

# 여성선수의 신경인지 능력과 전방십자인대 손상 위험요인과의 관계

하성희<sup>1,3</sup>, 박상균<sup>2,3\*</sup>

<sup>1</sup>연세대학교 융합체육과학 선도연구소, <sup>2</sup>한국체육대학교 체육학과, <sup>3</sup>한국체육대학교 모션 이노베이션 센터

## Relationship between Neurocognitive Ability and Risk Factors of Anterior Cruciate Ligament Injuries in Female Athletes

Sung-He Ha<sup>1,3</sup>, Sang-Kyoon Park<sup>2,3\*</sup>

<sup>1</sup>Integrative Sports Science Research Laboratory, Yonsei University

<sup>2</sup>Physical Education, Korea National Sport University

<sup>3</sup>Motion Innovation Center, Korea National Sport University

요 약 본 연구의 목적은 여성선수의 신경인지능력이 양발 착지 시 비접촉성 전방십자인대 손상의 위험요인과 어떠한 관계가 있는지 규명하는 것이다. 여성선수 32명을 대상으로 신경인지검사와 양발 착지에 대한 동작분석을 실시하였다. 전산화된 신경인지 검사의 원점수와 동작분석을 통해 산출된 3차원 관절각, 모멘트, 파워, 수직지면반력, 부하율, 지지시간의 상관관계 분석을 위해 피어슨의 정렬상관분석을 실시하였다. 연구결과 신경인지 점수가 높을수록 착지 시 자세유지를 위한 전략을 사용하는 것이 관찰되었다. 따라서 신경인지 검사는 잠재적인 전방십자인대 손상의 위험인자를 검출하기 위한 스크리닝 방법으로 사용 될 수 있을 것으로 생각된다.

주제어 : 신경인지, 착지, 여성선수, 전방십자인대, 스크리닝

**Abstract** The aim of this study was to investigate the relationship between the neurocognitive ability and the risk factors of non-contact anterior cruciate ligament injuries during landing in female recreational athletes. Thirty-two female athletes participated in computerized neurocognition test and motion analysis for drop vertical jump. Pearson's linear correlation analysis was performed to analyze the relationship between the raw scores of neurocognition test and biomechanical variables including 3D joint angle, moment, power, vertical ground reaction force, loading rate, and support time. There were correlations between the scores of neurocognition test and biomechanical variables as high the neurocognition score, it also increase landing strategies were used to maintain posture of the lower extremity. Therefore, the neurocognitive test might be used as a good screening method to detect the risk factors before injury.

**Key Words** : Neurocognition, Landing, Female athletes, Anterior Cruciate Ligament, Screening

### 1. 서론

여성선수의 전방십자인대 손상은 동일종목 내에서 남성선수에 비해 2-10배 많이 나타나는 것으로 보고된다

[1,2]. 전방십자인대 손상은 경쟁스포츠 상황에서 빈번히 발생하는 부상으로 비접촉성 손상에 매우 취약하고 손상 발생률 및 재발생률이 높다[3-5]. 전방십자인대 재건술 후 1년 이내에 복귀하는 선수들은 약 33% 수준이며[6],

\*본 논문은 하성희의 2018년 박사학위논문에서 발췌되었음.

\*Corresponding Author : Sang-Kyoon Park (spark@knsu.ac.kr)

Received June 15, 2018

Accepted August 20, 2018

Revised August 1, 2018

Published August 28, 2018

그 중 25-44%는 2차 전방십자인대 손상(동측 재손상 또는 반대측 손상)을 경험하고 있다[7-9]. 또한 2차 전방십자인대 손상은 재건술을 경험한 선수의 발생비율이 경험 없는 선수보다 6배 높게 보고된다[10,11]. 이 손상은 대단히 파괴적으로, 스포츠 참여를 중단해야하고 나아가 골관절염의 위험요인이 된다[12].

신경인지능력은 인지처리, 대뇌피질, 피질하부의 기능과 연관된 능력으로, 감각수용기로부터 수집된 정보를 통합하여 신체의 운동제어를 위한 신경근을 조절하게 된다[13-15]. 지면보다 높은 곳에서 착지하기 위해서는 지면과의 거리 및 착지 시 지면반력의 정도를 예상해야하고 착지 시 적절한 근육의 동원 및 억제통해 자세를 조절하게 된다[16]. 착지동작은 넘어지지 않으면서 적절한 충격흡수를 하는 것이 목적인, 단순해 보이나 신경제어가 복잡한 동작이다. 따라서 대뇌와 대뇌피질의 기능이 이상이 발생되면 근골격계 손상을 유발시킬 수 있다고 보고된다[17,18].

신경인지와 전방십자인대 손상에 대한 최근 연구에 따르면, 신경인지 점수가 낮은 집단에서 높은 집단보다 점프 후 착지 시 최대수직지면반력, 최대전방진단력, 외반모멘트와 외반각이 크게 나타났고, 몸통을 세워서 착지함으로써 전방십자인대 손상의 운동역학적 위험요인이 높게 보고되었다[13]. 또한 비접촉성 전방십자인대 손상 집단의 신경인지가 건강한 집단보다 낮은 수준으로 관찰되었는데, 이러한 차이는 신경근 조절과 자세조절 문제를 야기할 수 있다고 주장하였다[19]. 신경인지 하위 영역 중 반응시간에 대한 연구에서는 시즌 전 선수들의 반응시간이 느린 경우, 반응시간이 빠른 선수들에 비해 하지 부상 발생이 2.94배 더 많은 것으로 보고되었다[15]. 신경인지와 하지 근골격계 손상과의 관련성이 대두되고 있는 시점에서 신경인지와 전방십자인대 손상기전에 대한 운동역학적 분석을 통한 관계규명의 필요성이 제기되고 있다.

