



Original Article

Peak Height Velocity and Sports Injuries in Korean Male Adolescent Soccer Players: A Prospective Cohort Study

Sunghe Ha^{1,2}, Hyoung Gyu Jeon^{2,3}, and Inje Lee^{1,2*}

¹Department of Sports Rehabilitation Medicine, Kyungil University

²International Olympic Committee Research Centre Korea

³Sports Science and Convergence Laboratory, Dongguk University

Article Info

Received 2025. 12. 01.

Revised 2026. 02. 14.

Accepted 2026. 03. 31.

Correspondence*

Inje Lee

injelee@kiu.kr

Key Words

Biological maturation, Injury epidemiology, Adolescent, Maturity offset, Athlete-exposure

This research was supported by Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea(NRF) funded by the Ministry of Education(No. RS-2023-00244876).

PURPOSE The aims of this study were to prospectively investigate the seasonal incidence and epidemiological characteristics of sports injuries according to peak height velocity (PHV) status among Korean male adolescent soccer players and to examine the interaction effect between maturity and activity type on detailed injury patterns. **METHODS** A total of 70 middle-school soccer players participated in this prospective cohort study. Based on 6-month height velocity, players were categorized into Circa-PHV ($n=43$) and Post-PHV ($n=27$) groups. Details regarding anthropometrics, exposure hours, and all musculoskeletal injuries were collected using the IOC Injury and Illness Surveillance Guidelines. Injury incidence (per 1000 athlete-exposures, AE) and relative risk were analyzed using Poisson regression and descriptive statistics. **RESULTS** A total of 125 injuries were recorded. Poisson regression revealed no significant main effect of maturation on overall injury incidence ($p=.944$). However, a significant interaction effect was detected between maturation and activity type for noncontact injuries ($p=.020$), with the Circa-PHV group exhibiting the highest incidence during matches (84.39/1000 AE). Matches posed a 15.6-fold higher injury risk than training (IRR=15.59, 95% CI: 10.49–23.18, $p<.001$). Regarding injury types, the Post-PHV group showed a 2.5-fold greater risk of muscle strains than the Circa-PHV group (IRR=2.46, 95% CI: 1.09–5.53, $p=.029$). **CONCLUSIONS** PHV is a critical determinant of injury risk and patterns in adolescent soccer players. Circa-PHV represents a vulnerable window for noncontact injuries under high-intensity match demands, and Post-PHV is characterized by a transition toward increased muscle strain risks. These results emphasize the need for maturation-informed load management and individualized prevention strategies to ensure athlete safety and long-term performance.

서론

청소년기는 신체 성장과 이차성징이 급격하게 이루어지는 시기로, 이러한 성장 속도와 타이밍의 개인차는 근육, 힘줄, 인대, 골격계의 발달 불균형을 초래하여 신체 조절 능력과 움직임의 효율성을 일시적으로 저하시킬 수 있다(Malina et al., 2015). 특히 성장 급가속기 전후

로는 골격의 선형 성장 속도가 주변 연부조직의 강도 증가보다 빠르게 진행되면서 유연성과 관절 안정성이 감소하는 경향을 보이며, 이는 고강도 스포츠 활동에서 손상 취약성을 높이는 주요 요인으로 지적되어 왔다(Ford et al., 2010; John et al., 2019; Malina et al., 2015; Quatman-Yates et al., 2012).

이와 같은 생물학적 성숙도의 차이는 동일한 연령 내에서도 수행력, 훈련 적응도, 피로 축적 양상에서 뚜렷한 차이를 발생시킨다(Malina et al., 2004). 실제로 청소년 축구에서는 성숙 정도가 빠른 선수들이 더 높은 훈련 강도와 출전 시간을 부여받는 경향이 보고되었으며, 이는 일부 선수에게 과도한 운동 부하와 부상 위험 증가로 이

© 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.

어질 수 있다(Brink et al., 2010). 이러한 맥락에서, 단순 연령 기반 팀 구성이나 훈련 계획은 개별 선수의 성장 특성을 충분히 반영하지 못한다는 비판이 제기되고 있다.

청소년기에는 성장판(epiphyseal plate) 손상, 오스굿-슬라터병(Osgood-Schlatter disease), 앞무릎통증(anterior knee pain)과 같은 대표적인 과사용 손상이 빈번히 발생하며(Maffulli & Bruns, 2000; Patel & Villalobos, 2017), 특히 축구선수의 경우 반복적 달리기, 점프, 착지, 방향전환 등의 고부하 동작으로 인해 하지 부위 손상 위험이 더욱 증가한다(Read et al., 2016; Holden et al., 2021). 손상이 반복될 경우 운동 지속 의지 감소와 경기력 저하뿐 아니라 장기적인 기능 저하로 이어질 수 있어, 청소년기의 손상이력을 정확히 파악하는 것은 매우 중요하다.

한국 청소년 축구선수를 대상으로 한 손상 역학 연구는 지속적으로 이루어지고 있으나(Kim et al., 2013; Lee, Jeon, et al., 2020; Lee & Ha, 2023; Lee, Jeong, et al., 2020), 성장 속도(peak height velocity, PHV)를 직접 반영하여 손상 발생률, 부위, 기전의 차이를 분석한 연구는 부족한 실정이다. 이는 생물학적 성숙도 기반 접근이 국제적으로 중요하게 논의되고 있음에도(Pakarinen et al., 2025), 국내 환경에서는 아직 충분히 반영되지 않고 있음을 시사한다. 따라서 PHV를 기준으로 한 손상 특성 분석은 청소년 축구선수의 훈련, 출전 관리 전략을 체계화하는 데 필수적이다.

기존의 PHV 관련 손상 연구들은 주로 PHV 이전 상태(Pre-PHV), PHV 근접상태(Circa-PHV), PHV 이후 상태(Post-PHV)의 세 집단으로 선수들을 분류하여 성장단계에 따른 손상 위험을 비교해 왔으나, 대부분 서구권 데이터를 기반으로 하고 있어 국내 청소년 선수에게 직접 적용하기에는 한계가 있고, 예측식의 타당도 한계와 예측 편향이 지적된다(Malina et al., 2021). 본 연구에서는 국내 종단 성장 자료에서 제시된 남자 청소년의 PHV를 생물학적 성숙 분류 기준으로 설정하였다(Chun et al., 2024). 또한, 청소년기의 PHV는 사춘기 단계와 일치하지 않으며 개인차가 매우 큰 것으로 보고된다(Granados et al., 2015). 이러한 변동성으로 인해 본 연구에서는 Tanner 단계 대신 성장속도 기반의 간접 생물학적 성숙 지표를 사용하였다. 이러한 접근은 국내 성장자료를 반영한 간접 성숙도 분류 방법으로서, 한국 청소년 축구선수의 성장속도와 손상 위험 간 관계를 현장 수준에

서 탐색하는 데 유용하다고 판단하였다.

