



# 하지 연부조직의 강직도가 K-7 축구선수들의 운동수행능력에 미치는 영향: 예비연구

선세영<sup>1,\*</sup> PhD, 박병재<sup>2,\*</sup> PhD, 이광진<sup>3</sup> PhD, 안근옥<sup>4</sup> PhD

<sup>1</sup>MSC 운동센터, <sup>2</sup>휴먼케어 사이언스 연구소, <sup>3</sup>충북대학교 체육교육과, <sup>4</sup>한국교통대학교 스포츠학부 스포츠의학전공

## The Effect of Stiffness of Lower Extremity Soft Tissue on the Athletic Performance of K-7 League Soccer Players: A Pilot Study

Se-Young Seon<sup>1,\*</sup> PhD, Byoung-Jae Park<sup>2,\*</sup> PhD, Kwang-Jin Lee<sup>3</sup> PhD, Keun-Ok An<sup>4</sup> PhD

<sup>1</sup>MSC Exercise Center, Seoul; <sup>2</sup>Human Care Science Lab, Cheongju; <sup>3</sup>Department of Physical Education, Chungbuk National University, Cheongju; <sup>4</sup>Sport Medicine Major, Division of Sports, Korea National University of Transportation, Chungju, Korea

**PURPOSE:** The purpose of this study is to verify the effect of soft tissue stiffness on joint range of motion and athletic performance in soccer players.

**METHODS:** Fifteen adult male soccer players participated in the study. After the warm-up, calf muscle and Achilles tendon stiffness were measured. Subsequently, range of motion of the ankle joint and 30 m sprint and vertical jump were performed. Exercise performance was assessed as a field test to create an experimental environment similar to that of actual training and competition.

**RESULTS:** Achilles tendon stiffness showed a significant correlation with the 30 m sprint and the vertical jump ( $p < .05$ ). A moderate correlation was observed between the 30 m sprint and the vertical jump ( $p < .01$ ). Soleus muscle stiffness was significantly correlated with the 30 m sprint ( $p < .05$ ). No other correlations were observed.

**CONCLUSIONS:** Therefore, it was confirmed that Achilles tendon stiffness affects exercise performance. In a follow-up study, it was necessary to confirm the effect of the stiffness of various soft tissues on exercise performance.

**Key words:** Achilles tendon stiffness, Sprint, Vertical jump, Soccer players, Soccer performance

## 서론

축구 경기에서 있어서 다양한 체력요인이 복합적으로 필요하다고 알려져 있으나 승패를 결정하는 주요체력 요인은 무산소성 능력으로 보고되고 있다[1]. 구체적인 예로 90분간 진행되는 축구경기 중 선수들의 에너지 생산은 주로 유산소성 대사(Aerobic Metabolism)를 기반으로 이루어지지만, 점프(Jump), 전력질주(Sprint), 슈팅(Shooting), 태클

(Tackle) 등 경기흐름에 결정적인 순간을 제공하는 움직임 패턴 및 에너지 대사는 근 파워와 관련된 무산소성 대사(Anaerobic Metabolism)를 이용하는 것으로 보고되고 있다[2-5].

축구선수는 90분 경기에서 약 11%의 전력질주를 수행한다고 분석되었고, 이는 90초마다 단거리의 전력질주를 반복적으로 수행하는 것과 같다고 보고되고 있다[1,6,7]. 이러한 단거리 전력질주 수행능력을 높이기 위해서는 빠른 가속 능력 및 강한 근력이 뒷받침되어야 한다고

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

\*These authors contributed equally

**Keywords** 발꿈치 힘줄 강직도, 전력질주, 수직 점프, 축구 선수, 축구 수행력

**Received** 21 Nov 2022 **Revised** 28 Nov 2022 **Accepted** 28 Nov 2022

© 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.