본 연구의 목적은 여성선수의 신경인지능력이 양발 착지 시 비접촉성 전방십자인대 손상의 위험요인과 어떠한 관계가 있는지 규명하고, 스포츠상황에서 빈번히 발생하는 동작의 운동역학적 분석을 통해 전방십자인대 손상에 대해 대한 새로운 접근방법에 대한 근거를 마련하고자 한다.

## 2. 연구방법

### 2.1 연구 대상

본 연구는 대학교 클럽팀 수준 이상의 여성선수 32명을 대상으로 6개월 이내 하지의 근골격계 및 근신경계 손상이 없으며, 주 3회 이상 스포츠에 참여하고 있는 대상으로 진행하였다(Table 1). 신경인지 검사결과에 영향을 미칠 수 있는 뇌진탕 과거력이 있는 선수는 연구대상에서 제외시켰다. 연구의 표본 수는 G-Power software (version 3.1.9.2, Universitat Kiel, Germany)의 Correlation: Bivariate normal model을 통해 산출되었다( $\alpha=0.05$ , power=0.90, effect size= 0.50, sample size=31).

대상자들에게 한국체육대학교 생명윤리위원회에 의해 승인된 연구 참여 동의서에 서명을 받은 후 연구를 수행하였다(승인번호: 20170424-002).

Table 1. Characteristics of participants M±SD

	Height(cm)	Mass(kg)	Age(yrs)
N=32	163.19±6.03	58.26±7.57	21.00±2.36

### 2.2 실험 절차

#### 2.2.1 전산화된 신경인지 검사

신경인지검사는 뇌기능이상을 판단하기 위한 도구로서, 비침습적 방법으로 경증 외상성 뇌손상과 관련된 대뇌피질의 미세한 변화를 간접 측정하기 위해 고안되었다[20].

대상자는 외부의 영향을 받지 않는 독립된 공간에서 신경인지검사 프로그램 CNSVS(Central Nervous System Vital Signs, USA)로 검사를 실시하였다. 검사시간은 문항의 이해를 돕는 연습문제를 포함하여 총 25-35분 소요되었다. 검사내용으로는 수지력 검사(finger tapping), 기호 숫자 부호화 검사(symbol digit coding), 스트룹 검사(stroop test), 주의력 전환 검사(shifting attention test)와 연속 수행능력 검사(continuous performance test)로 구성되었다[21].

#### 2.2.2 운동역학적 검사

동작분석을 위해 8대의 적외선 카메라(Oqus300+, Qualisys, Sweden, 250Hz)와 2대의 지면반력기(9286AA, Kistler, Switzerland, 2500Hz)를 사용하였다. 자료수집을

위해 Qualisys track manager(QTM, Qualisys, Sweden)를 사용하였고, 적외선 카메라, 지면반력기의 동조는 A/D board 간 internal trigger 케이블을 연결하여, QTM 프로그램에 의해 통제되었다.

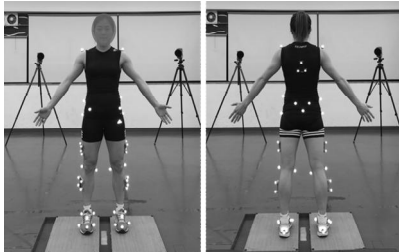


Fig. 1. External reflective markers locations were used to generate lower limb 3 dimensional joint kinematics and kinetics.

비접촉성 전방십자인대 손상의 위험요인 분석을 위해 임상 평가방법으로 착지오류점수시스템(landing error scoring system)의 동작인 착지 후 수직점프 동작(drop vertical jump, DVJ)을 수행하였다. 마커는 골반, 대퇴, 하퇴, 발 분절의 모델링을 위해 하체에 25개를 부착하였다(Fig. 1). 대상자들은 동작에 대한 충분한 설명을 들은 후 하지의 동적스트레칭이 포함된 준비운동을 실시하였다. 동작은 30 cm 높이의 박스위에서 시작하였고, 착지 후 곧바로 양팔을 머리위로 올리며 최대한 수직으로 높이 뛰어 오르도록 하였다. 착지 시 2대의 지면반력기를 각각 밟도록 요청되었고, 이때 박스와 지면반력기 사이 거리는 30 cm로 하였다(Fig. 2)[22]. DVJ는 검사-재검사의 신뢰도(ICC=0.916)가 높은 방법으로 총 3회 실시하여 평균값을 사용하였다[23].

