 즉각적인 효과가 나타나 ACL 손상 위험을 잠재적으로 감소시킬 수 있다고 보고하였다. 또한 3가지(정적, 동적 및 운동손상예방) 준비운동프로그램이 착지 기술 및 수행력에 미치는 영향을 조사한 결과, 동적 유연성, 플라이오메트릭, 균형감각 및 근신경 조절 훈련이 포함된 운동손상예방 준비운동프로그램이 정적 준비운동프로그램 및 동적 준비운동프로그램보다 하지의 부상 위험성과 관련된 점프 착지 기술 향상에 효과가 있는 것으로 나타났다[12]. 준비운동이 ACL 재건술 후에 예상치 못한 점프 착지 동안에 발생하는 잠재적인 부상 요인에 미치는 영향을 분석한 결과, 에르고미터를 이용한 준비운동에 비해 근력, 플라이오메트릭 및

민첩성을 강조한 근신경 준비운동이 높은 지면 반력, 근력 증가 및 예상치 못한 조건에서 의사 결정과 누적 오류가 감소하여 ACL 재 손상 예방에 도움이 될 수 있다고 보고하였다[13]. 또한 축구 동작의 특성과 근신경 조절 등 복합적인 요소가 포함된 FIFA 11+는 대학축구선수의 손상률을 46.1% 감소시키고 손상에 따른 시간의 손실을 26% 감소시켜 ACL 손상률을 4.25배 낮췄다[14]. 준비운동을 활용한 ACL-IPP의 연구 특성은 Table 1과 같다.

ACL 손상 예방과 경기력 향상을 위해 운동선수는 연습과 시합 전에 종목 특이적 요소가 포함된 준비운동을 실시하고 있으며, 구조화된 운동 기반 준비운동과 근신경 통합을 고려한 균형, 민첩성 및 근력 요소를 포함시키는 형태의 프로그램이 더욱 강조되고 있는 추세이다. 이러한 종목의 특이적 요소가 반영된 운동손상예방 프로그램의 핵심 요소 중 하나는 근신경 조절 능력을 개선하는 것이다[15]. FIFA 11+는 대표적인 구조화된 운동 기반 준비운동 프로그램이며, 축구 경기 중에 발생하는 ACL 손상과 축구 수행력을 강화시키는 데 최적화된 프로그램으로 인정받고 있다. 최근 5년간의 연구에서도 FIFA 11+ 프로그램과 유사한 형태로 구조화된 운동 기반 동작들을 강조한 준비운동 프로그램이 다양한 운동 요소와 결합되면서 ACL 손상 예방과 수행력 향상에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 나타났다. 따라서 ACL 손상 예방을 위한 방법으로 훈련이나 시합 전 종목의 특성과 다면적 운동 형태가 결합된 근신경 준비운동 프로그램을 적용할 필요가 있다.

2. 훈련 형태(type)

NMT는 ACL 손상으로 인한 비용과 이환율을 줄이기 위해 운동선

Table 1. Characteristics warm-up of included studies (2015-2021)

Author (year)	Sample size	Age (yr)	Sport	Level	Intervention group	Control group	Primary outcome
García-Luna et al., (2020) [10]	18	12.5 ± 0.9	Soccer	Sub-elite	ACL Injury Prevention Protocol (neuromuscular : joint mobility running and dynamic stretching, strength)	Soccer-specific fatigue protocol	ACL injury
de Sire et al., (2021) [11]	25	> 18	Soccer	Elite	Neuromuscular warm-up (dynamic balance, jump, side cut, and change of direction tasks including visual/ cognitive distraction)	Classic warm-up, Active warm-up	ACL injury
Root et al., (2015) [12]	89	13 ± 2	Soccer, Dodge ball, Cross country, Football	Sub-elite	Injury-prevention program warm-up (mobility exercise, agility drill, balance exercise, strength and power exercise)	Static warm-up, Dynamic warm-up	ACL injury (lower injury)
Ashigbi et al., (2021) [13]	14	18-35	-	Amateur	Prevent injury and enhance performance (strengthening, plyometric, agility)	Ergometer cycle warm-up	ACL re-injury
Silvers-Granelli et al., (2015) [14]	1,525	> 19	Soccer	Elite	FIFA 11+ : neuromuscular training program (running, strength, plyometric, balance)	Typical soccer warm-up programs (running, static or dynamic stretching, change of direction, short passing)	Injury (contain ACL injury)