이에 본 연구는 전향적 코호트 설계를 통해 한국 남성 청소년 축구 선수의 PHV에 따른 스포츠 손상 발생률과 주요 병역학 지표들(부위, 종류, 원인, 심각도)을 규명하고, 성숙도 수준과 활동 상황(훈련 vs 경기)의 상호작용이 세부 손상 패턴에 미치는 효과를 검증하는 데 목적이 있다. 본 연구는 국내 청소년 축구 선수 관리에서 생물학적 성숙 기반 접근의 필요성을 강화하는 근거를 제공할 것으로 기대된다.

연구방법

연구 대상

본 연구를 위해 전국 중등 축구 리그에 참가하는 같은 권역 3개 중등부 축구선수 98명이 참여하였고, 분석은 전학 및 2차 측정 불응의 사유로 28명을 제외한 70명을 대상으로 실시하였다. 모든 대상자는 2024 전국 중등 축구 리그에 참가하고 있으며, 대한축구협회 선수등록이 되어 있는 전문 운동선수로 선정하였다. 모집된 연구 대상자들의 신체적인 특성은 <Table 1>과 같다.

본 연구는 생명윤리위원회의 승인 후 진행하였으며, 연구 참여자, 연구 참여자의 법정대리인, 연구 참여기관의 자발적 동의 후 수행되었다(IRB No.: 7001988-202404-HR-2222-02).

연구절차

대상자의 PHV 산출을 위해 6개월 간격(4월, 10월)을 두고 신장 정보 2회 측정값과 생년월일을 수집하였다. 신장은 자동 신장 측정계(BSM370, Biospace, South Korea)를 이용하여 대상자에게 정면을 바라보고 맨발로 신장계에 올라서서 양발을 지면에 모두 붙인 상태에서 측정하도록 요청하였다.

모든 연구 대상자의 2024년 4월부터 10월까지 참여한 리그 경기 시간, 훈련 시간, 훈련 및 경기 동안 발생한 손상 정보(발생원인, 발생기전, 손상 부위, 손상 종류, 결장일)는 스포츠의학전공 박사학위를 소지한 연구자에 의해 수집되었다(International Olympic

Table 1. Descriptive anthropometric values and exposure time by maturity status

Variables	Circa-PHV (n=43)				Post-PHV (n=27)			
	Non-injured (n=14)		Injured (n=29)		Non-injured (n=5)		Injured (n=22)	
	0mo.	6mo.	0mo.	6mo.	0mo.	6mo.	0mo.	6mo.
Chronological Age (years)	13.6±0.9	14.1±0.9	13.5±0.7	14.1±0.8	13.6±0.5	14.1±0.5	14.1±0.8	14.6±0.7
Height (cm)	159.6±7.3	163.9±7.2	160.3±8.3	164.9±8.1	170.4±5.9	172.6±5.4	168.2±6.3	170.1±6.3
Height velocity (cm/6mo.)	4.3±0.6		4.6±2.3		2.2±0.7		1.9±0.6	
Body mass (kg)	47.3±6.4	51.1±7.4	49.4±7.6	52.5±7.8	59.8±11.6	63.2±11.6	60.2±9.5	63.0±9.4
Body Mass velocity (kg/6mo.)	3.8±2.0		3.1±1.5		3.4±1.7		2.9±1.5	
Overall exposure (hours)	424.35±7.92		387.53±3.24		328.71±23.99		406.62±5.69	
Training exposure (hours)	416.23±7.96		380.59±3.30		316.98±23.30		394.30±5.72	
Match exposure (hours)	8.12±0.38		6.95±0.16		11.72±1.54		12.32±0.18	

Values are expressed as mean±standard deviation.

Abbreviations: mo., month

Committee Injury and Illness Epidemiology Consensus Group, et al., 2020). 경기 시 발생한 손상은 매주 수집되었고, 훈련 시 발생한 손상은 매일 수집되었다.

손상의 정의는 지도자의 감독하에 축구 경기를 목적으로 이루어지는 훈련 및 상대 팀과의 경기 중 발생한 근골격계 문제로 정의하였다(Fuller et al., 2006). 노출시간(athlete-exposures)은 훈련 및 경기에 참여한 시간으로 정의되었다. 선수들의 훈련 참여 시간은 지도자에 의해 분 단위로 기록되었고, 경기 참여 시간은 경기 기록지를 통해 수집하였다.

손상 부위(injured body part)는 머리와 몸통(head and trunk)의 8개 하위 분류 얼굴(face), 머리(head), 목/목뼈(neck/cervical spine), 등뼈/등(thoracic spine/upper back), 복장뼈/갈비뼈(sternum/ribs), 허리뼈/허리(lumbar spine/lower back), 복부(abdomen), 골반/엉치뼈/엉덩이(pelvis/sacrum/buttock), 팔(upper extremity)의 8개 하위 분류 어깨관절/빗장뼈(shoulder/clavicle), 윗팔(upper arm), 팔꿈치관절(elbow joint), 아래팔(forearm), 손목관절(wrist), 손(hand), 손가락(finger), 엄지손가락(thumb), 다리(lower extremity)의 8개 하위 분류 엉덩관절(hip), 사타구니(groin), 허벅지(thigh), 무릎관절(knee), 종아리(lower leg), 아킬레스 힘줄(Achilles tendon), 발목관절(ankle), 발/발가락(foot/toe)을 포함한다. 손상 종류(type of injury)는 뇌진탕(concussion), 골절(fracture), 스트레스 골절(stress fracture), 기타 뼈 손상(other bone injuries), 탈구/아탈구(dislocation/subluxation), 힘줄 찢김(tendon rupture), 불안정성을 동반한 인대 찢김(ligamentous rupture with instability), 불안정성이 없는 인대 찢김(ligamentous rupture without instability), 인대염좌(sprain), 반달연골판/연골 찢김(lesion of meniscus or cartilage), 염좌/근육염좌/파열(strain/muscle rupture/tear), 타박상(contusion/haematoma/bruise), 힘줄병변(tendinosis/tendinopathy), 활액낭염(bursitis), 피부손상(laceration/abrasion/skin lesion), 치아 손상(dental injury/broken tooth), 신경손상/척수신경손상(nerve injury/spinal cord injury), 근 경련/귀(muscle cramps/spasm), 기타 손상(others)로 분류되었다. 손상 원인(cause of injury)은 만성 과사용(overuse: gradual onset), 급성 과사용(overuse: sudden onset), 비접촉성 손상(non-contact trauma), 재부상(recurrence of previous injury), 다른 선수와의 충돌(contact with another athlete), 움직이는 물체와의 충돌(contact: moving object), 고정된 물체와의 충돌(contact: stagnant object), 반칙 행위(violation of rules/foul play), 운동장 환경(field of play conditions), 날씨(weather condition), 장비 결함(equipment failure), 기타 문제(others)로 분류되었다. 손상 심각도는 손상으로부터 회복되어 훈련 및 경기에 참여하기까지 소모된 시간(결장일, absence in days)으로 0일은 매우 경미한 손상, 1-3일은 경미한 손상, 4-7일은 보통 손상, 8-28일은 심한 손상, 29일 이상은 매우 심한 손상으로 정의하였다.