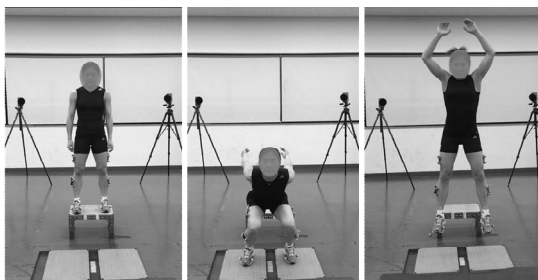


Fig. 2. Biomechanical task (drop vertical jump) procedure from the box of 30 cm height.

## 2.3 자료 처리

### 2.3.1 전산화된 신경인지 검사 자료

CNSVS의 검사 소프트웨어를 통해 정신 운동 속도(psychomotor speed), 반응시간(reaction time), 복합 주의집중(complex attention), 인지적 유연성(cognitive flexibility), 처리 속도(processing speed), 집행기능(executive function)의 원점수를 수집하였다.

### 2.3.2 운동역학적 검사 자료

수집된 마커데이터는 Visual 3D v3 software (C-motion, USA)를 이용하여 인체 분절로 모델링 되었고, Butterworth 2nd bi-direction low pass filter로 스무딩(smoothing)처리 되었다(차단주파수 9 Hz). 운동역학적 변인 산출을 위해 사용된 지면반력 데이터는 Fx 우(right) 방향, Fy 전(anterior) 방향, Fz는 수직 상(superior)방향을 양의 값으로 설정하였고, 차단주파수 56 Hz로 스무딩하였다. 3차원 좌표값과 지면반력값이 산출 된 후, 각 대상자 간 데이터의 표준화를 위해 각 대상자별 소요된 구간별 프레임 수를 구간별 소요시간으로 나누어 백분율로 표기하였다.

## 2.4 분석 구간

분석 시점은 착지 초기 수직지면반력이 20N이상인 1시점(Event 1, E1), 착지 동안 최대수직지면반력이 나타나는 2시점(Event 2, E2), 최대 무릎 굴곡각이 나타나는 3시점(Event 3, E3)으로 설정하였고, E1부터 E3까지를 착지구간으로 설정하여 각 변인의 최댓값을 산출하였다.

## 2.5 분석 변인

전방십자인대 손상기전 중 무릎관절이 외반형태로 주저앉을 때(valgus collapse) 관찰되는 변인을 설명하기 위해 하지관절(엉덩, 무릎, 발목)의 3차원(굴곡/신전, 내전/외전, 내외전/외회전) 관절각(degree), 관절모멘트(Nm/kg), 관절파워(W/kg), 수직지면반력(BW), 부하율(BW/s), 지지시간(msec)을 산출하였다.

## 2.6 통계 처리

신경인지능력과 비접촉성 전방십자인대 손상의 운동역학적 위험요인간의 상관관계를 알아보기 위해 피어슨의 적률상관분석(Pearson's correlation analysis)을 실시하였다. 통계처리는 SPSS 18.0 프로그램(SPSS Inc.,

Chicago, Ill., USA)을 이용하였으며, 모든 통계적 유의수준은  $\alpha=.05$ 로 설정하였다.

### 3. 결과

초기 착지 시점에서 복합주의집중 점수와 무릎 내전 각간 정적상관이 나타났다(Table 2). 최대수직지면반력 시점에서 신경인지 점수와 운동역학적 변인간의 상관관

계를 Table 2-4에서 살펴본 결과, 반응속도 점수와 무릎 관절의 굴곡각 간에 정적상관이 나타났고, 정신운동속도, 처리속도 점수와 무릎관절의 외회전 모멘트 간의 부적상관이 각각 관찰되었다. 또한, 정신운동속도, 처리속도 점수와 엉덩관절의 내전 모멘트 간은 정적상관이 나타났으며, 정신운동속도 점수, 반응시간과 착지 시 지지시간 간 상관관계가 관찰되었다. 그 외 신경인지 점수와 하지관절의 운동역학적 변인 간에는 상관관계가 관찰되지 않았다.

Table 2. Correlations between neurocognition scores and joint angles of the lower extremity

Factors		Initial contact						peak GRF							
		Ankle		Knee		Hip		Ankle		Knee		Hip			
		F(-) E(+)	F(-) E(+)	AD(-) AB(+)	ER(-) IR(+)	F(-) E(+)	AD(-) AB(+)	ER(-) IR(+)	F(-) E(+)	F(-) E(+)	AD(-) AB(+)	ER(-) IR(+)	F(-) E(+)	AD(-) AB(+)	ER(-) IR(+)
Psychomotor Speed	r	-.093	.265	-.346	-.149	.092	.000	-.094	.120	-.214	-.190	-.098	-.218	.075	.030
	p	.612	.143	.052	.417	.615	1.000	.608	.514	.241	.297	.592	.231	.684	.869
Reaction Time§	r	.031	-.010	-.002	.109	-.012	.100	.114	-.280	<b>.369</b>	.110	.004	.280	.087	-.045
	p	.868	.956	.993	.552	.950	.586	.533	.121	<b>.038</b>	.550	.982	.121	.635	.808
Complex Attention§	r	-.192	-.029	<b>.426</b>	.121	-.059	.203	-.045	.119	-.091	.200	-.057	.002	.197	.030
	p	.293	.876	<b>.015</b>	.508	.747	.265	.808	.518	.622	.273	.759	.992	.280	.869
Cognitive Flexibility	r	.064	-.026	-.302	.045	.082	-.196	-.248	-.029	-.008	-.203	.177	-.074	-.307	-.098
	p	.728	.889	.093	.807	.654	.282	.171	.875	.966	.266	.332	.687	.088	.593
Processing Speed	r	-.064	.220	-.258	-.256	.059	-.002	-.215	.013	-.107	-.130	-.161	-.212	.006	-.036
	p	.727	.226	.154	.158	.747	.990	.238	.945	.561	.479	.380	.244	.974	.846
Executive Function	r	.056	-.046	-.262	.069	.058	-.190	-.264	-.026	-.027	-.196	.185	-.097	-.312	-.095
	p	.762	.805	.147	.707	.753	.299	.144	.887	.885	.283	.311	.598	.082	.604

