외측광근의 근속 길이가 유소년 축구선수의 등속성 근력 및 동적 균형에 미치는 영향

진정두¹, 이호성²

¹단국대학교 스포츠과학대학원 스포츠의학과, ²단국대학교 일반대학원 운동의과학과

Effects of Vastus Lateralis Muscle Fascicle Length on Isokinetic Muscle Strength and Dynamic Balance in Youth Soccer Players

Jeong-Doo Jin¹, Ho-Seong Lee²

¹Department of Sports Medicine, Graduate School of Sports Science, Dankook University, Cheonan; ²Department of Kinesiological Medical Science, Graduate, Dankook University, Cheonan, Korea

PURPOSE: The purpose of this study was to determine the effect of vastus lateralis muscle fascicle length on isokinetic muscle strength and dynamic balance in youth soccer players.

METHODS: Fourteen youth soccer players were divided into long fascicle length group (LFG, n=7) and short fascicle length group (SFG, n=7) by fascicle length of vastus lateralis muscle using ultrasound imaging. And measurements of muscle thickness, fascicle pennation angle, and physiological cross-sectional area were taken at the same location. Additionally, maximal isokinetic strength of knee extensors was assessed at 60°/sec and 120°/sec and a Y-balance test was completed.

RESULTS: Fascicle length and ratio of fascicle length/lower limb length were significantly greater in LFG than that in SFG ($p<.001$). Fascicle pennation angle ($p<.01$) and physiological cross-sectional area ($p<.05$) were significantly greater in SFG than that in LFG. The isokinetic maximal strength of knee extensors at 120°/sec was significantly greater in SFG than that in LFG ($p<.05$). The composite score of Y-balance was significantly greater in SFG than that in LFG ($p<.05$).

CONCLUSIONS: Our results show differences in architectural characteristics of the vastus lateralis. Further, the maximal isokinetic strength of knee extensors at 120°/sec and the ability of dynamic balance were greater in short vastus lateralis fascicle length of youth soccer players.

Key words: Vastus lateralis, Fascicle length, Isokinetic strength, Dynamic balance, Youth soccer players

서론

근육의 두께(muscle thickness), 단면적(cross sectional area, CSA) 및 근속 각도(pennation angle) 등의 근육의 구조적 특성과 축구 등의 종목 특성과의 관련성을 검토한 연구에 의하면, 우수 청소년 남자 축구 선수를 대상으로 4-15 RM의 2-4세트, 주 3회의 8주간에 걸쳐서 하지

근력운동을 실시한 후에 초음파 영상(ultrasound imaging)을 통해 근육의 두께를 분석한 결과, 내측광근(vastus medialis)의 두께가 현저하게 높게 나타났다고 보고하였다[1]. Kubo et al. [2]은 남자 프로축구 선수와 유소년 축구선수를 대상으로 주측 하지(dominant leg) 및 비주측 하지(non-dominant leg)의 대퇴사두근(quadriceps femoris), 슬와부근육(hamstring muscles) 및 내전근(adductor muscles)의 CSA를 자기공명

Corresponding author: Ho-Seong Lee Tel +82-41-550-3838 Fax +82-41-559-7915 E-mail hoseh28@dankook.ac.kr

Keywords 외측광근, 근속길이, 등속성 근력, 동적균형, 유소년 축구선수

Received 29 Aug 2019 **Revised** 11 Oct 2019 **Accepted** 25 Oct 2019

© 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.

영상(magnetic resonance imaging, MRI)으로 각각 비교한 결과, 양측 하지의 CSA는 유의한 차이가 나타나지 않았다고 보고하였으며, Masuda et al. [3]의 연구에서도 대학 축구선수의 주측 및 비주측 하지의 대퇴사두근, 슬와부근육, 내전근, 대둔근(gluteus maximus) 및 장요근(iliopsoas)의 CSA를 비교한 결과, 유의한 차이가 나타나지 않았다고 보고하였다. 하지만 Kearns et al. [4]은 유소년 축구선수를 대상으로 주측 및 비주측 비복근 내측두(medial gastrocnemius)의 근육 두께를 분석한 결과, 비주측과 비교해서 주측에서 유의하게 높게 나타났다고 하면서, 주측 다리의 근육 길이(fascicle length)도 길게 나타났다고 보고하였다. 또한 성인 축구선수와 유소년 축구선수의 대퇴근육의 CSA를 분석한 결과, 대퇴사두근 CSA의 비율은 성인 축구선수와 비교해서 유소년 축구선수가 높게 나타났고, 반면에 슬와부근육과 내전근 CSA의 비율은 유소년 축구선수와 비교해서 성인 축구선수에서 보다 높게 나타났다고 보고하였다[5,6]. 따라서 축구 훈련은 슬와부근육과 내전근의 성장을 보다 발달시키는 것으로 생각된다.