자료 처리

선수의 PHV는 국내 아동, 청소년을 대상으로 한 종단 성장 연구에서 보고된 기준으로 남자 청소년의 연간 PHV(8.62 cm/year)를 6개월 기준으로 환산한 4.31 cm/6개월을 생물학적 성숙 분류 기준으로

사용하였다(Chun et al., 2024). 성숙도 분류 기준하에 최근 6개월 동안의 신장 증가량이 4.31 cm 이상인 선수를 Circa-PHV로, 4.31 cm 미만인 선수를 Post-PHV로 집단을 구분하였다. 본 연구에서는 선행연구의 기준에 따라서 PHV 시기인 13세보다 어린 선수의 종단 신장 자료를 확보하지 못하였기 때문에, Pre-PHV 집단을 정의할 수 없었으며, Circa-PHV와 Post-PHV 두 집단만을 비교 분석하였다.

손상 발생률(incidence of injury)은 노출시간으로 수집된 손상 수를 나누어 산출하였고, 95% 신뢰구간(confidence interval, CI)을 제시하였다(Knowles et al., 2006).

통계 처리

대상자의 신장, 체중, 역연령, 생물학적 성숙도, 노출 시간 등의 신체적 특성은 기술통계를 통해 평균과 표준편차를 산출하였다. 생물학적 성숙도 단계 및 활동 유형에 따른 손상 발생률의 차이를 분석하기 위해 포아송 회귀분석(Poisson regression)을 실시하였으며, 노출 시간을 오프셋(offset) 변수로 설정하여 손상 발생률 비율(incidence rate ratio, IRR)을 산출하였다. 모델의 전반적인 적합도는 Omnibus Likelihood Ratio test를 통해 검증하였으며 성숙도 단계와 활동유형 간의 상호작용 효과(interaction effect)를 분석하였다. 자료가 0인 경우 포아송 회귀모델이 수렴하지 않아 회귀분석에서 제외되었다.

손상의 심각도(결장 일수)는 정규성 검정 결과에 따라 비모수 검정인 Mann-Whitney U test를 사용하여 집단 간 차이를 비교하였으며, 중앙값(median)과 사분위 수(interquartile range, IQR)를 함께 산출하였다. 손상 위치, 종류, 원인의 분포는 빈도분석을 수행하였고, 모든 통계적 유의수준은 $\alpha=.05$ 로 설정하였다. 모든 통계 분석은 jamovi(version 2.6, The jamovi project, 2024)를 사용하여 실시하였다.

연구결과

손상 발생률

손상 발생률 분석 결과는 <Table 2>와 같다. 포아송 회귀분석 결과, 성숙도 단계($p=.944$) 및 성숙도와 활동 유형 간의 상호작용 효과($p=.770$)는 통계적으로 유의하지 않은 것으로 나타났다. 반면, 활동 유형에 따른 분석에서는 훈련 상황 대비 경기 중 손상 발생 위험

Table 2. Total incidence, training, and match incidence

Activity Type	Circa-PHV		Post-PHV	
	N(%)	Incidence (95% CI)	N (%)	Incidence (95% CI)
Total	72(100)	6.41 (4.98, 7.89)	53(100)	5.93 (4.33, 7.52)
Training	55(76.4)	4.98 (3.67, 6.30)	36(67.9)	4.15 (2.79, 5.51)
Match	17(23.6)	84.394 (44.28, 124.51)	17(32.1)	62.74 (32.91, 92.56)

Incidence indicates injuries per 1,000 athlete-exposures. Abbreviation: CI, confidence interval; PHV, peak height velocity

이 약 15.6배 높게 관찰되었다(IRR=15.59, 95% CI: 10.49-23.18, $p<.001$).

손상 부위

손상 부위 발생률 결과는 <Table 3>과 같다. 하지 손상에 대한 포아송 회귀분석 결과, 성숙도 단계 간 주효과($p=.654$) 및 성숙도와 활동

유형 간의 상호작용 효과($p=.991$)는 통계적으로 유의하지 않은 것으로 나타났다. 반면, 하지 손상은 경기 중 발생 위험이 16.1배 유의하게 높았다(IRR=16.14, 95% CI: 10.40-25.05, $p<.001$). 상지, 머리 및 몸통 부위 역시 성숙도에 따른 차이는 발견되지 않았으나, 경기 상황에서 각각 12.6배(IRR=12.60, 95% CI: 3.18-49.95, $p=.008$) 및 25.8배(IRR=25.81, 95% CI: 5.16-129.18, $p=.002$) 각각 높은 상대적 위험도를 보였다.