수에게 권장할 수 있는 훈련 형태이다. NMT가 포함된 ACL-IPP는 여성 청소년의 ACL 손상 비율을 약 50%이상 줄일 수 있는 것을 포함하여 하지의 기능을 향상시킬 수 있다[16]. NMT의 목적은 동적 관절의 안정성을 개선하고 최적의 동작을 수행할 수 있도록 근육 동원 순서 및 활성화의 효율성을 최적화 시키며, 관절에 부하되는 힘의 크기를 줄이는 것이다[17]. NMT의 형태는 단일 운동보다 다양한 운동프로그램을 통합한 형태로 적용되었을 때 ACL 손상 예방에 긍정적인 영향을 미치며, 저항 훈련, 고유수용감각훈련, 균형 훈련, 재교육 훈련 및 플라이오메트릭 훈련 등과 같은 다양한 훈련 방법들을 조합하는 형태의 프로그램이 권장되고 있다[18,19]. 특히 다양한 운동 형태의 통합은 종목별 특징 및 동작을 반영해야 하며, 종목과 관련된 생체운동능력의 개선이 운동선수의 손상 예방에 긍정적인 영향을 준다[15].

Table 2에 제시된 ACL-IPP의 최근 문헌을 분석해 보면, 자세 조절과 균형감각을 통합한 플라이오메트릭 형태의 NMT는 8가지 방향 별 모양 동적 균형검사(star excursion balance test)에서 뒤안쪽(posteromedial)과 뒤가쪽(posterolateral) 방향을 제외한 6가지 방향에 도달 거리를 증가시킴으로 관절 인지와 자세조절능력을 향상시켰으며[18], 플라이오메트릭과 균형 운동이 결합된 ACL-IPP는 착지 전 안쪽넙다리뒤근과 착지 시 안쪽장딴지근의 활성화 및 엉덩관절 바깥돌림을 증가시켜 ACL 손상 예방을 위한 근신경 및 생체 역학적 적용에 효과가 있다고 보고하였다[19]. 중량(weight), 메디신 볼(medicine ball), 보수 볼(bosu ball) 및 스위스 볼(Swiss ball)을 이용한 NMT는 근력, 한발멀리뛰기검사(hop test) 및 하지의 비대칭 개선에 효과가 나타나 하지 비대칭이 있는 여자 농구선수의 ACL 손상 예방에 적합하며[20], Jeong et al. [21]은 체간의 근신경 제어를 강조한 코어 운동프로그램이 몸통 굽힘 각도 증가, 안쪽넓은근:가쪽넓은근(vastus medialis:vastus lateralis)과 넙다리뒤근:넙다리내갈래근(hamstring:quadriceps)의 활성화 비율을 개선시키고 무릎 박굽이 각도 감소 및 엉덩관절 모음 각도를 감소시켜 몸통과 하지에 대한 운동 제어 전략 및 관절 운동(kinematics)에 긍정적인 효과가 나타난다고 보고하였다. 또한 NMT와 저항 훈련이 조합된 ACL-IPP는 ACL 손상 위험성을 나타내는 하지 평가 시스템(lower extremity scoring system) 점수 개선에 효과적이며[22], 저항 훈련, 플라이오메트릭 및 민첩성 통합된 ACL-IPP는 무릎 벌림 모멘트를 감소시키고, 엉덩관절 모음, 굽힘 및 무릎 벌림 운동(kinematics)과 엉덩관절 굽힘 모멘트를 개선시켜 ACL 손상 예방에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 나타났다[23].