알려져 있다[1]. 단거리 전력 질주 능력에 영향을 미치는 체력요인에 대한 선행연구를 살펴보면 Comfort et al. [8]은 백 스쿼트(Back Squat)의 수행능력이 증가할수록 전력질주의 속력이 증가한다고 보고하였고, Wisloff et al. [7]의 연구에서도 높은 수준의 하프 스쿼트 능력은 축구 선수들의 전력질주 능력에 매우 주요한 요인으로 작용한다고 보고하였다. 또한, 높은 수준의 스쿼트 수행능력은 수직 점프(Vertical Jump, VJ)를 통해 분석할 수 있는 순발력과 유의한 상관관계가 있다고 보고하였으며, 단거리 전력질주 능력에도 매우 긍정적인 효과를 나타내는 것으로 알려져 있다[9]. 즉, 축구선수들의 전력 질주 능력 향상을 위해서는 높은 수준의 근력과 순발력이 필요한 것으로 생각되며 높은 수준의 운동수행능력을 보여주는 선수일수록 단거리 전력질주 및 수직 점프 능력이 우수하다고 할 수 있다[10-12].

운동학(Kinesiology)적 측면에서 전력질주 및 수직 점프 능력은 하지의 3가지 주요관절 즉, 엉덩관절, 무릎관절, 발목관절의 신전능력(Triple Extensor)에 영향을 받는다고 보고되었다[13,14]. 특히, 발목관절의 발바닥 굽힘(Plantar Flexion) 근육은 전력질주 초기에 30%, 이후 50-60%까지 영향을 미친다고 보고되고 있으며[14,15], 이러한 발목관절의 발바닥 굽힘에 기여하는 근육은 장딴지근(Gastrocnemius) 및 가자미근(Soleus)이며 두 근육은 공통된 힘줄인 발꿈치 힘줄(Achilles Tendon)로 구성되어져 있다.

한편, 관절의 움직임에 기여하는 연부조직의 생역학적 특성인 강직도(Stiffness)가 운동수행능력에 영향을 미친다는 연구들이 보고되고 있다. Foure & Cornu [16]의 연구에서는 14주간 플라이오메트릭(Plyometric) 운동이 19세 남성들의 발꿈치 힘줄 강직도를 증가시켰으며, 이로 인해 점프능력이 향상되었을 개연성이 있다고 주장하였다. 또한, Werkhausen et al. [17]의 연구에 의하면 10주간의 발목관절 발바닥 굽힘근(Plantar Flexor)에 등척성 훈련을 적용한 후, 성인 남성 및 여성의 발꿈치 힘줄 강직도 증가와 근력 향상이 관찰되었다고 보고하였다.

연부조직의 강직도가 높을수록 근 파워와 관련된 운동수행능력에 긍정적인 영향을 미친다는 가설은 고강도 근력운동을 이용한 준비운동 후 일시적으로 근 파워가 향상되는 근 활성화 후 상승효과(Post Activation Performance Enhancement, PAPE)의 기전 중 하나라고 보고되고 기고 한다[18]. 예를 들면, Pozarowszczyk et al. [19]의 연구에서 농구선수들의 PAPE를 위한 고강도 저항성 훈련 후 발꿈치 힘줄의 강직도 증가를 나타낸 연구 결과가 이를 뒷받침한다.

반면, Walshe & Wilson [20]의 선행연구에 의하면 연부조직 특히, 발꿈치 힘줄의 강직도가 낮을수록 오히려 수직 점프 능력에 긍정적인 영향을 미친다고 보고하였다. 또한, Kubo et al. [21]의 연구에서 장딴지근과 가자미근의 강직도가 낮을수록 전력질주 수행능력이 높은 것으로 관찰되었으며, Cristi et al. [22]은 축구선수와 비축구선수 간 발꿈치 힘줄의 강직도는 유의한 차이가 나타나지 않았다고 보고하였다. 다른

선행연구에서는 연부조직의 강직도가 높을수록 관절 운동범위(Range of Motion, ROM)를 제한 시켜 오히려 운동수행능력에 부정적인 요소로 작용 될 개연성이 있다고 보고되고 있다[23,24].