Table 3. The incidence and location of injuries

Location	Circa-PHV		Post-PHV	
	N (%)	Incidence (95% CI)	N (%)	Incidence (95% CI)
Training				
Head and trunk	5(9.1)	0.45(0.06, 0.85)	4(11.1)	0.46(0.01, 0.91)
Face (incl. eye, ear, nose)	1(1.8)	0.09(-0.09, 0.27)	0(0)	0(0)
Sternum / Ribs	1(1.8)	0.09(-0.09, 0.27)	1(2.8)	0.12(-0.11, 0.34)
Lumbar spine / Lower back	2(3.6)	0.18(-0.07, 0.43)	1(2.8)	0.12(-0.11, 0.34)
Pelvis / Sacrum/ buttock	1(1.8)	0.09(-0.09, 0.27)	2(5.6)	0.23(-0.09, 0.55)
Upper extremity	7(12.7)	0.63(0.16, 1.10)	3(8.3)	0.35(-0.05, 0.74)
Should / Clavicle	2(3.6)	0.18(-0.07, 0.43)	1(2.8)	0.12(-0.11, 0.34)
Wrist	4(7.3)	0.36(0.01, 0.72)	0(0)	0(0)
Hand	1(1.8)	0.09(-0.09, 0.27)	0(0)	0(0)
Finger	0(0)	0(0)	1(2.8)	0.12(-0.11, 0.34)
Thumb	0(0)	0(0)	1(2.8)	0.12(-0.11, 0.34)
Lower extremity	43(78.2)	3.90(2.73, 5.06)	29(80.6)	3.34(2.13, 4.56)
Groin	1(1.8)	0.09(-0.09, 0.27)	3(8.3)	0.35(-0.05, 0.74)
Thigh (A / P)	2(3.6)	0.18(-0.07, 0.43)	2(5.6)	0.23(-0.09, 0.55)
Knee (M / L)	17(30.9)	1.54(0.81, 2.27)	7(19.4)	0.81(0.21, 1.41)
Lower leg (A / P)	3(5.5)	0.27(-0.04, 0.58)	2(5.6)	0.23(-0.09, 0.55)
Achilles tendon	5(9.1)	0.45(0.06, 0.85)	5(13.9)	0.58(0.07, 1.08)
Ankle (M / L)	11(20.0)	1.00(0.41, 1.59)	9(25.0)	1.04(0.36, 1.72)
Foot / Toe	4(7.3)	0.36(0.01, 0.72)	1(2.8)	0.12(-0.11, 0.34)
Match				
Head and trunk	2(11.8)	9.93(-3.83, 23.69)	1(5.9)	3.69(-3.54, 10.92)
Face (incl. eye, ear, nose)	1(5.9)	4.96(-4.77, 14.70)	1(5.9)	3.69(-3.54, 10.92)
Sternum / Ribs	1(5.9)	4.96(-4.77, 14.70)	0(0)	0(0)
Upper extremity	2(11.8)	9.93(-3.83, 23.69)	1(5.9)	3.69(-3.54, 10.92)
Should / Clavicle	0(0)	0(0)	1(5.9)	3.69(-3.54, 10.92)
Wrist	1(5.9)	4.96(-4.77, 14.70)	0(0)	0(0)
Hand	1(5.9)	4.96(-4.77, 14.70)	0(0)	0(0)
Lower extremity	13(76.5)	64.54(29.45, 99.62)	15(88.2)	55.36(27.34, 83.37)
Groin	0(0)	0(0)	1(5.9)	3.69(-3.54, 10.92)
Thigh (A / P)	3(17.6)	14.89(-1.96, 31.75)	0(0)	0(0)
Knee (M / L)	4(23.5)	19.86(0.40, 39.32)	4(23.5)	14.76(0.30, 29.23)
Lower leg (A / P)	2(11.8)	9.93(-3.83, 23.69)	0(0)	0(0)
Achilles tendon	1(5.9)	4.96(-4.77, 14.70)	0(0)	0(0)
Ankle (M / L)	2(11.8)	9.93(-3.83, 23.69)	5(29.4)	18.45(2.28, 34.63)
Foot / Toe	1(5.9)	4.96(-4.77, 14.70)	5(29.4)	18.45(2.28, 34.63)

Incidence indicates injuries per 1,000 athlete-exposures.

Abbreviation: A, anterior; CI, confidence interval; L, lateral; M, medial; P, posterior; PHV, peak height velocity

손상 종류

손상 종류 결과는 <Table 4>와 같다. 손상 종류에 따른 분석 결과, 염좌/근육염좌/파열에서 성숙도 단계에 따른 분석에서 Post-PHV 집단은 Circa-PHV 집단보다 약 2.5배 높은 근 손상 위험을 보였으며(IRR=2.46, 95% CI: 1.09-5.53, $p=0.029$), 활동 유형별로는 훈련 대비 경기 중 손상 위험이 약 29.1배 유의하게 높게 관찰되었다

(IRR=29.12, 95% CI: 12.95-65.49, $p<.001$). 반면 외상성 골절, 인대 염좌, 타박상 등에서는 집단 간 유의한 차이가 관찰되지 않았으나($p>.05$), 훈련 대비 경기 중 골절 발생 위험이 외상성 골절은 약 15.4배(IRR=15.43, 95% CI: 3.68-64.76, $p=0.005$), 기타 뼈 손상은 약 12.3배(IRR=12.31, 95% CI: 2.98-50.76, $p=0.008$), 인대 염좌는 약 9.5배(IRR=9.45, 95% CI: 2.73-32.65, $p=0.011$), 타박상은 약 158.1배 유의하게 높게 나타났다(IRR=158.08, 95% CI: 41.44-

Table 4. Type of injury and cause of injury

Variables	Circa-PHV		Post-PHV	
	N (%)	Incidence (95% CI)	N (%)	Incidence (95% CI)
Training				
Type of injury				
Fracture (traumatic)	7(12.7)	0.63(0.16, 1.10)	2(5.6)	0.23(-0.09, 0.55)
Stress fracture	1(1.8)	0.09(-0.09, 0.27)	0(0)	0(0)
Other bone injuries	11(20.0)	1.00(0.41, 1.59)	2(5.6)	0.23(-0.09, 0.55)
Tendon rupture	0(0)	0(0)	1(2.8)	0.12(-0.11, 0.34)
Sprain (injury of joint and/or ligaments)	7(12.7)	0.63(0.16, 1.10)	8(22.2)	0.92(0.28, 1.56)
Lesion of meniscus or cartilage	6(10.9)	0.54(0.11, 0.98)	1(2.8)	0.12(-0.11, 0.34)
Strain / Muscle rupture / Tear	5(9.1)	0.45(0.06, 0.85)	11(30.6)	1.27(0.52, 2.02)
Contusion / Haematoma / Bruise	2(3.6)	0.18(-0.07, 0.43)	1(2.8)	0.12(-0.11, 0.34)
Tendinosis / Tendinopathy	9(16.4)	0.82(0.28, 1.35)	7(19.4)	0.81(0.21, 1.41)
Arthritis / Synovitis / Bursitis	2(3.6)	0.18(-0.07, 0.43)	0(0)	0(0)
Muscle cramps of spasm	1(1.8)	0.09(-0.09, 0.27)	0(0)	0(0)
Other	4(7.3)	0.36(0.01, 0.72)	3(8.3)	0.35(-0.05, 0.74)
Cause of injury				
Overuse (gradual onset)	14(25.5)	1.27(0.60, 1.93)	8(22.2)	0.92(0.28, 1.56)
Overuse (sudden onset)	15(27.3)	1.36(0.67, 2.05)	7(19.4)	0.81(0.21, 1.41)
Non-contact trauma	8(14.5)	0.73(0.22, 1.23)	13(36.1)	1.50(0.68, 2.31)
Recurrence of previous injury	1(1.8)	0.09(-0.09, 0.27)	1(2.8)	0.12(-0.11, 0.34)
Contact with another athlete	7(12.7)	0.63(0.16, 1.10)	1(2.8)	0.12(-0.11, 0.34)
Contact: moving object	4(7.3)	0.36(0.01, 0.72)	4(11.1)	0.46(0.01, 0.91)
Contact: stagnant object	2(3.6)	0.18(-0.07, 0.43)	2(5.6)	0.23(-0.09, 0.55)
Other	4(7.3)	0.36(0.01, 0.72)	0(0)	0(0)
Match				
Type of injury				
Fracture (traumatic)	2(11.8)	9.93(-3.83, 23.69)	1(5.9)	3.69(-3.54, 10.92)
Other bone injuries	2(11.8)	9.93(-3.83, 23.69)	1(5.9)	3.69(-3.54, 10.92)
Sprain (injury of joint and/or ligaments)	3(17.6)	14.89(-1.96, 31.75)	7(41.2)	25.83(6.70, 44.97)
Strain / Muscle rupture / Tear	4(23.5)	19.86(0.407, 39.32)	3(17.6)	11.07(-1.46, 23.60)
Contusion / Haematoma / Bruise	6(35.3)	29.79(5.95, 53.62)	5(29.4)	18.45(2.28, 34.63)
Cause of injury				
Overuse (sudden onset)	2(11.8)	9.93(-3.83, 23.69)	1(5.9)	3.69(-3.54, 10.92)
Non-contact trauma	8(47.1)	39.72(12.19, 67.24)	4(23.5)	14.76(0.30, 29.23)
Contact with another athlete	7(41.2)	34.75(9.01, 60.50)	9(52.9)	33.21(11.51, 54.91)
Contact: moving object	0(0)	0(0)	2(11.8)	7.38(-2.85, 17.61)
Contact: stagnant object	0(0)	0(0)	1(5.9)	3.69(-3.54, 10.92)