ACL-IPP의 핵심은 NMT이며, NMT에서 플라이오메트릭은 관절에 부하된 힘을 인지하고 효율적으로 자세 제어하는 능력을 향상시키는 훈련프로그램의 구성 요소 중 하나이다. 최근 5년간의 연구들을 포함하여 ACL 손상 예방에 효과적이라는 대부분 연구에서는 플라이오메트릭 운동이 핵심 구성요소로 포함되어 있으며, 근력, 민첩성, 균형 및

플라이오메트릭 훈련을 접목한 형태인 통합적 훈련 프로그램이 유익한 것으로 나타났다[24]. 특히 앞서 언급된 통합적 훈련프로그램을 분리하여 개별적으로 적용하였을 경우에는 ACL 손상 발생률 감소가 비교적 미비하게 나타날 수 있다는 점을 고려할 때 플라이오메트릭 형태의 NMT가 지속적으로 적용되고 있으며, 향후에는 다양한 스포츠 종목, 성별 및 수준별에 따른 구체적인 NMT 효과를 검토하기 위한 후속 연구가 필수적으로 진행되어야 할 것이다.

3. 훈련 양(volume)

ACL-IPP와 ACL 손상률 사이에 역 용량 반응 즉, ACL-IPP의 훈련이 증가할수록 ACL 손상률 감소와 관련성이 높으며, 훈련 양과 강도에 의해 영향을 받을 수 있다. 훈련의 양(volume)은 하루에 수행된 운동의 시간, 주당 수행된 훈련프로그램의 빈도 및 전체 훈련 프로그램의 기간으로 표현된다[25]. 손상 예방 훈련에 대한 급성 변수(수행할 특정 운동, 운동 순서, 반복, 세트, 강도, 템포, 휴식시간)는 ACL 손상을 감소시키고 근신경 기능 및 수행력을 향상시킬 수 있지만 손상예방프로그램의 형태와 훈련 양이 다양하게 보고되고 있어 훈련의 양을 정확하게 구조화 하는데 한계점이 있다. 이러한 한계점에도 불구하고 Bien et al. [7]은 충분한 NMT 효과를 보장하기 위한 운동손상예방 프로그램은 8주 이상 지속되어야 하며, 더 짧은 기간의 프로그램 역시 ACL 부상 또는 부상 위험으로부터 보호할 수 있다고 보고하였다[26]. 또한 대부분의 선행연구에서 제시된 공통적인 연구의 제한점은 긴 기간의 프로그램을 활용하는 것을 강조하였으며, 더 많은 훈련을 위한 ACL-IPP 형태가 근력, 균형, 유연성, 플라이오메트릭, 속도 및 민첩성 등이 조합된 다중 중재 프로그램 형태인 점을 고려할 때 최신의 연구 결과를 바탕으로 ACL 손상 예방을 위한 NMT의 훈련 양에 관한 가이드라인을 제시해야 할 필요성이 있다[27].

Asadi et al. [18]은 농구선수의 ACL 손상 예방을 위해 플라이오메트릭 형태의 NMT를 6주 동안, 주 2회, 하루 60분 수행할 것을 강조하였으며, Sabet et al. [20]은 6주 동안, 주 3회, 하루 30분의 플라이오메트릭, 근력, 균형 운동이 조합된 NMT가 필요하며, 농구와 유사한 형태의 넷볼 선수들은 6주 동안, 주3회, 하루 30분 이상의 ACL-IPP를 적용해야 한다고 보고하였다[19]. 축구선수의 경우에는 플라이오메트릭, 근력, 안정성 훈련이 조합된 ACL-IPP를 4주 동안, 주 3회, 하루 40분에서 50분으로 적용하며[22], 축구, 농구 등 필드종목 선수들은 근력, 플라이오메트릭 및 민첩성이 조합된 ACL-IPP를 6주 동안, 주 2-3회, 하루 20-25분에 걸쳐 적용할 필요가 있다[23]. 특히 Jeong et al. [21]은 일반인을 대상으로 코어 훈련(leg raise, crunch, superman, plank hip twist, prone-plank, side-plank, supine bridge)을 10주 동안, 주 3회, 하루 30분을 적용한 결과, ACL 손상 예방에 긍정적인 효과가 나타난다고 보고하여 일반인은 운동선수와 다르게 하루 운동시간은 짧게 설정하고 전