F: Flexion, E: Extension, AD:Adduction, AB: Abduction, ER: External rotation, IR: Internal Rotation  
§: Low score is better than high. **Bold:**  $p<.05$

Table 3. Correlations between neurocognition scores and joint moments of the lower extremity

Factors		Initial contact						peak GRF							
		Ankle		Knee		Hip		Ankle		Knee		Hip			
		F(-) E(+)	F(-) E(+)	AD(-) AB(+)	ER(-) IR(+)	F(-) E(+)	AD(-) AB(+)	ER(-) IR(+)	F(-) E(+)	F(-) E(+)	AD(-) AB(+)	ER(-) IR(+)	F(-) E(+)	AD(-) AB(+)	ER(-) IR(+)
Psychomotor Speed	r	-.032	.182	-.191	-.192	-.104	.325	.185	.059	.126	-.084	<b>-.526</b>	.118	<b>.501</b>	.059
	p	.864	.320	.295	.293	.573	.069	.312	.748	.492	.649	<b>.002</b>	.520	<b>.004</b>	.748
Reaction Time§	r	-.161	-.129	.162	.094	.061	-.135	-.076	.049	-.255	-.151	.226	-.043	-.232	.041
	p	.379	.483	.377	.609	.738	.461	.680	.792	.159	.408	.214	.817	.202	.824
Complex Attention§	r	.112	-.146	.024	.035	.032	.010	.013	-.108	.108	.123	.068	-.089	-.166	-.126
	p	.542	.425	.897	.849	.860	.958	.942	.556	.557	.502	.712	.627	.363	.490
Cognitive Flexibility	r	-.038	.042	.096	.027	.087	-.034	-.115	.062	-.111	.085	-.171	.165	.332	.102
	p	.837	.819	.602	.884	.635	.853	.531	.737	.545	.644	.350	.368	.063	.579
Processing Speed	r	-.064	.030	.054	-.129	.055	.074	.040	.046	-.054	.122	<b>-.380</b>	.272	<b>.385</b>	.063
	p	.726	.871	.769	.481	.765	.688	.826	.803	.771	.504	<b>.032</b>	.132	<b>.030</b>	.734
Executive Function	r	-.013	.030	.114	.044	.097	-.042	-.129	.065	-.116	.117	-.149	.176	.328	.080
	p	.944	.869	.533	.809	.597	.818	.480	.725	.528	.523	.414	.334	.067	.665

F: Flexion, E: Extension, AD:Adduction, AB: Abduction, ER: External rotation, IR: Internal Rotation  
§: Low score is better than high. **Bold:**  $p<.05$

Table 4. Correlations between neurocognition scores and peak vertical GRF, loading rate, joint power of the lower extremity, stance time

Factors		Peak vGRF	Loading Rate	Ankle Joint Power during Lading	Knee Joint Power during Lading	Hip Joint Power during Lading	Stance Time
Psychomotor Speed	r	-.102	-.168	-.033	.008	.138	<b>.359</b>
	p	.578	.359	.856	.967	.452	<b>.044</b>
Reaction Time§	r	.189	.297	-.013	.099	-.099	<b>-.412</b>
	p	.300	.099	.945	.590	.591	<b>.019</b>
Complex Attention§	r	-.025	-.186	-.072	-.041	-.014	.042
	p	.890	.309	.696	.822	.940	.819
Cognitive Flexibility	r	.030	.112	.026	.154	-.182	.046
	p	.870	.543	.887	.401	.318	.803
Processing Speed	r	.157	.031	-.022	.165	-.109	.266
	p	.392	.868	.907	.368	.551	.142
Executive Function	r	.015	.091	.036	.169	-.211	.060
	p	.934	.619	.845	.355	.246	.746

§: Low score is better than high. **Bold:**  $p < .05$

#### 4. 논의

본 연구는 여성선수의 신경인지능력과 비접촉성 전방십자인대 손상의 운동역학적 위험요인의 관계를 관찰하기 위해 실시되었다.

분석된 본 연구의 동작은 착지와 점프를 연속적으로 실시해야 하는 조건으로 주어진 환경에 맞게 효과적으로 움직임을 제어해야하는데, 신경인지 점수가 높을수록 착지 시 자세를 유지하기 위한 전략이 상호 보완적으로 관찰되었다. 신경인지는 동적인 스포츠 활동에서 요구되는 신경근 반응을 조절하기 때문에 선수의 안전, 스포츠 기 능적 수행과 밀접한 관계가 있다[24].