특히, 골격근의 근육 길이는 근육의 천견막(superficial aponeurosis)과 심견막(deep aponeurosis) 사이에 근육(muscle fascicle)이 교차하는 길이로 근육의 최고단축속도(maximal shortening velocity)와 관련이 있으며[7], 유소년 축구선수의 외측광근(vastus lateralis)은 슈팅 시 장요근과 함께 최고 구속(maximal ball velocity)을 결정하는 근육이기 때문에 외측광근의 근육 길이는 슈팅 능력을 예측할 수 있을 가능성이 있다고 생각된다. 또한 근육 길이는 신장성 운동(eccentric exercise)에 의해 근섬유가 신장(stretch)하여 직렬 근절(sarcomere in series)이 증가한다고 알려져 있으며[8], 근육 각도는 근육의 해부학적 단면적(anatomical CSA), 즉 근육 각도가 작을수록 수축 속도가 빨라져서 힘 전달(force transmission)손실이 감소하는 것으로 보고하였다[9]. Baroni et al. [10]은 남자 대학생 20명을 대상으로 등속성 동력계(isokinetic dynamometer)를 이용하여 12주간의 슬관절 신전근의 신장성 운동(knee extensor eccentric training)을 실시한 후에 외측광근과 대퇴직근(rectus femoris)의 구조적 특성을 초음파 영상을 통해 관찰한 결과, 근육 두께는 약 7-10% 정도, 근육 길이는 약 17-19% 정도로 증가하는 것으로 나타났다. 근육 각도는 변하지 않았다고 보고하였다. 또한, 근육의 구조적 특성과 등속성 근력과 관련성을 분석한 선행연구에서는 24명의 남자 대학 운동선수의 요근(psoas muscles)의 단면적 크기가 각속도 240°/sec에서 고관절 굴곡 근력과 상관계수가 가장 높은 것으로 보고하였다[11]. Reeves & Narici [12]는 남녀 성인 8명을 대상으로 전경골근(tibialis anterior)의 구조적 특성과 등속성 단축성 근력(isokinetic concentric strength)과의 관련성을 검토한 결과, 근육 길이가 길수록 각속도는 증가하였으며, 근육 각도가 클수록 각속도는 감소하였다고 보고하였다. 특히, 균일한 근육의 구조적 특성 및 대퇴의 얇은 부분에 위치하고 있는 외측광근은 초음파 영상 측정이 용이하여 근육의 구조적

특성을 명확하게 확인할 수 있다고 보고하였다[13]. 하지만 성장기의 유소년 축구선수를 대상으로 외측광근의 구조적 특성, 특히 근육 길이에 따라 등속성 근력의 차이를 검토한 연구는 찾아보기 힘든 실정이다. 아울러 축구선수는 주로 외발 자세(unipedal posture)로 슈팅 및 패스 등의 동작을 수행하기 때문에 편측 하지의 균형 능력이 중요하며 [14], 일반인과 비교하여 편측 하지의 균형을 유지하는 능력이 높다고 보고되고 있다[15]. 특히, 성장기 축구선수는 경기 중에 움직임에 따른 자세 조절(postural control)과 신경근 조절(neuromuscular control) 등의 동적 균형(dynamic balance)이 경기력 향상 및 부상 예방에 매우 중요하다고 보고되고 있다[16]. 이에 이 연구에서는 성장기의 유소년 축구선수를 대상으로 외측광근의 근육 길이에 따라 동적 균형에 어떠한 차이가 있는지를 검토하고자 하였다. 따라서 이 연구에서는 유소년 축구선수를 대상으로 외측광근의 근육 길이에 따라 등속성 근력 및 동적 균형에 차이가 나타날 것이라는 가설을 검증하는 데 그 목적이 있다.

연구 방법

1. 연구 대상

이 연구의 대상자는 C지역 소재 C축구센터 유소년 축구 클럽에 참가하고 있는 초등학교 6학년으로 축구 경력이 1일 2시간, 주 5회 및 1년 이상 참여하고 있는 축구선수 14명을 선정할 후 초음파 영상을 통해 측정된 외측광근의 근육 길이를 기준으로 상위 50%의 근육 길이가 긴 집단(longer fascicle length group, LFG; n=7) 및 하위 50%의 근육 길이가 짧은 집단(shorter fascicle length group, SFG; n=7)으로 분류하였다[3]. 모든 대상자와 보호자에게 연구의 취지 및 내용을 상세히 설명한 후 참가 동의를 얻었다. 실험 전 대상자의 건강 및 병력 상태를 확인하여 실험 진행에 제한이 있는 대상자는 제외하였다. 대상자의 신체적 특성은 Table 1과 같다.

2. 연구 절차

이 연구에 참여한 모든 대상자는 외측광근의 구조적 특성(근육 두께, 근육 각도 및 근육 길이), 등속성 근력 및 동적 균형을 다음과 같은 순서로 측정하였다. 먼저, 1일차에는 신체 조성을 측정한 후 초음파를 이용하여 외측광근의 두께와 근육 각도를 직접 측정하였으며, 근육 길이는 삼각형 빗변 공식(Fascicle length = Muscle thickness/Sin (Pennation angle))을 사용하였다. 7일간의 휴식을 취한 후에 2일차에는 등속성 근력(60°/sec, 120°/sec)을 측정하였고, 재차 7일간의 휴식 후에 3일차에는 동적 균형(Y-Balance) 및 하지 길이를 측정하였다.

3. 신체 조성

신체 조성은 체성분 측정기(Inbody 770, Korea)를 사용하여 체중, 체

Table 1. Physical characteristics of the subjects

Group (n)	Height (cm)	Weight (kg)	BFP (%)	SMM (kg)	BMI (kg/m ²)	Fascicle length (cm)
LFG (7)	153.19±4.02	44.19±6.43	16.31±3.75	19.79±2.17	18.76±2.02	7.40±0.72
SFG (7)	149.69±6.17	46.06±7.71	19.70±4.89	19.97±3.52	20.46±2.24	5.15±0.29

Values are means and SD.

BFP, Body fat percent; SMM, Skeletal muscle mass; BMI, Body mass index.

Fig. 1. Architectural characteristics of vastus lateralis at full extension of knee joint. (A) Ultrasound image in sagittal plane using linear array transducer B-mode 5 MHz, SA: superficial aponeurosis, DA: deep aponeurosis, FL: fascicle length, PA: pennation angle (θ), MT: muscle thickness. The arrowless yellow line indicates partial muscle fascicle. (B) Mimetic diagram of ultrasound image. The dotted lines indicate muscle fascicles.