Table 2. Characteristics training type and volume of included studies (2015-2021)

Author (year)	Sample size	Age (yr)	Sport	Level	Intervention group (training type)	Control group	Volume			Primary outcome
							Period (week)	Duration (min)	Frequency (per week)	
Asadi et al., (2015) [18]	16	20.1 ± 0.8	Basketball	Elite	Plyometric type neuromuscular training (balance, posture control)	Basketball training	2	60	6	Improvement in the star excursion balance test
Fox et al., (2018) [19]	16	22.7 ± 2.7	Netball	Sub-elite	ACL injury prevention program (plyometric, strength, balance, coordination, flexibility)	No intervention	3	>30*	6	Increased activation: medial hamstrings, medial gastrocnemius increased hip external rotation
Sabet et al., (2019) [20]	40	22.4 ± 1.7	Basketball	Elite	Neuromuscular training (plyometric, strength balance; using weight, medicine ball, steppe, bosu ball, Swiss ball)	Regular off-season training	3	30	6	Improve muscle strength, hop tests scores, and the inter limb asymmetry
Jeong et al., (2021) [21]	48	22.9 ± 2.4	-	Amateur	Core training (leg raise, crunch, superman, plank hip twist, prone-plank, side-plank, supine bridge)	No intervention	3	> 30	10	Increasing the trunk flexion angle, VMVL activation ratio, H:Q activation ratio, reducing the knee valgus and hip adduction angles
Marcodes et al., (2018) [22]	8	> 19	Soccer	Elite	ACL injury prevention program (plyometric, stabilization, strength)	No intervention	3	40-50	4	Decrease of the Modified LESS scores (five of the ten categories)
Taylor et al., (2020) [23]	43	15.4 ± 1.0	Basketball, soccer	Elite	ACL injury prevention programs (strengthening, plyometric, agility)	Normal sport practice and training	2-3	20-25	6	Reduction in knee abduction moments, improvements in hip flexion and knee abduction kinematics, and hip flexion moments

*The exercise time was not specifically presented in the paper, but the authors checked the contents of the program used and it took more than 30 minutes.

체 운동 시간을 길게 설정한 개별적인 훈련에 적용한 후 운동 수준에 따라 통합적인 훈련프로그램을 적용할 필요가 있다고 생각한다. 본문에 제시한 NMT의 양과 관련된 연구의 특성은 Table 2와 같다.

결과적으로, 이 체계적 문헌고찰 연구에서 운동선수는 NMT를 6주 이상, 주 2-3회, 하루 30분 이상의 훈련 양을 수행할 경우에 ACL 손상 예방에 긍정적인 효과가 나타날 가능성이 있다. 또한 플라이오메트릭 운동을 중심으로 다양한 훈련 요소를 NMT 프로그램에 반영해야 하며, 12-18회 세션과 6개월 이상의 기간 동안 규칙적인 훈련을 통해 근신경을 통합하고 강화할 필요가 있다. 그리고 플라이오메트릭 훈련이 반영된 ACL-IPP는 점진적 강도, 정확한 자세 및 운동 종목의 특성을 고려하여 성별, 연령 및 종목별로 훈련의 양과 강도를 적용할 필요가 있다.