전술한 바와 같이 연부조직의 강직도가 증가되면 근 파워와 관련된 운동수행능력에 긍정적인 영향을 미친다는 결과와 부정적인 영향을 미친다는 결과들이 혼재되어 보고되고 있다. 또한, 연부조직의 강직도가 증가될수록 ROM이 감소되는 결과들이 보고되고 있다. 이에 따라 축구선수들의 근 파워와 관련된 운동수행능력(예: 단거리 전력질주, 수직 점프)이 경기 결과의 가장 핵심적인 순간에 작용한다는 점을 감안할 때, 연부조직의 강직도가 운동수행능력 및 ROM에 어떠한 영향을 미치는지 규명할 필요성이 제기된다. 따라서 이 연구의 목적은 전력질주 및 수직 점프에 중요한 역할을 수행하는 연부조직(장딴지근, 가자미근, 발꿈치 힘줄)의 강직도가 발목관절의 운동범위 및 30 m 단거리 전력질주, 수직 점프에 미치는 영향을 검증하여, 시합 전 실시되는 준비운동 및 훈련프로그램의 계획에 활용할 수 있는 기초정보를 제공하고자 한다.

## 연구 방법

### 1. 연구 대상

이 연구의 대상자는 경기도 N소재 K7아마추어 축구팀 15명으로 선정하였다(연령 30.13±5.95 years, 신장 175.2±5.48 cm, 체중 72.87±10.06 kg, BMI 23.66±2.37 kg/m<sup>2</sup>). 대상자는 모두 엘리트 축구선수 경력 7년 이상의 선수들이며, 부상으로 인해 운동수행능력 측정이 불가능한 인원은 제외하였다. 실험 참여 전 모든 대상자에게 연구의 목적과 연구참여로 인한 이익 및 위험에 대해 충분히 설명한 후 자발적 동의서를 작성하고 실험을 실시하였다.

### 2. 연구 절차

이 연구는 발목관절에서 발바닥 굽힘의 움직임에 기여하는 연부조직의 강직도가 ROM 및 근 파워와 관련된 운동수행능력에 미치는 영향을 알아보려고 실시하였다. 대상자는 실제 경기 및 훈련중의 상황과 비슷한 실험환경을 조성하기 위해 평소 운동과 경기를 진행한 실외 천연잔디 구장에서 실험을 진행하였다. 실험 전 부상 방지를 위한 준비운동은 20분간 FIFA 11+ 프로그램을 실시하였다[25]. 준비운동이 끝난 대상자부터 연부조직의 강직도 및 발등 굽힘과 발바닥 굽힘의 ROM을 측정하였다. 그 후, 근 파워와 관련된 운동수행능력을 알아보기 위해 30 m 전력질주를 실시한 후, 수직 점프를 실시하였다. 운동수행능력 측정 간 10분간의 능동적 휴식을 통해 근 피로를 제거하는 휴식시간을 가졌다.



Fig. 1. Myotonpro.

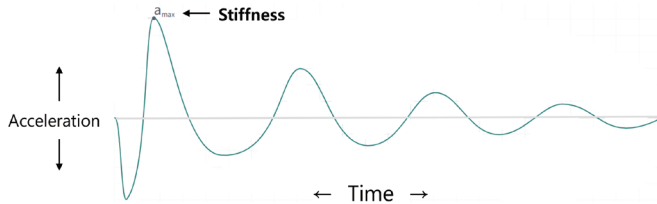


Fig. 2. Soft Tissue Stiffness.