지방률, 골격근량 및 신체질량지수를 측정 및 산출하였다. 대상자는 간편한 복장으로 전해질 티슈를 이용하여 손바닥과 발바닥을 깨끗이 닦은 후 발 전극을 정확히 붙고, 손 전극을 왼 후 겨드랑이가 닿지 않게 양팔을 30° 정도 넓힌 자세에서 측정하였다. 측정의 오차를 최소화 하기 위해 측정 4시간 이전에 식사 및 음료의 섭취를 제한하였고 측정 12시간 내의 격렬한 신체활동을 제한하였다.

4. 초음파 영상

외측광근의 구조적 특성은 초음파 영상 시스템(EPIQ 7G, Philips, USA)을 이용하여 측정하였다. 먼저 실험대상자가 측정 침대에 바로 누운 상태(supine position)에서 무릎을 해부학적 자세(0°)로 만든 후 외측광근의 초음파 영상을 촬영하였다[17]. 실험 전에는 알코올 솜으로 피부 위를 소독한 후 잉크 펜으로 근육의 위치를 피부에 표시하였으며, 외측광근은 대퇴골 대전자(greater trochanter of femur)와 대퇴골 외측상과염(lateral epicondyle of femur) 사이 거리의 먼쪽 30% 지점에서 측정하였다. B-mode 5 MHz 선형탐촉자(linear-array transducer)에 투과젤(Aquasonic® 100, Parker Laboratories, Fairfield, NJ, USA)을 발라서 피부에 압력을 가하지 않고 초음파가 피부층을 통과할 수 있도록 하였다[18]. 탐촉자를 피부에 수직으로 위치시킨 후 근육의 시상면(sagittal plane) 및 횡단면(transverse plane)의 영상을 촬영하여 저장하였다[19]. 저장된 초음파 영상은 의료영상정보저장 소프트웨어(ViewRex, TechHeim, Seoul, Korea)를 이용하여 확인하였으며, 근육 두께 및 근육 각도는 시스템에 내재된 계측 프로그램을 이용하여 측정하였다.

5. 근육의 구조적 특성

이 연구에서 의료영상정보저장 소프트웨어 내의 측정 프로그램을 이용하여 초음파 영상으로 촬영한 외측광근의 두께와 근육 각도를 측정하였다. 근육 길이는 근육이 천건막에서 심건막까지 교차한 거리이며, 근육 두께는 근육의 천건막과 심건막 사이의 수직거리이다. 근육 각도는 근육이 심건막에 닿는 각도로 정의하였다(Fig. 1). 외측광근의 근육 길이가 대부분 탐촉자의 가로 길이보다 길기 때문에 전체 길이가 영상에 나타나지 않는 이유로 Ema et al. [20]은 선형 외삽법(linear extrapolation)을 사용하여 길이를 측정하였고, 이 연구에서는 Alegre et al. [21]의 삼각함수법을 이용하여 근육 길이를 측정하였으며, 그 공식은 다음과 같다.

$$\text{Fascicle length} = \text{Muscle thickness} / \sin(\text{Pennation angle})$$

근육의 단면적에는 해부학적 및 생리적 단면적(physiological CSA, PCSA)이 있으며, 이 연구에서는 위와 같은 탐촉자의 가로 길이의 제한으로 인해 해부학적 단면적을 측정할 수 없는 관계로 선행연구에서 사용된 생리적 단면적의 지표 공식을 사용하였으며, 그 공식은 다음과 같다[22].

$$\text{PCSA Index} = \text{Muscle thickness}^2 / \text{Fascicle length}$$

근육은 대부분 직선 형태였으나 형태에 따라서 완만한 곡선(fascicle curvature)을 형성하기도 하였다. 이 연구에서는 곡선의 길이 중 직선에 가까운 부분에 접선(tangent line)을 형성하여 그 접선이 심건막에

닿는 근육의 각도를 측정하였다.

6. 등속성 근력

이 연구에서 등속성 근력은 등속성 장비(Primus RS, BTE Tech, USA)를 사용하였으며, 수축 모드(concentric mode)로 주축 하지 슬관절 신전근의 근력을 측정하였다. 대상자가 실험 의자에 앉은 자세에서 동력계는 지면과 평행하게 하여 회전축과 대퇴골 외측상과염(lateral epicondyle of femur)을 일치시켰으며, 어댑터의 조정 축 거리를 비골(fibula)과 일치하게 조정한 후 가동범위를 설정하여 측정하였다. 부하 각속도는 60°/sec에서 3회, 120°/sec에서 3회 중 최대 등속성 근력을 측정하였다[23,24]. 1회 측정 시마다 1분간의 휴식시간을 제공하였으며, 다음 각속도를 측정하기 전 3분간 휴식을 취하였다[23]. 실험대상자의 최대 등속성 근력을 발휘하기 위하여 등속성 운동 시 연구자의 성량을 크게 하여 청각적 자극을 주었다.

7. 동적 균형

이 연구에서 동적 균형은 동적 균형 측정 키트(Y-Balance Test Kit, FMS, USA)를 사용하여 측정하였다. 비주축 하지 발로 균형을 유지하면서 주축 하지가 이동한 앞쪽(anterior), 뒤안쪽(posteromedial) 및 뒤가쪽(posterolateral)의 3가지 방향의 측정값을 종합점수(composite score)로 산출하였다. 동적 균형은 방향마다 2회를 실시 후에 최댓값을 기록하였으며, 균형을 잃어서 발이 바닥에 닿거나 시작 자세로 돌아오지 못하는 경우는 실패로 판단하여 재측정을 실행하였다. 또한, 3가지 방향에서 측정된 기록의 합을 측정 하지 길이에 3을 곱한 값으로 나눈 후 100을 곱하여 종합점수를 산출하였으며[25], 하지 길이는 대상자가 실험 침대 위에 바로 누운 상태에서 실험용 줄자를 이용하여 전상장골극(anterior superior iliac spine, ASIS)에서 비골 내과(medial malleolus of tibia)까지의 길이를 측정하였다[26].