Incidence indicates injuries per 1,000 athlete-exposures.

Abbreviation: CI, confidence interval; PHV, peak height velocity

603.06, $p < .001$). 성숙도 단계와 활동 유형 간의 상호작용 효과는 모든 손상 종류에서 통계적으로 유의하지 않았다($p > .05$).

손상 원인

손상 원인 결과는 <Table 4>와 같다. 비접촉 손상에서 성숙도 단계와 활동 유형 간의 유의한 상호작용 효과가 발견되었다(IRR=0.18,

95% CI: 0.04-0.79, $p = .020$, Fig. 1). 한편, 활동 유형에 따른 주효과는 유의하였으나(IRR=22.64, 95% CI: 10.76-47.66, $p < .001$), 성숙도 단계에 따른 주효과는 유의하지 않았다($p = .749$). 급성 과사용 손상, 다른 선수와의 접촉에 의한 손상은 성숙도 단계에 따른 유의한 주효과 및 성숙도 단계와 활동 유형 간의 상호작용 효과는 통계적으로 유의하지 않았다($p > .05$). 반면, 활동 유형에 따른 분석에서는 훈련 대비 경기 중 급성 과사용 손상은 약 5.6배(IRR=5.63, 95% CI:

Table 5. Injuries by severity

Location	Circa-PHV					Post-PHV				
	N (%)	median	IQR	Min	Max	N (%)	median	IQR	Min	Max
Training										
Head and trunk										
Face (incl. eye, ear, nose)	1(1.8)	14	0	14	14	0(0)	-	-	-	-
Sternum / Ribs	1(1.8)	28	0	28	28	1(2.8)	2	0	2	2
Lumbar spine / Lower back	2(3.6)	0.5	0.5	0	1	1(2.8)	1	0	1	1
Pelvis / Sacrum/ buttock	1(1.8)	0	0	0	0	2(5.6)	0	0	0	0
Upper extremity										
Should / Clavicle	2(3.6)	28	14	14	42	1(2.8)	14	0	14	14
Wrist	4(7.3)	0	0.25	0	1	0(0)	-	-	-	-
Hand	1(1.8)	28	0	28	28	0(0)	-	-	-	-
Finger	0(0)	-	-	-	-	1(2.8)	0	0	0	0
Thumb	0(0)	-	-	-	-	1(2.8)	28	0	28	28
Lower extremity										
Groin	1(1.8)	0	0	0	0	3(8.3)	14	13	2	28
Thigh (A / P)	2(3.6)	3.5	3.5	0	7	2(5.6)	1	0	1	1
Knee (M / L)	17(30.9)	0	0	0	30	7(19.4)	0	0	0	0
Lower leg (A / P)	3(5.5)	14	6.5	1	14	2(5.6)	0	0	0	0
Achilles tendon	5(9.1)	0	0	0	7	5(13.9)	1	0	0	25
Ankle (M / L)	11(20.0)	0	1.5	0	21	9(25.0)	1	4	0	7
Foot / Toe	4(7.3)	21	14.5	14	30	1(2.8)	0	0	0	0
Match										
Head and trunk										
Face (incl. eye, ear, nose)	1(5.9)	0	0	0	0	1(5.9)	1	0	1	1
Sternum / Ribs	1(5.9)	0	0	0	0	0(0)	-	-	-	-
Upper extremity										
Should / Clavicle	0(0)	-	-	-	-	1(5.9)	45	0	45	45
Wrist	1(5.9)	0	0	0	0	0(0)	-	-	-	-
Hand	1(5.9)	40	0	40	40	0(0)	-	-	-	-
Lower extremity										
Groin	0(0)	-	-	-	-	1(5.9)	0	0	0	0
Thigh (A / P)	3(17.6)	0	1	0	2	0(0)	-	-	-	-
Knee (M / L)	4(23.5)	0	0.5	0	2	4(23.5)	4	6.25	0	7
Lower leg (A / P)	2(11.8)	34	20	14	54	0(0)	-	-	-	-
Achilles tendon	1(5.9)	0	0	0	0	0(0)	-	-	-	-
Ankle (M / L)	2(11.8)	1.5	0.5	1	2	5(29.4)	4	5	0	7
Foot / Toe	1(5.9)	7	0	7	7	5(29.4)	0	0	0	60

Abbreviation: A, anterior; I, interquartile range; L, lateral; M, medial; Max, maximum; Min, minimum; P, posterior; PHV, peak height velocity

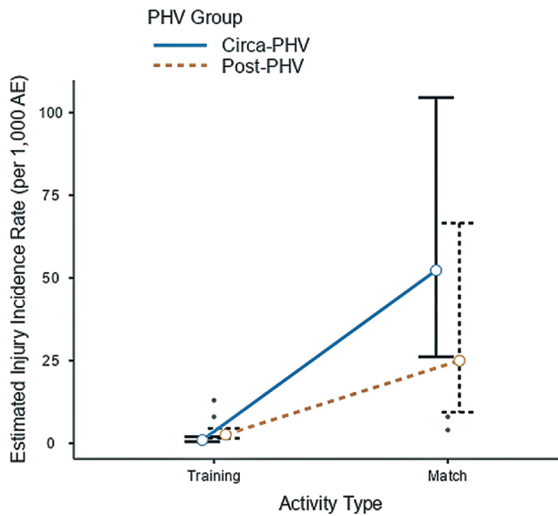


Fig. 1. Comparison of non-contact injury incidence rates (per 1,000 athlete-exposures) between Circa-PHV and Post-PHV groups during training and match activities

1.56-20.29, $p=.008$), 다른 선수와의 접촉에 의한 손상은 약 122.5 배($IRR=122.45$, 95% CI: 38.45-389.90, $p<.001$) 유의하게 높게 나타났다.