### 3. 측정 항목

#### 1) 연부조직 강직도(Soft Tissue Stiffness)

발목관절의 발바닥 굽힘의 움직임을 만드는 연부조직의 강직도 측정을 위해 근 긴장도 측정기(Myotonpro, Myoton AS, Estonia)를 이용하였다(Fig. 1). Myotonpro는 근육과 건 등 연부조직의 강직도를 비침습적 및 정량적인 방법으로 알아보는 측정 장비이며 신뢰도가 높은 장비로 보고되고 있다(Fig. 2) [22]. 대상자들의 발꿈치 힘줄, 가자미근, 장딴지근의 강직도는 모두 엎드린 자세(Prone Position)에서 측정하였다. Myotonpro의 Probe를 측정지점의 피부 위 수직으로 맞춘 후, 가볍게 압박하여 녹색불이 켜진 상태에서 측정하였다. 측정 변인 중 3% 이상 오차범위가 생길 경우 삭제한 후, 다시 측정하였다.

#### 2) 관절 운동범위(Range of Motion, ROM)

연부조직의 강직도가 ROM에 미치는 영향을 알아보기 위해 발목관절의 ROM을 측정하였다. 대상자는 준비운동이 끝난 후, 강직도를 측정하였고 이어 ROM을 측정하였다. ROM측정은 앉은 자세에서 무릎관절을 90도 굴곡한 후, 능동적으로 발목관절을 움직여 발등 굽힘과 발바닥 굽힘을 실시하였다[26]. 측정자는 Goniometer를 사용하여 ROM을 측정하였다. 측정은 축을 발목의 가쪽 복사뼈의 중앙에 두고 종아리뼈의 긴축을 정렬한 후, 다섯 번째 발허리뼈와 평행하게 정렬하여 발등 굽힘과 발바닥 굽힘의 능동적 ROM을 측정하였다.

#### 3) 단거리 달리기(30 m Sprint)

축구선수들에게 필요한 전문 체력 요인 중 단거리 전력질주 능력을 측정하기 위해 30 m 달리를 측정하였다[27]. 측정 전 대상자의 부상 방지를 위해 70-80%의 속도로 1회 반복하여 준비한 후 측정자의 신호

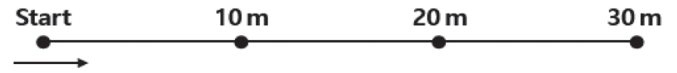


Fig. 3. 30 m Sprint.

Table 1. Soft Tissue Stiffness

Variables	n=15
Achilles Tendon (Nm)	929.13 ± 99.1
Soleus (Nm)	331.93 ± 56.87
Gastrocnemius Medial (Nm)	290.4 ± 43.13
Gastrocnemius Lateral (Nm)	321.6 ± 51.64

에 맞춰 30 m를 전력질주 하였다(Fig. 3). 총 2회 실시하여, 빠른 기록으로 선정하였다.

#### 4) 수직 점프(Vertical Jump, VJ)

하지 근관절의 근파워를 측정하는 대표적 방법인 수직 점프는 양팔의 움직임을 활용하여 최대한 수직 위로 점프하는 방법인 카운터 무브먼트 점프(Counter Movement Jump, CMJ)를 실시하였다(TKK-5406, TAKAI, Japan) [1]. 양 발을 골반 넓이로 벌린 후 최대한의 높이로 점프하도록 교육하였으며, 총 2회의 기록 중 높은 기록으로 선정하였다.

### 4. 자료 처리

이 연구에서 측정된 모든 자료는 SPSS 22.0 ver. 통계 프로그램을 이용하였으며, 평균(M)과 표준편차(SD)를 산출하였다. 연부조직의 강직도가 ROM 및 운동수행능력에 미치는 영향을 알아보기 위해 Pearson Product-Moment Correlation를 이용하여 상관관계를 분석하였다. 상관관계의 유의성 검증을 위해  $\alpha = .05$ 의 유의수준을 활용하였다.