8. 자료 처리

이 연구서 수집된 모든 자료는 SPSS WIN Ver. 25.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA)을 이용하여 기술 통계치를 산출하였다. 연구 가설을 통계학적으로 검정 및 비교 분석하기 위하여 독립표본 *t*-검정(independent *t*-test)을 실시하였다. 통계적 유의 수준은 $\alpha=.05$ 로 설정하였다.

연구 결과

1. 외측광근의 구조적 특성

외측광근의 구조적 특성은 Table 2에 제시된 바와 같다. 외측광근의 근육 길이 및 근육 길이/하지 길이의 비율은 SFG와 비교해서 LFG에서 유의하게 높은 것으로 나타났다($p<.001$). 또한, 근육 각도($p<.01$) 및

Table 2. Architectural characteristics of vastus lateralis

Variables	LFG	SFG	<i>t</i>	<i>p</i>
Fascicle length (cm)	7.40±0.72	5.15±0.29	7.672	.000***
Fascicle length/LLL (%)	9.18±0.71	6.68±0.23	8.879	.000***
Muscle thickness (cm)	2.01±0.24	1.97±0.25	.303	.767
Muscle thickness/LLL (%)	2.49±0.29	2.55±0.26	-.398	.697
Fascicle angle (°)	15.91±2.77	22.50±2.72	-4.488	.001**
PCSA (index)	0.56±0.15	0.76±0.18	-2.265	.043*

Values are means and SD.

LLL, Lower limb length; PCSA, Physiological cross-sectional area.

* $p<.05$, ** $p<.01$, *** $p<.001$.

Table 3. Difference of isokinetic muscle strength

Angular velocity	LFG (Nm)	SFG (Nm)	<i>t</i>	<i>p</i>
60 (°/sec)	545.44±75.17	638.77±113.43	-1.815	.095
120 (°/sec)	440.21±100.50	569.56±117.74	-2.211	.047*

Values are means and SD.

* $p<.05$.

Table 4. Difference of dynamic balance

Direction	LFG	SFG	<i>t</i>	<i>p</i>
Anterior (cm)	49.81±5.91	52.40±7.77	-.701	.497
Posteromedial (cm)	65.94±4.85	69.14±4.96	-1.220	.246
Posterolateral (cm)	62.56±6.50	64.84±5.85	-.692	.502
Composite score	73.89±5.55	81.01±3.83	-2.795	.016*

Values are means and SD.

* $p<.05$.

생리적 단면적($p<.05$)은 LFG와 비교해서 SFG에서 유의하게 높은 것으로 나타났다. 하지만 근육 두께 및 근육 두께/하지 길이의 비율은 집단 간에 통계학적으로 유의한 차이가 나타나지 않았다.

2. 등속성 근력

등속성 근력의 차이는 Table 3에 제시된 바와 같다. 각속도 120°/sec의 슬관절 신전 동작에서 등속성 근력은 LFG와 비교해서 SFG에서 유의하게 높은 것으로 나타났다($p<.05$). 하지만 각속도 60°/sec의 슬관절 신전 동작에서 등속성 근력은 집단 간에 통계학적으로 유의한 차이가 나타나지 않았다.

3. 동적 균형

동적 균형의 차이는 Table 4에 제시된 바와 같다. 동적 균형의 종합점수는 LFG와 비교해서 SFG에서 유의하게 높은 것으로 나타났다($p<.05$). 하지만 모든 방향의 점수는 집단 간에 통계학적으로 유의한 차이가 나타나지 않았다.

논 의

이 연구에서는 외측광근의 근속 길이가 유소년 축구선수의 등속성 근력 및 동적 균형에 어떠한 영향을 미치는가를 분석한 결과, 외측광근의 근속 길이 및 근속 길이/하지 길이의 비율은 근속 길이가 긴 집단(LFG)에서, 반면에 근속 각도 및 생리적 단면적은 근속 길이가 짧은 집단(SFG)에서 각각 유의하게 높게 나타났다. 또한, 각속도 120°/sec의 슬관절 신전 동작에서 등속성 근력과 동적 균형의 종합 점수는 LFG와 비교해서 SFG에서 유의하게 높게 나타났다. 따라서 이 연구에서 유소년 축구선수는 외측광근의 구조적 특성이 다르게 나타났으며, 특히 외측광근의 근속 길이가 짧은 집단의 유소년 축구선수는 등속성 근력 및 동적 균형이 높게 나타나는 것으로 확인하였다.

서론에서 언급한 것처럼, 골격근의 구조적 특성은 근육의 기능을 결정하는 중요한 요소이다[4]. 일반적으로 근속 길이는 근육이 천전막에서 심전막까지 교차한 거리로 직렬 근절과 정(+)의 상관관계를 나타내며, 근절의 이동 범위가 3.65 μ m 보다 커지면 액틴(actin)과 미오신(myosin)은 접촉하지 못하게 되어 근력을 발생할 수 없게 되고, 근절이 비정상적으로 신장하는 것을 막기 위해 직렬 근절 수가 증가하며[27], 근단축 속도 및 힘 생성(power output)에 중요한 역할을 한다고 보고되고 있다[4]. 선행연구에 의하면, 유소년 축구선수의 비복근 내측두의 근속 길이가 비측측과 비교해서 주측에서 유의하게 높게 나타났으며, 근속 길이는 훈련으로 인해 영향을 받을 수 있다고 하였고[28], 저항 운동에 의해 근육의 유의한 구조적 적응 현상은 약 12주 정도가 걸리는 것으로 보고하였다[29]. 또한, 하지 근육의 근속 길이는 우수 마라톤 선수와 비교해서 우수 단거리 육상 선수에서 유의하게 높게 나타났다고 보고하였으며[28], Fukutani & Kurihara [30]는 16명의 국가대표 급 운동선수와 11명의 일반인을 대상으로 외측광근의 근속 길이를 분석한 결과, 유의한 차이가 나타나지 않았다고 보고하였으며, Abe et al. [28]은 단거리 육상 선수는 훈련 등의 외적 환경 인자(environmental factor)보다는 유전적 인자(genetic factor)가 보다 영향을 크게 받는다고 보고하였다. Secobm et al. [31]의 연구에 의하면, 평균 연령 14.80세의 남녀 유소년 운동선수 30명을 대상으로 외측광근의 근속 길이를 분석한 결과, 평균 7.14 cm로 나타났다고 보고하였다. 이 연구에서 유소년 축구선수의 외측광근의 근속 길이는 SFG (평균 5.15 cm)와 비교해서 LFG (평균 7.40 cm)에서 유의하게 높게 나타났다. 따라서 이 연구에서 유소년 축구선수는 외측광근의 근속 길이가 다르게 나타난다는 사실을 확인하였다.