무릎관절이 내회전되며 외반슬 형태로 자세가 무너지면 전방십자인대에 부하를 증가시켜 손상에 이르게 된다 [25]. 무릎관절에서는 초기 착지 시 복합주의집중 점수와 내전각 간 정적상관이 관찰되었고, 최대지면반력 시점에서는 반응시간과 굴곡각 간 정적상관이, 정신운동속도, 처리속도와 내회전 모멘트 간에 부적상관이 나타났다. 전방십자인대 손상기전으로 경골의 전방전위, 무릎관절의 내회전 토크, 무릎 굴곡각 감소가 동 시점에 발생할 때 위험을 증가시키는 것으로 보고된다[26]. 본 연구에서는 신경인지 점수가 증가함에 따라 외회전 모멘트와 굴곡각이 증가되는 것을 관찰할 수 있었다. 또한 곳곳이 몸을 펴서 착지하는 형태(stiff landing)인 무릎관절의 굴곡각 감소 역시 전방십자인대 손상의 위험요인과 관련이 있다고 보고되었다[27-28]. 실제 경기 중 전방십자인대

손상 장면의 비디오분석을 시행한 결과, 총 20번의 손상 발생 중에 16번 무릎관절이 신전된 상태에서 손상이 나타난 것으로 보고되었다[29].

급변하는 스포츠 상황에서 신체의 적절한 대처를 위해서는 가상 상황 및 유사 동작을 통한 학습이 요구될 것이다. 운동기능의 향상을 위한 학습은 지각, 주의, 기억, 판단 등과 같은 뇌의 신경인지과정 발달과 밀접한 관련이 있다[30]. 전방십자인대 손상이 발생된 집단의 신경인지 점수는 손상이 없는 건강한 집단에 비해 언어적 기억력, 시각적 기억력, 처리속도, 반응시간의 전체 하위영역의 점수가 낮은 것으로 보고되었다[19]. 따라서 본 연구에서는 신경인지 점수가 높을수록 착지 시 자세 유지를 위한 운동학, 운동역학적 전략이 관찰됨으로써 전방십자인대 손상 위험요인을 감소시킨 것으로 판단된다.

지지시간에 대한 본 연구결과, 길게 지지할수록 정신 운동속도 점수는 높게 관찰되었고 반응시간은 짧게 나타났다. 청소년 여성선수를 대상으로 시전 전 신경근 조절에 대한 3차원 운동역학 측정을 위해 착지시직접프를 실시한 결과, 전방십자인대 손상을 경험한 선수의 착지 시 지지시간이 손상을 경험하지 않은 선수에 비해 16% 짧게 보고되었다[7]. 증가된 최대수직지면반력과 짧은 지지시간은 전방십자인대 재건술 후 스포츠 복귀 시 위험요인[31-32]으로서 부하율을 증가시키게 되며, 이는 부적절한 충격흡수로 인해 전방십자인대 손상을 야기할 수 있다[33].

반응시간은 단순한 지시사항부터 복잡한 지시사항까지 얼마나 빨리 결정하고 반응하는지와 관련이 있는 항목이다. 예를 들면 빠른 반응시간은 선수가 최대수행동안 새로운 요구와 상황에 재빠르게 대처할 수 있도록 허락될 것이나, 느린 반응시간은 경쟁상황에 맞는 적절한하고 안전한 대처의 부족으로 선수의 능력을 감소시키거나 손상의 위험에 빠뜨릴 수 있다. 빠른 반응시간과 처리속도는 위험한 무릎자세를 피하고 신경근의 통합을 유지하며 외부의 동요에 대한 준비를 향상시킬 것이라고 보고되었다[34]. 따라서 신경인지 점수가 낮을 경우 이는 스포츠 수행의 저해요인이 될 수 있다.

대부분의 선행연구들은 실험실 연구가 진행될 때 대상자에게 방법을 설명하고 연습까지 할 기회를 제공하고 있다. 동일하게 주어진 예측 가능한 상황임에도 불구하고 전방십자인대 손상 위험요인이 나타나는 것을 확인할 수 있었는데[8, 27-28], 실제 손상발생은 연습보다 경기 상황에서 7배 이상 높게 발생된 것으로 보고된다[9]. 스포츠 상황은 급변하는 환경을 지속적으로 주시해야하고, 관련 없는 정보는 버리며, 목표를 위해 복잡한 상황을 동시에 실행하기 위해 광범위한 상황인지가 요구되기 때문이다[35]. 따라서 신경인지와 목적하는 동작을 위한 신경근 조절에 대한 이해가 필요하다.

신경근 조절 수준이 낮은 경우 활동적 스포츠 참여 시 비접촉성 전방십자인대 손상이 유발될 수 있기 때문에, 이러한 손상 발생을 감소시키기 위해서는 복잡한 신경근 조절 전략이 요구된다[36-38]. 이와 같은 근거로 고유수용기와 신경근 조절의 기능향상을 위한 훈련 및 평가 프로그램이 연구되고 있으며, 실제로 이러한 신경근 훈련을 통해 전방십자인대 손상 발생률이 감소한 것으로 보고되었다[39-40].