## 연구 결과

### 1. 연부조직 강직도

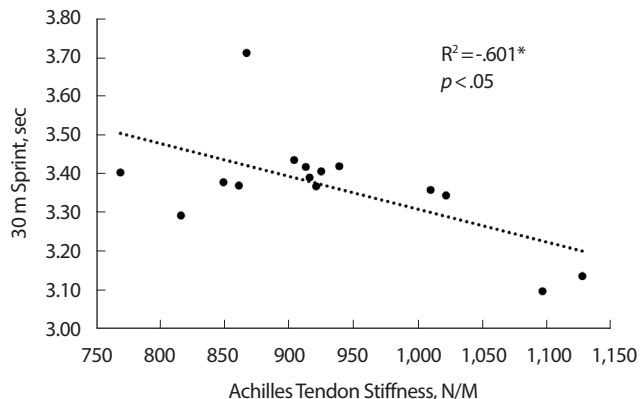
연부조직의 강직도를 Myotonpro를 활용하여 측정한 결과 발꿈치 힘줄과 가자미근은 각각  $929.13 \pm 99.1$  Nm,  $331.93 \pm 56.87$  Nm으로 나타났다. 장딴지근은 내측과 외측으로 나누어 측정하였으며 각각  $290.4 \pm 43.13$  Nm,  $321.6 \pm 51.64$  Nm로 나타났다(Table 1).

### 2. 관절 운동범위

장딴지근, 가자미근 및 발꿈치 힘줄의 강직도가 발목관절의 ROM에 영향을 미치는지 분석하기 위하여 발목관절의 발등 굽힘 및 발바닥 굽힘의 운동범위를 측정한 결과, 발등 굽힘(Dorsi Flexion)과 발바닥 굽힘(Plantar Flexion)은 각각  $17.27 \pm 6.66$  degree,  $53.67 \pm 10.27$  degree로 나타났다(Table 2).

**Table 2.** ROM & Sports Performance

Variables	n=15
Dorsi Flexion (degree)	17.27 ± 6.66
Plantar Flexion (degree)	53.67 ± 10.27
30 m Sprint (sec)	3.37 ± 0.14
Vertical Jump (cm)	60.27 ± 5.27



**Fig. 4.** Correlation between Achilles Tendon Stiffness & 30 m Sprint.

### 3. 운동수행능력

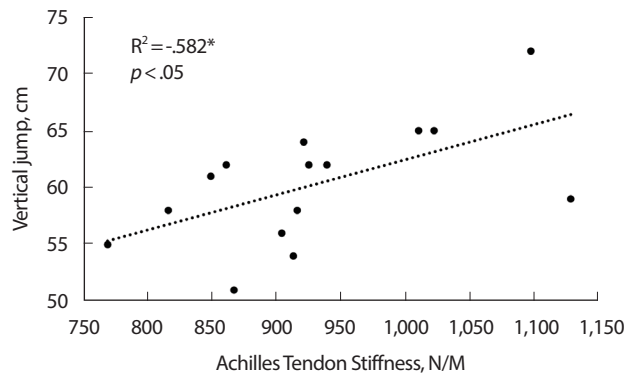
축구 선수들의 핵심적임 체력 요인으로 보고되는 근파워와 관련된 운동수행능력을 알아보기 위해 30 m 전력질주와 수직 점프를 실시한 결과, 30 m 전력질주는 3.37 ± 0.14 sec로 나타났으며, 수직 점프는 60.27 ± 5.27 cm로 나타났다(Table 2).