손상 심각도

신체 부위별 손상 심각도 결과는 <Table 5>와 같다. 손상으로 인한 결장일은 훈련 중 발생한 손상의 심각도($U=942$, $p=.672$)와 경기 중 발생한 부상의 심각도($U=135$, $p=.726$) 모두 성숙도 단계에 따른 차이가 나타나지 않았다. 훈련(Circa-PHV: median=0, IQR= 7; Post-PHV: median=1, IQR= 2) 및 경기(Circa-PHV: median=0, IQR= 2; Post-PHV: Median=1, IQR= 7) 시 발생한 대다수의 손상은 결장일을 근거로 경미한 수준으로 나타났다.

논 의

본 연구는 한국 남성 청소년 축구선수를 대상으로 성장 속도 단계에 따른 한 시즌의 스포츠 손상을 전향적으로 분석하였다. 분석 결과, 전체 손상 발생률에서 성숙도 단계의 단순 주효과는 통계적으로 유의하지 않았으나, 활동 유형 및 부상 기전과 결합될 때 성숙도가 손상 위험을 차별화하는 중요한 변인으로 작용하는 것으로 관찰되었다. 특히 비접촉 손상에서 나타난 성숙도와 활동 유형 간 유의한 상호작용은 청소년 축구 선수의 손상 예방 전략에 있어 생물학적 성숙도 기반 접근의 타당성을 뒷받침한다.

비접촉 손상 기전에서 확인된 성숙도 단계와 활동 유형 간의 유의한 상호작용 효과는 본 연구의 주요한 결과이다. 구체적으로 Circa-PHV는 경기 시 비접촉 손상 발생률이 급격히 상승하며, 이는 Post-PHV 및 훈련 시 결과와 차이가 관찰되었다. 이러한 결과는 Circa-PHV 선수가 경기라는 고강도 환경에 노출될 때, 신체 조절 능력이

외부 부하를 적절히 제어하지 못하는 취약한 시기임을 시사한다. 특히 Post-PHV의 경기 노출 시간이 Circa-PHV 보다 약 2배 더 많았음에도 불구하고 실제 비접촉 손상 발생률은 Circa-PHV에서 더 높게 나타났다는 점은, 단순한 노출 시간의 양보다 해당 시기의 생물학적 취약성이 고강도 플레이 상황에서 더 지배적인 위험 인자로 작용함을 입증한다. 이러한 양상은 PHV 인근 시기의 신경근 조절 능력 저하와 비접촉 손상 위험 증가를 보고한 선행 연구들과 일치하는 결과이다(Dominguez et al., 2025; Johnson et al., 2020; Pakarinen et al., 2025). 생체역학적으로 PHV 시기에는 골격의 급격한 선형 성장이 근육과 힘줄의 유연성 및 신경근 제어 능력의 발달 속도를 일시적으로 앞지르는 신경근 공백(neuromuscular lag) 현상이 발생한다(DiStefano et al., 2015). 이로 인해 경기 중 발생하는 급격한 방향 전환이나 감속 동작 시 관절의 동적 안정성이 저하되는 것이 비접촉 손상의 핵심 기전으로 해석된다. 따라서 Circa-PHV 단계의 선수들에게는 신경근 제어 능력을 향상시킬 수 있는 특성화된 예방 프로그램의 우선적 적용과 성숙도를 고려한 경기 노출 관리가 요구된다.

본 연구에서 Post-PHV가 Circa-PHV 보다 높은 근 손상 위험이 관찰되었다. 이는 Post-PHV 단계에서 나타나는 근육 구조의 양적 성장 및 기능적 변화가 부상 패턴의 전이를 유발한 결과로 판단된다. 엘리트 청소년 축구 선수를 대상으로 한 Brown et al.(2023)의 연구에 따르면, Post-PHV 시기에는 햄스트링의 두께가 유의하게 증가하는 근 비대 현상이 관찰되며, 이는 체중 증가에 따른 신장성 근력의 향상을 동반하는 것으로 나타났다. 이러한 구조적 변화는 경기 중 발생하는 스프린트나 방향 전환 시 근육-힘줄 단위에 가해지는 기계적 장력을 극대화함으로써 근 손상을 유발하는 주요 기전으로 작용할 수 있다. 따라서 Post-PHV 시기에는 강화된 근력을 수용할 수 있는 근육의 유연성 확보 및 신장성 수축 능력 강화에 초점을 맞춘 차별화된 관리가 필요할 것으로 사료된다.

활동 유형은 성숙도와 관계없이 본 연구에서 손상 발생에 가장 강력한 영향을 미치는 변인이었으며, 훈련 대비 경기 중 손상 위험이 높게 관찰되었다. Teixeira et al.(2021)의 체제적 문헌고찰에 따르면, 주간 전체 부하의 대부분이 훈련 중 발생하지만, 일회 참여하는 활동으로 훈련과 경기를 비교한다면 경기 시 발생하는 생리적, 생체역학적 스트레스는 일반적인 훈련 이상으로 보고된다. 따라서 현장 지도자들은 선수의 경기 투입 시간을 결정할 때 단순한 숙련도가 아닌 생물학적 성숙 단계를 고려한 개별적 부하 관리 전략을 수립해야 할 것이다.