위와 같은 선행연구결과를 바탕으로 부상예방 및 손상 후 기능회복을 위한 프로그램에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있고, 경기 및 훈련에 안전하게 참여하기 위한 근력 및 기능평가(점프, 균형 잡기 등) 기준이 제시되었음에도 불구하고 여전히 손상발생은 감소되지 않는다고 보고되고 있다[41-43]. 이에 따라 신경근 조절 능력과 신경인지의 관계에 대한 객관적 평가가 요구되며, 이와 관련하여 손상유발 동작의 특성을 파악하는 것이 중요하다.

## 5. 결론

실제 스포츠 상황에서는 돌발적으로 발생하는 많은 상황을 고려할 수 없기 때문에 신경인지의 현장적용에 어려움이 제기된다. 따라서 본 연구는 신경인지 점수와 전방십자인대 손상이 빈번히 발생하는 동작 분석을 통해 위험요인과의 관련성을 규명하고자 하였다. 본 연구 결과 신경인지 점수가 높아질수록 착지 시 관찰된 하지관절의 자세유지 전략이 관찰되었고, 이는 잠재적인 전방십자인대 손상에 대한 예측 방법으로 스포츠 참여 전 사용될 수 있을 것으로 생각된다. 또한 신경인지 점수가 낮은 경우 스포츠 동작 특성을 고려한 인지운동프로그램을 통해 신경인지와 움직임 제어의 향상을 도모할 수 있을 것으로 사료된다.

차후의 연구에서는 동작이 수행될 때 요구되는 주동근의 활성 시점, 면적, 동시수축지수 등의 근전도 분석을 통한 신경근 조절과 신경인지 수준과의 관계 규명에 대한 연구가 기대되어진다. 또한 대퇴골과 하퇴골의 전단 응력과 같은 전방십자인대 손상 기전의 다양한 접근을 통한 관찰이 필요할 것으로 사료된다.

## REFERENCES

- [1] E. Arendt & R. Dick. (1995). Knee injury patterns among men and women in collegiate basketball and soccer: NCAA data and review of literature. *The American Journal of Sports Medicine*, 23(6), 694-701. DOI: 10.1177/036354659502300611.
- [2] D. E. Gwinn, J. H. Wilckens, E. R. McDevitt, G. Ross & T. C. Kao. (2000). The relative incidence of anterior cruciate ligament injury in men and women at the United States Naval Academy. *The American Journal of Sports Medicine*, 28(1), 98-102. DOI: 10.1177/03635465000280012901.
- [3] T. E. Hewett, K. R. Ford, B. J. Hoogenboom & G. D. Myer. (2010). Understanding and preventing ACL injuries: current biomechanical and epidemiologic considerations—update 2010. *North American Journal of Sports Physical Therapy*, 5(4), 234-251.
- [4] J. M. Hootman, R. Dick & J. Agel. (2007). Epidemiology of collegiate injuries for 15 sports: summary and recommendations for injury prevention initiatives. *Journal of Athletic Training*, 42(2), 311-319.
- [5] G. Myklebust, A. Skjøelberg & R. Bahr. (2013). ACL