결론

지난 20년 동안 ACL 손상 기전, 예방 및 재활 관련 연구는 상당한 진전이 있었으며, ACL 손상은 스포츠 전반에서 감소 및 예방될 수 있다. ACL-IPP는 준비운동과 훈련프로그램 차원에서 적용될 수 있으며, 플라이오메트릭, 근력, 균형감각 및 민첩성 등이 포함된 통합적인 형태의 운동으로 구성되고 있다. 통합적인 요소를 반영한 운동의 핵심은 관절의 근신경 조절을 가능하게 해주는 감각-운동 기능, 관절의 안정성 및 신체의 정렬을 강조한 NMT의 적용이다. NMT는 2015-2021년에 발행된 ACL-IPP에서 가장 중요한 부분으로 제시되고 있으며, 운동의 목적을 효과적으로 달성하기 위해서는 NMT의 적용, 실행 동작의 준수 및 지속성을 고려해야 한다. 제시된 기간 동안(2015-2021) ACL-IPP의 문헌에 포함된 스포츠 종목은 축구, 농구, 넷볼이다. 따라서 가속, 감속, 점프, 착지, 방향전환 등 유사한 형태의 동작이 포함된 스포츠 종목에는 ACL 손상 예방을 위해 통합적인 운동 형태가 강조된 NMT 기반의 ACL-IPP를 활용할 것을 제안한다.

CONFLICT OF INTEREST

The authors have no conflicts of interest relevant to this study.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Conceptualization; Data curation; Formal analysis; Funding acquisition; Methodology; Project administration; Visualization: K Lee, K An; Writing-original draft: K Lee; Writing-review & editing: K An.

ORCID

Kwang-Jin Lee <http://orcid.org/0000-0002-5065-2424>
Keun-Ok An <http://orcid.org/0000-0001-6792-3617>

REFERENCES

1. Arundale AJ, Silvers-Granelli HJ, Myklebust G. ACL injury prevention: where have we come from and where are we going? *J Orthop Res.* 2021;1-12.
2. Neilson V, Ward S, Hume P, Lewis G, McDaid, A. Effects of augmented feedback on training jump landing tasks for ACL injury prevention: a systematic review and meta-analysis. *Phys Ther Sport.* 2019; 39:126-35.
3. Waldén M, Hägglund M, Magnusson H, Ekstrand J. ACL injuries in men's professional football: a 15-year prospective study on time trends and return-to-play rates reveals only 65% of players still play at the top level 3 years after ACL rupture. *Br J Sports Med.* 2016;50(12):744-50.
4. Hewett TE, Myer GD, Ford KR, Heidt Jr RS, Colosimo AJ, et al. Biomechanical measures of neuromuscular control and valgus loading of the knee predict anterior cruciate ligament injury risk in female athletes: a prospective study. *Am J Sports Med.* 2005;33(4):492-501.
5. Grassi A, Smiley SP, Roberti di Sarsina T, Signorelli C, Marcheggiani Muccioli GM, et al. Mechanisms and situations of anterior cruciate ligament injuries in professional male soccer players: a youtube-based video analysis. *Eur J Orthop Surg Tr.* 2017;27(7):967-81.
6. Donnell-Fink LA, Klara K, Collins JE, Yang HY, Goczalk MG, et al. Effectiveness of knee injury and anterior cruciate ligament tear prevention programs: a meta-analysis. *PloS one.* 2015;10(12):e0144063.
7. Bien DP. Rationale and implementation of anterior cruciate ligament injury prevention warm-up programs in female athletes. *J Strength Cond Res.* 2011;25(1):271-85.
8. Manoel ME, Harris-Love MO, Danoff JV, Miller TA. Acute effects of static, dynamic, and proprioceptive neuromuscular facilitation stretching on muscle power in women. *J Strength Cond Res.* 2008;22(5): 1528-34.
9. Noyes F, Westin S. Anterior cruciate ligament prevention training in female athletes: a systemic review of injury reduction and results of athletic tests. *Sports Health.* 2012;4(1):36-46.
10. García-Luna, MA, Cortell-Tormo JM, García-Jaén M, Ortega-Navarro M, Tortosa-Martínez J. Acute effects of ACL injury-prevention warm-