본 연구는 국내 성장 데이터(Chun et al., 2024)를 반영한 PHV 기준을 적용하여 한국 청소년 선수의 손상 패턴을 실증적으로 확인했다는 점에서 의의를 갖는다. 방법론적 타당성과 관련하여, 6개월간의 단기 신장 속도 변화를 이용한 예측 모델은 높은 민감도와 특이도를 나타내어 단기 관찰의 임상적 유용성이 입증된 바 있으며, 표준화된 측정 기술을 적용할 경우 단기 신장 데이터 역시 신장 속도 회귀 곡선의 신뢰성을 확보하는 것으로 확인되었다(Spagnoli et al., 1996; Tillmann & Clayton, 2001). 그럼에도 불구하고 본 연구는 다음과 같은 제한점을 갖는다. 첫째, 머리와 몸통, 상지 등 일부 신체 부위에서 손상 발생 건수가 0이거나 매우 낮은 빈도를 보여 포아송 모델의 통계적 검정력이 충분하지 않았을 가능성이 존재한다. 이로 인해 해당 부위들에서는 성숙도에 따른 통계적 유의성을 명확히 규명하는 데 한계가 있었다. 둘째, Pre-PHV 집단을 포함하지 못했으므로 본 결과는 성숙의 전 과정이 아닌 성장 정점기와 그 이후 단계 간의 전이에

국한하여 해석되어야 한다. 마지막으로 본 연구는 특정 권역의 팀을 대상으로 수행된 관찰 연구이므로, 이를 전체 청소년 축구 선수 집단에게 일반화하기에는 신중한 접근이 필요하다. 이러한 한계에도 불구하고 본 연구는 한국 청소년 축구선수의 성장 속도와 손상 위험 간의 복잡한 관계를 규명함으로써 국내 현장에 적합한 성숙도 기반 관리 시스템 구축의 기초 자료를 제공한다.

결론 및 제언

본 연구는 한국 남성 청소년 축구선수의 생물학적 성숙도가 스포츠 손상의 발생 및 특성에 미치는 영향을 전향적으로 규명하였다. 연구 결과, 성숙도 단독 주효과는 통계적으로 유의하지 않았으나 활동 유형 및 손상 기전과 결합 시 위험 변인으로 작용하는 것으로 나타났다. Circa-PHV는 경기 중 비접촉 손상이 급증하며 신경근 제어의 취약성을 보인 반면, Post-PHV는 근육 성장에 따른 근 손상 위험의 전이가 관찰되었다. 이는 국제 연구 경향이 한국 청소년 축구 환경에서도 유효함을 입증하며, 국내 성장 데이터(Chun et al., 2024)를 활용한 성숙도 기반 접근의 학술적 타당성을 뒷받침한다. 종합적으로 PHV는 청소년 축구선수의 손상 위험과 유형을 결정짓는 결정적 지표이며, 선수의 안전과 퍼포먼스 관리를 위해서는 성숙 단계에 따른 개별화된 전략이 필수적이다.

이에 본 연구는 다음과 같은 제언을 하고자 한다. 향후 연구에서는 더 넓은 성숙도 스펙트럼과 대규모 표본을 바탕으로 한 분석이 요구되며, 본 연구에서 제안한 성숙도 기반 차별화된 예방 프로그램의 실제 효과를 검증하는 후속 연구가 이루어져야 할 것이다.

CONFLICT OF INTEREST

논문 작성에 있어서 어떠한 조직으로부터 재정을 포함한 일체의 지원을 받지 않았으며 논문에 영향을 미칠 수 있는 어떠한 관계도 없음을 밝힌다.

AUTHOR CONTRIBUTION

Conceptualization: S. Ha & I. Lee, Data curation: S. Ha, H. G. Jeon, & I. Lee, Formal analysis: S. Ha & H. G. Jeon, Methodology: S. Ha & I. Lee, Projectadministration: S. Ha & I. Lee, Visualization: H. G. Jeon, Writing-original draft: S. Ha, Writing-review & editing: S. Ha & I. Lee

참고문헌

- Brink, M. S., Visscher, C., Arends, S., Zwerver, J., Post, W. J., & Lemmink, K. A. (2010). Monitoring stress and recovery: New insights for the prevention of injuries and illnesses in elite youth soccer players. *British Journal of Sports Medicine*, 44(11), 809-815.
- Brown, M., Buchheit, M., Lacombe, M., Hader, K., & Guilhem, G. (2023). Correlations between hamstring muscle architecture, maturation, and anthropometric measures in academy soccer players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 18(6), 615-624.
- Chun, D., Kim, S. J., Kim, Y. H., Suh, J., & Kim, J. (2024). The estimation of pubertal growth spurt parameters using the superimposition by translation and rotation model in Korean children and adolescents: A longitudinal cohort study. *Frontiers in Pediatrics*, 12, 1372013.
- DiStefano, L. J., Martinez, J. C., Crowley, E., Matteau, E., Kerner, M. S., Boling, M. C., ... & Trojian, T. H. (2015). Maturation and sex differences in neuromuscular characteristics of youth athletes. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 29(9), 2465-2473.
- Dominguez, M., Rico, J. P., Tedesco, F., & Tondelli, E. (2025). Injury incidence, prevalence, and burden in an Argentinian male youth soccer academy: One-season descriptive study. *The Physician and Sportsmedicine*, 53(2), 138-146.
- Ford, K. R., Myer, G. D., & Hewett, T. E. (2010). Longitudinal effects of maturation on lower extremity joint stiffness in adolescent athletes. *The American Journal of Sports Medicine*, 38(9), 1829-1837.
- Fuller, C. W., Ekstrand, J., Junge, A., Andersen, T. E., Bahr, R., Dvorak, J., ... & Meeuwisse, W. H. (2006). Consensus statement on injury definitions and data collection procedures in studies of football (soccer) injuries. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 16(2), 83-92.
- Granados, A., Gebremariam, A., & Lee, J. M. (2015). Relationship between timing of peak height velocity and pubertal staging in boys and girls. *Journal of Clinical Research in Pediatric Endocrinology*, 7(3), 235-237.
- Holden, S., Olesen, J. L., Winiarski, L. M., Krommes, K., Thorborg, K., Hölmich, P., & Rathleff, M. S. (2021). Is the prognosis of Osgood-Schlatter poorer than anticipated? A prospective cohort study with 24-month follow-up. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine*, 9(8), 23259671211022239.
- International Olympic Committee Injury and Illness Epidemiology Consensus Group, Bahr, R., Clarsen, B., Derman, W., Dvorak, J., Emery, C. A., ... & Chamari, K. (2020). International Olympic Committee consensus statement: Methods for recording and reporting of epidemiological data on injury and illness in sports 2020 (including the STROBE extension for sports injury and illness surveillance (STROBE-SIIS)). *Orthopaedic Journal of Sports Medicine*, 8(2), 2325967120902908.
- John, C., Rahlf, A. L., Hamacher, D., & Zech, A. (2019). Influence of biological maturity on static and dynamic postural control among male youth soccer players. *Gait & Posture*, 68, 18-22.
- Johnson, D. M., Williams, S., Bradley, B., Sayer, S., Murray Fisher, J., & Cumming, S. (2020). Growing pains: Maturity associated variation in injury risk in academy football. *European Journal of Sport Science*, 20(4), 544-552.
- Kim, T.-S., Oh, K.-M., & Kim, S.-H. (2013). The analysis of sports injury on pre-season training in middle and high school soccer players. *Korean Society for the Study of Physical Education*, 18(2), 239-247.
- Knowles, S. B., Marshall, S. W., & Guskiewicz, K. M. (2006). Issues in estimating risks and rates in sports injury research. *Journal of Athletic Training*, 41(2), 207-215.
- Lee, I., & Ha, S. (2023). Epidemiology of lateral ankle sprains in Korean youth football players: A prospective cohort study. *The Korean Journal of Sport*, 21(1), 793-801.
- Lee, I., Jeon, H., Jeong, H. S., Kang, T. K., & Lee, S. Y. (2020). An epidemiology study of ankle sprains in youth soccer. *Journal of Sport and Leisure Studies*, 82, 425-432.
- Lee, I., Jeong, H. S., & Lee, S. Y. (2020). Injury profiles in Korean youth soccer. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(14), 5125.
- Maffulli, N., & Bruns, W. (2000). Injuries in young athletes. *European Journal of Pediatrics*, 159(1), 59-63.
- Malina, R. M., Coelho-e-Silva, M. J., Martinho, D. V., Sousa-e-Siva, P., Figueiredo, A. J., Cumming, S. P., ... & Koziel, S. M. (2021). Observed and predicted ages at peak height velocity in soccer players. *Plos One*, 16(7), e0254659.
- Malina, R. M., Eisenmann, J. C., Cumming, S. P., Ribeiro, B., & Aroso, J. (2004). Maturity-associated variation in the growth and functional capacities of youth football (soccer) players 13-15 years. *European Journal of Applied Physiology*, 91(5), 555-562.
- Malina, R. M., Rogol, A. D., Cumming, S. P., Coelho e Silva, M. J., & Figueiredo, A. J. (2015). Biological maturation of youth athletes: assessment and implications. *British Journal of Sports Medicine*, 49(13), 852-859.
- Pakarinen, O., Ponkilainen, V. T., & Kuitunen, I. (2025). Association of peak height velocity and skeletal maturity to injury incidence in male elite adolescent football (soccer) players—A systematic review. *Health Science Reports*, 8(7), e71096.
- Patel, D. R., & Villalobos, A. (2017). Evaluation and management of knee pain in young athletes: Overuse injuries of the knee. *Translational Pediatrics*, 6(3), 190-198.
- Quatman-Yates, C. C., Quatman, C. E., Meszaros, A. J., Paterno, M. V., & Hewett, T. E. (2012). A systematic review of sensorimotor function during adolescence: A developmental stage of increased motor awkwardness?. *British Journal of Sports Medicine*, 46(9), 649-655.
- Read, P. J., Oliver, J. L., Croix, M. B. D. S., Myer, G. D., & Lloyd, R.