- injury incidence in female handball 10 years after the Norwegian ACL prevention study: important lessons learned. *British Journal of Sports Medicine*, 47(8), 476-479.  
DOI: 10.1136/bjsports-2012-091862.
- [6] C. L. Ardern, K. E. Webster, N. F. Taylor & J. A. Feller. (2011). Return to the preinjury level of competitive sport after anterior cruciate ligament reconstruction surgery: two-thirds of patients have not returned by 12 months after surgery. *The American Journal of Sports Medicine*, 39(3), 538-543.  
DOI: 10.1177/0363546510384798.
- [7] T. E. Hewett et al. (2005). Biomechanical measures of neuromuscular control and valgus loading of the knee predict anterior cruciate ligament injury risk in female athletes a prospective study. *The American Journal of Sports Medicine*, 33(4), 492-501.  
DOI: 10.1177/0363546504269591.
- [8] M. V. Paterno, L. C. Schmitt, K. R. Ford, M. J. Rauh, G. D. Myer, B. Huang & T. E. Hewett. (2010). Biomechanical measures during landing and postural stability predict second anterior cruciate ligament injury after anterior cruciate ligament reconstruction and return to sport. *The American Journal of Sports Medicine*, 38(10), 1968-1978.  
DOI: 10.1177/0363546510376053.
- [9] M. V. Paterno, M. J. Rauh, L. C. Schmitt, K. R. Ford & T. E. Hewett. (2012). Incidence of contralateral and ipsilateral anterior cruciate ligament (ACL) injury after primary ACL reconstruction and return to sport. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 22(2), 116-121.  
DOI: 10.1097/JSM.0b013e318246ef9e.
- [10] G. V. Kamath, T. Murphy, R. A. Creighton, N. Viradia, T. N. Taft & J. T. Spang. (2014). Anterior cruciate ligament injury, return to play, and reinjury in the elite collegiate athlete: analysis of an NCAA Division I cohort. *The American Journal of Sports Medicine*, 42(7), 1638-1643.  
DOI: 10.1177/0363546514524164.
- [11] M. V. Paterno, M. J. Rauh, L. C. Schmitt, K. R. Ford & T. E. Hewett. (2014). Incidence of second ACL injuries 2 years after primary ACL reconstruction and return to sport. *The American Journal of Sports Medicine*, 42(7), 1567-1573.  
DOI: 10.1177/0363546514530088.
- [12] C. C. Bozynski, K. Kuroki, J. P. Stannard, P. A. Smith, A. M. Stoker, C. R. Cook & J. L. Cook. (2015). Evaluation of partial transection versus synovial debridement of the ACL as novel canine models for management of ACL injuries. *The Journal of Knee Surgery*, 28(5), 404-410.  
DOI: 10.1055/s-0035-1544975.
- [13] D. C. Herman & J. T. Barth, (2016). Drop-Jump Landing Varies With Baseline Neurocognition: Implications for Anterior Cruciate Ligament Injury Risk and Prevention. *The American Journal of Sports Medicine*, 44(9), 2347-2353.  
DOI: 10.1177/0363546516657338.
- [14] S. M. Lephart, D. M. Pincivero, J. L. Giraido & F. H. Fu. (1997). The role of proprioception in the management and rehabilitation of athletic injuries. *The American Journal of Sports Medicine*, 25(1), 130-137.  
DOI: 10.1177/036354659702500126.
- [15] G. B. Wilkerson. (2012). Neurocognitive reaction time predicts lower extremity sprains and strains. *International Journal of Athletic Therapy and Training*, 17(6), 4-9.  
DOI: 10.1123/ijatt.17.6.4.
- [16] M. Santello. (2005). Review of motor control mechanisms underlying impact absorption from falls. *Gait & Posture*, 21(1), 85-94.  
DOI: 10.1016/j.gaitpost.2004.01.005.
- [17] M. A. Brooks, K. Peterson, K. Biese, J. Sanfilippo, B. C. Heiderscheit & D. R. Bell. (2016). Concussion increases odds of sustaining a lower extremity musculoskeletal injury after return to play among collegiate athletes. *The American Journal of Sports Medicine*, 44(3), 742-747.  
DOI: 10.1177/0363546515622387.
- [18] E. Kapreli et al. (2009). Anterior cruciate ligament deficiency causes brain plasticity: a functional MRI study. *The American Journal of Sports Medicine*, 37(12), 2419-2426.  
DOI: 10.1177/0363546509343201.
- [19] C. B. Swanik, T. Covassin, D. J. Stearne & P. Schatz. (2007). The relationship between neurocognitive function and noncontact anterior cruciate ligament injuries. *The American Journal of Sports Medicine*, 35(6), 943-948.  
DOI: 10.1177/0363546507299532.
- [20] M. R. Lovell, G. L. Iverson, M. W. Collins, D. McKeag & J. C. Maroon. (1999). Does Loss of Consciousness Predict Neuropsychological Decrements After Concussion?. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 9(4), 193-198.
- [21] C. T. Gualtieri & L. G. Johnson (2006). Reliability and validity of a computerized neurocognitive test battery, CNS Vital Signs. *Archives of Clinical Neuropsychology*,