일반적으로 근속 길이/하지 길이의 비율의 상대적인 값은 근속 길이의 상대적인 발달 정도를 예측하는 데 사용된다고 보고하였다[32]. 선행연구에 의하면, 성인 남녀 62명을 대상으로 외측광근의 근속 길이/하지 길이의 비율을 분석한 결과, 남자는 평균 22.00%로 나타났다고

하였으며[21], Brechue & Abe [33]는 20명의 성인 남자 운동선수의 외측광근의 근속 길이/하지 길이의 비율은 평균 17.00-21.00%로 나타났다고 보고하였다. 이 연구에서 유소년 축구선수를 대상으로 근속 길이/하지 길이의 비율은 SFG (평균 6.68%)와 비교해서 LFG (평균 9.18%)에서 유의하게 높은 것으로 나타났다. 따라서 유소년 축구선수는 근속 길이/하지 길이의 비율이 현재보다 약 2-3배 정도 발달할 가능성이 있을 것으로 생각된다.

Abe et al. [28]의 연구에 의하면, 근육 두께는 천전막과 심전막 사이의 수직 거리로서 근력과 밀접한 관련성이 있으며, 성인의 근육 크기 및 하지 길이와 유의한 경향의 상관성이 있다고 하였고, 근속 길이와 정(+)의 상관관계가 나타났다고 보고하였다. 또한, Secomb et al. [31]은 남녀 유소년 운동선수 30명을 대상으로 외측광근의 두께를 분석한 결과, 평균 2.08 cm로 나타났다고 보고하면서, 외측광근의 두께는 성인의 하지 근력 및 파워를 증가시킨다고 보고하였다. 이 연구에서 외측광근의 두께는 LFG에서 평균 2.01 cm 및 SFG에서 평균 1.97 cm로 집단 간에 통계학적으로 유의한 차이가 나타나지 않았다. 아울러 Alegre et al. [21]은 성인 남녀 62명을 대상으로 외측광근의 두께를 분석한 결과, 남자에서 평균 2.30 cm로 나타났으며, Reeves et al. [8]은 성인 남녀 9명을 대상으로 외측광근의 두께를 분석한 결과, 1.80 cm로 나타났다고 보고하였다. Zaras et al. [34]은 폭발적인 근력운동을 한 집단만이 외측광근의 두께가 증가하였다고 보고하였으며, Spinetti et al. [1]은 20세 이하의 남자 청소년 축구선수 22명을 대상으로 복합 운동을 실시한 결과, 외측광근의 두께는 운동 전후로 유의한 차이가 나타나지 않았다고 보고하였다. 따라서 유소년 축구선수의 외측광근의 두께는 성장 및 훈련 지표로 활용하기 어려울 가능성이 있다고 생각된다.

Alegre et al. [21]의 연구에 의하면, 근육 두께/하지 길이의 비율은 근육 크기의 상대적 값이라고 하면서, 성인 남녀 62명을 대상으로 외측광근 두께/하지 길이의 비율을 분석한 결과, 남자는 평균 6.00%로 나타났다고 보고하였다. 이 연구에서 외측광근 두께/하지 길이의 비율은 LFG에서 평균 2.49% 및 SFG에서 평균 2.55%로 집단 간에 통계학적으로 유의한 차이가 나타나지 않았다. 따라서 성인을 대상으로 분석한 선행연구와 비교해서 유소년 축구선수는 외측광근 두께/하지 길이의 비율이 현재보다 약 2배 정도 발달할 가능성이 있을 것으로 생각된다.

한편, 근속 각도는 근육이 심전막에 닿는 각도이며, 근속 각도가 커질수록 힘 전달의 효율(efficiency)이 저하한다고 보고하였다[35]. 또한, 근속 각도의 증가는 근비대(muscle hypertrophy)와 관련이 있으며, 건막(tendon aponeurosis)을 따라 수축 성분(contractile material)을 많이 포함하고, 병렬 근속 수가 증가하여[8] 동일한 근육량을 가진 힘줄에 더 큰 벡터 힘(vector force)을 부과하는 것으로 알려져 있다[36]. Reeves et al. [8]은 성인을 대상으로 단축성 수축운동 및 신장성 수축운동을 실시하여 근속 각도의 변화를 분석한 결과, 근속 각도는 신장성 수축

운동과 비교해서 단축성 수축운동에서 유의하게 증가하였다고 보고 하면서, 신장성 수축운동에 가한 기계적 스트레스(mechanical stress)의 절대량이 훨씬 많았음에도 불구하고 단축성 수축운동에서 근육 각도가 증가한 것은 병렬 근육의 증가로 인해 대사 스트레스(metabolic stress)가 영향을 미쳤기 때문이라고 보고하였다. 또한, 남녀 청소년 운동선수 30명을 대상으로 외측광근의 근육 각도를 분석한 결과, 평균 17.27°로 나타났으며, 이는 최대 근력(maximal muscle force)의 생성과 관련이 있는 것으로 보고하였다[31]. 이 연구에서 근육 각도는 LFG (평균 15.91°)와 비교해서 SFG (평균 22.50°)에서 유의하게 높은 것으로 나타났다. Kumagai et al. [37]은 운동 수행력의 변화는 근육 길이의 증가 및 근육 각도의 감소와 관련이 있는 것으로 보고하였으며, 각기 다른 저항성 운동에 의해 근육의 형태가 변화하여 긴 근육 길이를 가진 근육은 근단축 속도와 관련이 있으며, 짧은 근육 길이를 가진 근육은 생리적 단면적도 크기 때문에 보다 큰 근력을 생성한다고 보고하였다 [31]. 따라서 청소년 축구선수의 외측광근의 근육 각도는 근육 길이와 부(-)의 상관관계가 나타나는 것으로 생각된다.