- up and soccer-specific fatigue protocol on dynamic knee valgus in youth male soccer players. *Int J Environ Res. Public Health*. 2020;17(15):5608.
11. De Sire A, Demeco A, Marotta N, Moggio L, Palumbo A, et al. Anterior cruciate ligament injury prevention exercises: could a neuromuscular warm-up improve muscle pre-activation before a soccer game? a proof-of-principle study on professional football players. *Appl Sci*. 2021;11(11):4958.
 12. Root H, Trojjan T, Martinez J, Kraemer W, DiStefano LJ. Landing technique and performance in youth athletes after a single injury-prevention program session. *J Athl Train*. 2015;50(11):1149-57.
 13. Ashighi EY, Giesche F, Groneberg DA, Banzer W, Niederer D. Acute effects of a neuromuscular warm-up on potential re-injury risk factors associated with unanticipated jump landings after anterior cruciate ligament reconstruction: a crossover trial. *Phys Ther Sport*. 2021;52:194-203.
 14. Silvers-Granelli H, Mandelbaum B, Adeniji O, Insler S, Bizzini M, et al. Efficacy of the FIFA 11+ injury prevention program in the collegiate male soccer player. *Am J Sports Med*. 2015;43(11):2628-37.
 15. An KO, Lee KJ. Sports injury prevention and functional training: a literature review. *Asian J Kinesiol*. 2021;23(1):46-52.
 16. Gilchrist J, Mandelbaum BR, Melancon H, Ryan GW, Silvers HJ, et al. A randomized controlled trial to prevent noncontact anterior cruciate ligament injury in female collegiate soccer players. *Am J Sports Med*. 2008;36(8):1476-83.
 17. Bulow A. Dynamic balance testing and perturbation-based neuromuscular exercise training in healthy and ACL-injured adolescent females [dissertation]. Manitoba: University of Manitoba; 2019.
 18. Asadi A, de Villarreal ES, Arazi H. The effects of plyometric type neuromuscular training on postural control performance of male team basketball players. *J Strength Cond Res*. 2015;29(7):1870-5.
 19. Fox AS, Bonacci J, McLean SG, Saunders N. Exploring individual adaptations to an anterior cruciate ligament injury prevention programme. *The Knee*. 2018;25(1):83-98.
 20. Sabet S, Letafatkar A, Eftekhari F, Khosrokiani Z, Gokeler A. Trunk and hip control neuromuscular training to target inter limb asymmetry deficits associated with anterior cruciate ligament injury. *Phys Ther Sport*. 2019;38:71-9.
 21. Jeong J, Choi DH, Shin CS. Core strength training can alter neuromuscular and biomechanical risk factors for anterior cruciate ligament injury. *Am J Sports Med*. 2021;49(1):183-92.
 22. Marcordes TK. Noncontact anterior cruciate ligament injuries in collegiate female soccer players: the effects of a four-week prevention program on landing kinematics. *Elaia*. 2018;1(1):6.
 23. Taylor JB, Nguyen AD, Shultz SJ, Ford KR. Hip biomechanics differ in responders and non-responders to an ACL injury prevention program. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2020;28(4):1236-45.
 24. Sugimoto D, Myer GD, Bush HM, Klugman MF, McKeon JMM, et al. Compliance with neuromuscular training and anterior cruciate ligament injury risk reduction in female athletes: a meta-analysis. *J Athl Train*. 2012;47(6):714-23.
 25. Padua DA, DiStefano LJ, Hewett TE, Garrett WE, Marshall SW, et al. National athletic trainers' association position statement: prevention of anterior cruciate ligament injury. *J Athl Train*. 2018;53(1):5-19.
 26. Cochrane JL, Lloyd DG, Besier TF, Elliott BC, Doyle TL, et al. Training affects knee kinematics and kinetics in cutting maneuvers in sport. *Med Sci Sports Exerc*. 2010;42(8):1535-44.
 27. Steib S, Rahlf AL, Pfeifer K, Zech A. Dose-response relationship of neuromuscular training for injury prevention in youth athletes: a meta-analysis. *Front physiol*. 2017;8:920.