- 21(7), 623-643.  
DOI: 10.1016/j.acn.2006.05.007.
- [22] G. D. Myer, K. R. Ford, J. Khoury, P. Succop & T. E. Hewett. (2011). Biomechanics laboratory-based prediction algorithm to identify female athletes with high knee loads that increase risk of ACL injury. *British Journal of Sports Medicine*, 45(4), 245-252.  
DOI: 10.1136/bjism.2009.069351.
- [23] K. R. Ford, G. D. Myer & G. D. Hewett. (2003). Valgus knee motion during landing in high school female and male basketball players. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 35(10), 1745-1750.  
DOI: 10.1249/01.MSS.0000089346.85744.D9.
- [24] D. C. Herman, J. L. Zaremski, H. K. Vincent & K. R. Vincent. (2015). Effect of neurocognition and concussion on musculoskeletal injury risk. *Current Sports Medicine Reports*, 14(3), 194-199.  
DOI: 10.1249/JSR.0000000000000157.
- [25] T. Nessler, L. Denney & J. Sampley. (2017). ACL injury prevention: what does research tell us?. *Current Reviews in Musculoskeletal Medicine*, 10(3), 281-288.  
DOI: 10.1007/s12178-017-9416-5.
- [26] C. Senter & S. L. Hame. (2006). Biomechanical analysis of tibial torque and knee flexion angle. *Sports Medicine*, 36(8), 635-641.
- [27] M. Leppänen et al. (2017). Stiff landings are associated with increased ACL injury risk in young female basketball and floorball players. *The American Journal of Sports Medicine*, 45(2), 386-393.  
DOI: 10.1177/0363546516665810.
- [28] J. T. Podraza & S. C. White. (2010). Effect of knee flexion angle on ground reaction forces, knee moments and muscle co-contraction during an impact-like deceleration landing: implications for the non-contact mechanism of ACL injury. *The Knee*, 17(4), 291-295.  
DOI: 10.1016/j.knee.2010.02.013.
- [29] O. E. Olsen, G. Myklebust, L. Engebretsen & R. Bahr. (2004). Injury mechanisms for anterior cruciate ligament injuries in team handball. *The American Journal of Sports Medicine*, 32(4), 1002-1012.  
DOI: 10.1177/0363546503261724.
- [30] W. M. Jeong & J. W. Lee. (2005). Cognitive Exercise Therapy: Focused Application of Rehabilitation Therapy. *Journal of Rehabilitation Research*, 9(2), 87-113.
- [31] M. V. Paterno, K. R. Ford, G. D. Myer, R. Heyl & T. E. Hewett. (2007). Limb asymmetries in landing and jumping 2 years following anterior cruciate ligament reconstruction. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 17(4), 258-262.  
DOI: 10.1097/JSM.0b013e31804c77ea.
- [32] R. Sharir et al. (2016). Mapping current research trends on anterior cruciate ligament injury risk against the existing evidence: In vivo biomechanical risk factors. *Clinical Biomechanics(Bristol, Avon)*, 37, 34-43.  
DOI: 10.1016/j.clinbiomech.2016.05.017.
- [33] A. D. Harrison, K. R. Ford, G. D. Myer, & T. E. Hewett. (2011). Sex differences in force attenuation: a clinical assessment of single-leg hop performance on a portable force plate. *British Journal of Sports Medicine*, 45(3), 198-202.  
DOI: 10.1136/bjism.2009.061788.
- [34] D. R. Grooms & J. A. Onate. (2016). Neuroscience application to noncontact anterior cruciate ligament injury prevention. *Sports Health*, 8(2), 149-152.  
DOI: 10.1177/1941738115619164.
- [35] C. B. Swanik. (2015). Brains and sprains: the brain's role in noncontact anterior cruciate ligament injuries. *Journal of Athletic Training*, 50(10), 1100-1102.  
DOI: 10.4085/1062-6050-50.10.08.
- [36] T. Alkjær, E. B. Simonsen, S. P. Magnusson, H. Aagaard & P. Dyhre-Poulsen. (2002). Differences in the movement pattern of a forward lunge in two types of anterior cruciate ligament deficient patients: copers and non-copers. *Clinical Biomechanics(Bristol, Avon)*, 17(8), 586-593.
- [37] T. L. Chmielewski, K. S. Rudolph, G. K. Fitzgerald, M. J. Axe & L. Snyder-Mackler. (2001). Biomechanical evidence supporting a differential response to acute ACL injury. *Clinical Biomechanics(Bristol, Avon)*, 16(7), 586-591.
- [38] D. Sugimoto, G. D. Myer, K. D. Foss, M. J. Pepin, L. J. Micheli & T. E. Hewett. (2016). Critical components of neuromuscular training to reduce ACL injury risk in female athletes: meta-regression analysis. *British Journal of Sports Medicine*, 50(20), 1259-1266.  
DOI: 10.1136/bjsports-2015-095596.
- [39] N. L. Grimm, J. C. Jacobs, J. Kim, B. S. Denney & K. G. Shea. (2015). Anterior cruciate ligament and knee injury prevention programs for soccer players: a systematic review and meta-analysis. *The American Journal of Sports Medicine*, 43(8), 2049-2056.  
DOI: 10.1177/0363546514556737.
- [40] G. D. Myer, D. Sugimoto, S. Thomas & T. E. Hewett. (2013). The influence of age on the effectiveness of neuromuscular training to reduce anterior cruciate ligament injury in female athletes: a meta-analysis. *The*



*American Journal of Sports Medicine*, 41(1), 203-215.  
DOI: 10.1177/0363546512460637.

- [41] C. L. Ardern, N. F. Taylor, J. A. Feller & K. E. Webster. (2012). Return-to-sport outcomes at 2 to 7 years after anterior cruciate ligament reconstruction surgery. *The American Journal of Sports Medicine*, 40(1), 41-48.  
DOI: 10.1177/0363546511422999.
- [42] E. H. Hartigan, M. J. Axe & L. Snyder-Mackler. (2010). Time line for noncopers to pass return-to-sports criteria after anterior cruciate ligament reconstruction. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 40(3), 141-154.  
DOI: 10.2519/jospt.2010.3168.
- [43] R. Thomeé et al. (2011). Muscle strength and hop performance criteria prior to return to sports after ACL reconstruction. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 19(11), 1798-1805.  
DOI: 10.1007/s00167-011-1669-8.

하 성 희(Ha, Sung He)

[정회원]



- 2008년 2월 : 남서울대학교 건강관리학과(학사)
- 2012년 8월 : 한국체육대학교 사회체육대학원 운동역학전공(석사)
- 2018년 2월 : 한국체육대학교 대학원 운동역학전공(박사)
- 2018년 3월 ~ 현재 : 연세대학교 박사 후 연구원(한국연구재단)
- 관심분야 : 생체역학, 스포츠 손상예방
- E-Mail : sunghe.ha@yonsei.ac.kr

박 상 균(Park, Sang Kyoon)

[정회원]



- 1996년 2월 : 한국체육대학교 사회체육학과(학사)
- 2001년 8월 : 한국체육대학교 대학원 운동역학전공(석사)
- 2008년 11월 : 캘거리대학교 대학원 운동역학전공(박사)
- 2010년 9월 ~ 현재 : 한국체육대학교 체육학과 부교수
- 관심분야 : 생체역학, 스포츠 손상예방, 스포츠 용품 개발
- E-Mail : spark@knsu.ac.kr