일반적으로 생리적 단면적은 근육 사이의 수직 거리의 면적을 모두 더한 값으로서 근력은 생리적 단면적과 근육 각도가 높고 근육 길이가 낮은 근육에서 높게 생성된다고 보고하였다[37]. 또한 생리적 단면적은 저항 운동에 의해 증가하였다고 보고되고 있으며[30], Alegre et al. [21]의 연구에 의하면, 성인 남녀 62명을 대상으로 외측광근의 생리적 단면적을 분석한 결과, 외측광근의 생리적 단면적은 21-34%를 차지하였으며, 근육 각도와 지수분포(exponential relationship)를 나타냈다고 보고하였다. 아울러 Blazevich et al. [22]은 성인 남녀 31명을 대상으로 대퇴사두근의 구조적 특성을 분석한 결과, 외측광근의 생리적 단면적은 0.22 index로 가장 낮게 나타났으며, 근육량은 가장 높게 나타났다고 보고하였다. 이 연구에서 생리적 단면적은 LFG (평균 0.56 index)와 비교해서 SFG (평균 0.76 index)에서 유의하게 높게 나타났다. 이것은 외측광근과 같은 깃털 모양의 근육은 근육이 각도를 형성하고 있으며 건막에 부착되기 때문에 결과적으로 짧은 근육은 높은 근육 각도를 형성하게 되며 근육이 부착될 공간이 확장되고 병렬 근절이 증가하여 생리적 단면적이 큰 것으로 생각된다.

선행연구에 의하면, 골격근의 구조적 특성은 근육/관절의 회전력 발생 시스템과 힘/속도의 관계(force/velocity relationship)에 중요한 영향을 미친다고 하였으며[4], Kumagai et al. [37]은 근육 길이는 등속성 근력과 유의한 상관관계가 나타났다고 보고하였다. 또한, Abe et al. [28]은 근육의 구조적 특성이 동일하다는 전제하에서 상대적으로 긴 근육은 근절 사이의 단축 거리를 공유하며, 상대적으로 짧은 근육보다 낮은 속도로 작은 거리를 단축하여 근절 힘/속도 곡선에 부합한다고 보고하였다. Kearns et al. [4]은 청소년 축구선수에서 주축 하지의 긴 근육 길이는 주축 하지의 큰 근력과 관절 회전력(joint torque)을 생성할

수 있다고 보고하였으며, Burkholder et al. [38]은 실험용 생쥐 후지 근육의 구조적 특성을 분석한 결과, 근육 길이가 감소할수록 근력이 증가하였다고 보고하였다. Reeves et al. [8]은 성인을 대상으로 5 RM의 2 세트, 주 3회의 14주에 걸쳐서 슬관절 신전근의 등속성 신장성 수축운동(isokinetic eccentric contraction exercise) 및 등속성 단축성 수축운동(isokinetic concentric contraction exercise)이 외측광근의 근육 길이 및 등속성 근력에 미치는 영향을 분석한 결과, 근육 길이는 운동 전과 비교해서 운동 후에 약 20%와 약 8% 정도 각각 유의하게 높게 나타났으며, 등속성 신장성 근력은 운동 전과 비교해서 운동 후에 각속도에 따라 약 9-17% 정도 유의하게 높게 나타났고, 등속성 단축성 근력은 운동 전과 비교해서 운동 후에 각속도에 따라 약 22-27% 정도 유의하게 높게 나타났다고 보고하였다. 또한, 등속성 신장성 수축운동은 저항이 근섬유에 기계적 스트레스를 주어 신장시키고, 직렬 근절이 추가되는 근원성 반응(myogenic response)이 발생한다고 보고하였다[8]. 이 연구에서 각속도 120°/sec의 슬관절 신전근에서 등속성 근력은 LFG (평균 440.21 Nm)와 비교해서 SFG (평균 569.56 Nm)에서 유의하게 높게 나타난 것은 청소년 축구선수의 근육 두께가 집단 간에 유의한 차이가 나타나지 않았기 때문이며, 근육 각도 및 생리적 단면적은 LFG와 비교해서 SFG에서 유의하게 높게 나타났기 때문이라고 생각된다. Standing [39]의 연구에 의하면, 짧은 근육 길이는 생리적 단면적이 크고, 근육 각도가 높게 나타나서 근력이 높은 것으로 보고하면서, 생리적 단면적과 근육 각도는 근력과 밀접한 관련성이 있다고 추측하였다. 따라서 청소년 축구선수의 등속성 근력은 근육 길이와 관련이 있다고 생각된다. 하지만 생리적 단면적의 차이가 등속성 근력의 각속도에 어떠한 영향을 미치는가는 향후 연구가 필요하다고 생각된다.