- S. (2016).** Assessment of injury risk factors in male youth soccer players. *Strength & Conditioning Journal*, 38(1), 12-21.
- Spagnoli, A., Spadoni, G. L., & Boscherini, B. (1996).** Preliminary validation of a prediction model for the short-term growth response to growth hormone therapy in children with idiopathic short stature. *Acta Paediatrica Supplement*, 85(417), 66-68.
- Teixeira, J. E., Forte, P., Ferraz, R., Leal, M., Ribeiro, J., Silva, A. J., Barbosa, T. M., & Monteiro, A. M. (2021).** Monitoring accumulated training and match load in football: A systematic review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(8), 3906.
- Tillmann, V., & Clayton, P. E. (2001).** Diurnal variation in height and the reliability of height measurements using stretched and unstretched techniques in the evaluation of short-term growth. *Annals of Human Biology*, 28(2), 195-206.
- The Jamovi Project. (2024).** *Jamovi* (Version 2.6) [Computer Software].

한국 남자 청소년 축구선수의 성장 속도와 스포츠 손상: 전향적 코호트 연구

하성희¹, 전형규², 이인제^{3*}

¹경일대학교 스포츠재활의학과, 조교수

²동국대학교 스포츠과학융합연구소, 연구초빙교수

³경일대학교 스포츠재활의학과, 조교수

*교신저자: 이인제(injeelee@kiu.kr)

[목적] 본 연구는 한국 남성 청소년 축구선수를 대상으로 성장 속도(peak height velocity, PHV)에 따른 한 시즌의 스포츠 손상 발생률과 병역학적 특성을 전향적으로 규명하고, 성숙도와 활동 유형 간의 상호작용이 세부 손상 양상에 미치는 영향을 분석하는 데 목적이 있다.

[방법] 중학교 축구부 선수 70명을 대상으로 전향적 코호트 연구를 수행하였다. 6개월간의 신장 증가 속도를 기준으로 대상자를 PHV 근접(Circa-PHV; n=43)과 PHV 이후(Post-PHV; n=27) 집단으로 분류하였다. IOC 손상 감시 가이드라인에 따라 신체 계측 정보, 노출 시간(훈련 및 경기), 모든 근골격계 손상 데이터를 수집하였다. 손상 발생률(1,000 AE당 발생 건수)과 상대적 위험도는 포아송 회귀분석 및 기술 통계를 사용하여 분석하였다.

[결과] 한 시즌 동안 총 125건의 손상이 기록되었다. 포아송 회귀분석 결과, 전체 손상 발생률에 대한 성숙도 단계의 주효과는 통계적으로 유의하지 않았다($p=.944$). 그러나 비접촉 손상에서 성숙도 단계와 활동 유형 간의 유의한 상호작용 효과가 발견되었으며($p=.020$), 특히 Circa-PHV 집단은 경기 중 가장 높은 발생률(84.39건/1,000 AE)을 보였다. 활동 유형에 따른 분석에서 경기는 훈련 대비 약 15.6배 높은 손상 위험($IRR=15.59$, 95% CI: 10.49-23.18, $p<.001$)을 수반하였다. 손상 종류의 경우, Post-PHV는 Circa-PHV에 비해 근 손상 위험이 약 2.5배 유의하게 높았다($IRR=2.46$, 95% CI: 1.09-5.53, $p=.029$).

[결론] PHV는 청소년 축구선수의 손상 위험과 양상을 결정짓는 핵심 지표이다. Circa-PHV는 고강도 경기 상황에서 비접촉 손상에 매우 취약한 시기이며, Post-PHV 단계는 근육 구조의 성숙에 따라 근 손상 위험이 증가하는 패턴의 전이가 나타난다. 따라서 선수의 안전과 경기력 관리를 위해 성숙도 기반의 부하 관리와 집단별 차별화된 예방 전략의 적용이 필수적이다.

주요어

생물학적 성숙도, 손상 역학, 청소년, 성숙도 오프셋, 노출시간

※ 이 논문은 2023년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (No. RS-2023-00244876).