이 연구에서 동적 균형은 외발로 균형을 유지하는 Y-Balance 검사를 사용하였으며, 축구선수는 킥킹, 패스의 중요 기술을 시행할 때 편측 하지로 균형을 유지하는 것이 중요하다고 보고하였다[40]. 동적 균형은 청소년 운동선수가 운동기술 습득, 운동능력 향상, 그리고 부상 방지에 중요하며[16], 축구선수는 균형을 유지할 때 무게 중심(center of gravity)의 진동수(frequency)와 시각 의존성이 낮아진다고 보고하였다 [41]. 이 연구에서는 외측광근의 종합점수는 LFG (평균 73.89점)와 비교해서 SFG (평균 81.01점)에서 유의하게 높게 나타났다. 균형 능력과 근육의 구조적 특성의 관계를 밝힌 선행연구에 의하면, 전경골근의 근육 길이는 직립 상태와 비교해서 줄어든 기저면(base of support)과 전방 기울임(active sway)상태에서 유의하게 증가하였으며[42], Onambele et al. [43]은 비복근 두께와 일렬 자세(tandem stance) 시 전후 방향의 압력 중심(center of pressure)의 이동거리가 유의한 상관관계를 가진다고 보고하였다. 일반적으로 Y-Balance 검사 시 발끝을 멀리까지 뻗기 위해서 슬관절을 단위 시간(t) 동안 최대 각도(full range of motion; °)로 신전시키기 때문에 등속성 근력이 높은 SFG에서 동적균형의 종합점

수가 높게 나타났다고 생각된다.

결론

이 연구에서는 외측광근의 근육 길이가 청소년 축구선수의 등속성 근력 및 동적 균형에 어떠한 영향을 미치는가를 분석한 결과, 외측광근의 근육 길이 및 근육 길이/하지 길이의 비율은 근육 길이가 짧은 집단(SFG)과 비교해서 긴 집단(LFG)에서 유의하게 높게 나타났으며, 근육 각도 및 생리적 단면적은 LFG와 비교해서 SFG에서 유의하게 높게 나타났다. 또한, 각속도 120°/sec의 슬관절 신전근 등속성 근력 및 동적 균형의 종합점수는 LFG와 비교해서 SFG에서 유의하게 높게 나타났다. 따라서 이 연구에서 청소년 축구선수는 외측광근의 구조적 특성이 다르게 나타났으며, 특히 외측광근의 근육 길이가 짧은 집단의 청소년 축구선수는 등속성 근력 및 동적 균형이 높게 나타나는 것으로 확인하였다. 향후 연구에서는 외측광근뿐만 아니라 하지 근육의 구조적 특성과 근력 등의 운동능력과 상관성을 보다 상세히 밝힐 필요가 있다고 생각된다.

CONFLICT OF INTEREST

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

REFERENCES

1. Spinetti J, Figueiredo T, Bastos De Oliveira V, Assis M, Fernandes De Oliveira L, et al. Comparison between traditional strength training and complex contrast training on repeated sprint ability and muscle architecture in elite soccer players. *J Sports Med Phys Fitness*. 2016; 56(11):1269-78.
2. Kubo T, Muramatsu M, Hoshikawa Y, Kanehisa H. Profiles of trunk and thigh muscularity in youth and professional soccer players. *J Strength Con Res*. 2010;24(6):1472-9.
3. Masuda K, Kikuhara N, Takahashi H, Yamanaka K. The relationship between muscle cross-sectional area and strength in various isokinetic movements among soccer players. *J Sports Sci*. 2003;21(10):851-8.
4. Kearns CF, Isokawa M, Abe T. Architectural characteristics of dominant leg muscles in junior soccer players. *Eur J Appl Physiol*. 2001;85(3): 240-3.
5. Hoshikawa Y, Iida T, Muramatsu M, Nakajima Y, Fukunaga T, et al. Differences in thigh muscularity and dynamic torque between junior and senior soccer players. *J Sports Sci*. 2009;27(2):129-38.
6. Kanehisa H, Ikegawa S, Tsunoda N, Fukunaga T. Strength and cross-sectional areas of reciprocal muscle: Groups in the upper arm and thigh during adolescence. *Int J Sports Med*. 1995;16(1):54-60.
7. Bodine SC, Roy RR, Meadows DA, Zernicke RF, Sacks RD, et al. Architectural, histochemical, and contractile characteristics of a unique biarticular muscle: The cat semitendinosus. *J Neurophysiol*. 1982;48(1): 192-201.
8. Reeves ND, Maganaris CN, Longo S, Narici MV. Differential adaptations to eccentric versus conventional resistance training in older humans. *Exp Physiol*. 2009;94(7):825-33.
9. Van Eijden TMGJ, Korfage JAM, Brugman P. Architecture of the human jaw-closing and jaw-opening muscles. *Anat Rec*. 1997;248(3):464-74.
10. Baroni BM, Geremia JM, Rodrigues R, Azevedo FR, Karamanidis K, et al. Muscle architecture adaptations to knee extensor eccentric training: Rectus femoris vs. vastus lateralis. *Muscle Nerve*. 2013;48(4):498-506.
11. Tsuyama K, Kobayashi T, Saito N, Kiyota H, Nakajima H. Peculiarity of muscle strength in the lower limbs of soccer players from the perspective of isokinetic muscle strength and MRI findings in comparison with those of archers. *J Phys Fit Sports Med*. 2007;56(2):223-32.
12. Reeves ND, Narici MV. Behavior of human muscle fascicles during shortening and lengthening contractions in vivo. *J Appl Physiol*. 2003; 95(3):1090-6.
13. Lima Kelly MM, Carneiro SP, de S Alves D, Peixinho CC, de Oliveira LE. Assessment of muscle architecture of the biceps femoris and vastus lateralis by ultrasound after a chronic stretching program. *Clin J Sport Med*. 2015;25(1):55-60.
14. Gerbino PG, Griffin ED, Zurakowski D. Comparison of standing balance between female collegiate dancers and soccer players. *Gait Posture*. 2007;26(4):501-7.
15. Matsuda S, Demura S, Uchiyama M. Centre of pressure sway characteristics during static one-legged stance of athletes from different sports. *J Sports Sci*. 2008;26(7):775-9.
16. Hammami R, Chaouachi A, Makhoulouf I, Granacher U, Behm DG. Associations between balance and muscle strength, power performance in male youth athletes of different maturity status. *Pediatr Exerc Sci*. 2016;28(4):521-34.
17. Vernillo G, Pisoni C, Thiebat G. Strength asymmetry between front

- and rear leg in elite snowboard athletes. *Clin J Sport Med*. 2016; 26(1):83-5.
18. Varanoske AN, Fukuda DH, Boone CH, Beyer KS, Stout JR, et al. Scanning plane comparison of ultrasound-derived morphological characteristics of the vastus lateralis. *Clin Anat*. 2017;30(4):533-42.
 19. Dupont A, Sauerbrei EE, Fenton PV, Shragge PC, Loeb GE, et al. Real-time sonography to estimate muscle thickness: Comparison with MRI and CT. *J Clin Ultrasound*. 2001;29(4):230-6.
 20. Ema R, Wakahara T, Mogi Y, Miyamoto N, Komatsu T, et al. In vivo measurement of human rectus femoris architecture by ultrasonography: validity and applicability. *Clin Physiol Func I*. 2013;33(4):267-73.
 21. Alegre LM, Lara AJ, Elvira JLL, Aguado X. Muscle morphology and jump performance: gender and intermuscular variability. *J Sports Med Phys Fitness*. 2009;49(3):320.
 22. Blazeovich AJ, Gill ND, Zhou S. Intra- and intermuscular variation in human quadriceps femoris architecture assessed in vivo. *J Anat*. 2006; 209(3):289-310.
 23. Bonetti LV, Floriano LL, dos Santos TA, Segalla FM, Biondo S, et al. Isokinetic performance of knee extensors and flexors in adolescent male soccer athletes. *Sport Sci Health*. 2017;13(2):315-21.
 24. Garcia PA, João MD Dias, Dias RC, Santos P, Zampa CC. Estudo da relação entre função muscular, mobilidade funcional e nível de atividade física em idosos comunitários A study on the relationship between muscle function, functional mobility and level of physical activity in community-dwelling elderly. *Braz J Phys Ther*. 2011;15(1):15-22.
 25. Seo SW, Lee HS. Effects of complex physical training on exercise and football performances in youth football players. *KJSS*. 2018;29(1):49-62.
 26. Alnahdi AH, Alrashid GI, Alkhaldi HA, Aldali AZ. Cross-cultural adaptation, validity and reliability of the arabic version of the lower extremity functional scale. *Disabil Rehabi*. 2016;38(9):897-904.
 27. Gordon AM, Huxley AF, Julian FJ. The variation in isometric tension with sarcomere length in vertebrate muscle fibres. *J Physiol*. 1996;184(1): 170-92.
 28. Abe T, Kumagai K, Brechue WF. Fascicle length of leg muscles is greater in sprinters than distance runners. *Med Sci Sports Exer*. 2000;32(6): 1125-9.
 29. Folland JP, Williams AG. The adaptations to strength training: Morphological and neurological contributions to increased strength. *Sports Med*. 2007;37(2):145-68.
 30. Fukutani A, Kurihara T. Comparison of the muscle fascicle length between resistance-trained and untrained individuals: Cross-sectional observation. *Springerplus*. 2015;4(1):1-6.
 31. Secomb JL, Lundgren, LE, Farley ORL, Tran TT, Nimphius S, et al. Relationships between lower-body muscle structure and lower-body strength, power, and muscle-tendon complex stiffness. *J Strength Con Res*. 2015; 29(8):2221-8.
 32. Kubo K, Kanehisa H, Azuma K, Ishizu M, Kuno S, et al. Muscle architectural characteristics in young and elderly men and women. *Int J Sports Med*. 2003;24(2):125-30.
 33. Brechue WF, Abe T. The role of FFM accumulation and skeletal muscle architecture in powerlifting performance. *Eur J Appl Physiol*. 2002; 86(4):327-36.
 34. Zaras N, Spengos K, Methenitis S, Papadopoulos C, Karampatsos G, et al. Effects of strength vs. ballistic-power training on throwing performance. *J Sci Med Sport*. 2013;12(1):130-7.
 35. Alexander R, Vernon A. The dimensions of knee and ankle muscles and the forces they exert. *J Hum Mov Stud*. 1975;1:115-23.
 36. Gans C, Gaunt AS. Muscle architecture in relation to function. *J Biomech*. 1991;24(1):53-65.
 37. Kumagai K, Abe T, Brechue WF, Ryushi T, Takano S, et al. Sprint performance is related to muscle fascicle length in male 100-m sprinters. *J Appl Physiol*. 2000;88(3):811-6.
 38. Burkholder TJ, Fingado B, Fingado B, Baron S, Lieber RL. Relationship between muscle fiber types and sizes and muscle architectural properties in the mouse hindlimb. *J Morphol*. 1994;221(2):177-90.
 39. Standring S. *Gray's anatomy: The anatomical basis of clinical practice*. 41st ed., Elsevier Health Sciences. 2016.
 40. Matsuda S, Demura S, Uchiyama M. Centre of pressure sway characteristics during static one-legged stance of athletes from different sports. *J Sports Sci*. 2008;26(7):775-9.
 41. Bieć E, Kuczyński M. Postural control in 13-year-old soccer players. *Eur J Appl Physiol*. 2010;110(4):703-8.
 42. Day JT, Lichtwark GA, Cresswell AG. Tibialis anterior muscle fascicle dynamics adequately represent postural sway during standing balance. *J Appl Physiol*. 2013;115(12):1742-50.
 43. Onambele GL, Narici MV, Maganaris CN. Calf muscle-tendon properties and postural balance in old age. *J Appl Physiol*. 2006;100(6):2048-56.