### 4. 변인 간의 상관관계

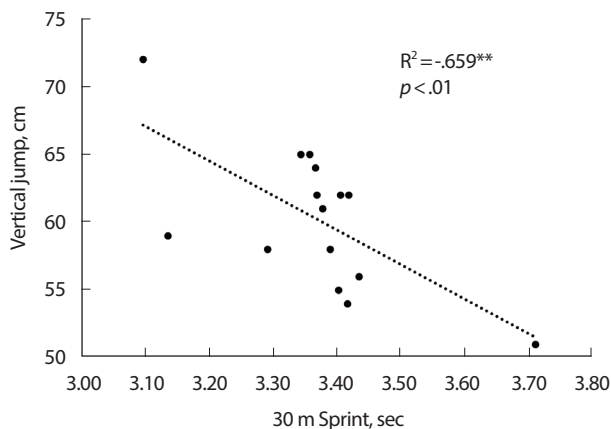
본 연구에서 측정된 연부조직의 강직도와 발목관절 ROM, 30 m 전력질주, 수직 점프와 상관관계를 분석한 결과 발꿈치 힘줄과 30 m 전력질주 및 수직 점프는 각각  $R^2 = -.601$  ( $p < .05$ ),  $R^2 = .582$  ( $p < .05$ )로 유의한 수준의 상관관계가 관찰되었다(Figs. 4, 5). 또한, 30 m 전력질주와 수직 점프는  $R^2 = -.659$  ( $p < .01$ )로 중정도의 상관관계가 관찰되었다(Fig. 6). 가자미근의 강직도는 30 m 전력질주와  $R^2 = .546$  ( $p < .05$ )로 부정적인 측면에서 상관관계가 나타났다. 발꿈치 힘줄의 강직도는 발목관절의 발등 굽힘 및 발바닥 굽힘과 각각  $R^2 = .05$ ,  $R^2 = -.1$  나타났으며, 가자미근의 강직도는 발등 굽힘 및 발바닥 굽힘과 각각  $R^2 = -.216$ ,  $R^2 = .185$  관찰되었다. 마지막으로 장딴지근의 강직도는 발등 굽힘 및 발바닥 굽힘과 각각  $R^2 = -.285$ ,  $R^2 = -.028$ 로 관찰되어 연부조직의 강직도는 발목관절의 ROM에 영향을 미치지 않는 것으로 분석되었다.

## 논 의

이 연구의 목적은 발목관절의 발바닥 굽힘 움직임에 기여하는 연부



**Fig. 5.** Correlation between Achilles Tendon Stiffness & Vertical Jump.



**Fig. 6.** Correlation between 30 m Sprint & Vertical Jump.

조직(장딴지근, 가자미근, 발꿈치 힘줄)의 강직도가 발목관절의 ROM 및 근 파워와 관련된 운동수행능력에 어떠한 영향을 미치는지 알아보는 것이며, 그에 따라 축구선수들의 준비운동 및 훈련프로그램 적용 시 활용할 수 있는 기초정보를 제공하는데 있다. 이러한 연구의 목적을 달성하기 위해 연구를 수행한 결과 발꿈치 힘줄의 강직도가 높은 선수들이 단거리 전력질주 및 수직 점프 능력이 뛰어난 것으로 나타났다. 또한, 수직 점프 능력이 높은 선수들이 단거리 전력질주가 빠른 것으로 관찰되었다. 반면, 연부조직의 강직도와 ROM은 상관관계가 관찰되지 않았으며, 장딴지근의 강직도는 운동수행능력과 상관관계가 관찰되지 않았다. 가자미근은 강직도가 높을수록 단거리 전력질주에 부정적인 영향을 미치는 것으로 나타났다.

본 연구에서 관찰된 것처럼 발꿈치 힘줄의 강직도가 높을수록 근 파워와 관련된 운동수행능력이 높게 나타난 것은 Foure & Cornu [16], Werkhausen et al. [17]이 보고한 연구들과 일치된 결과를 나타낸다. 발꿈치 힘줄과 운동수행능력 사이에 양(+)의 상관관계가 나타난 이유는 3가지 관점에서 설명이 가능하다.

첫째, 발목관절의 발바닥 굽힘 움직임에 기여하는 근육의 근력이 증가될수록 발꿈치 힘줄의 강직도가 증가되는 것으로 보고되고 있기에



순간적인 파워를 생성해야 하는 단거리 전력질주 및 수직 점프 능력에 발꿈치 힘줄의 높은 강직도가 긍정적 영향을 미쳤을 것으로 생각된다. Warneke et al. [28]은 발목관절의 발바닥 굽힘 근력이 강한 농구선수들이 수직 점프가 높다고 보고하였으며, 근력이 강한 선수들이 운동단위(Motor Unit)의 활성화(Activation)에 의한 힘의 생성(Power Output)이 높다고 주장하였다. Charcharis et al. [29]은 힘줄의 강직도가 근력과 비례하여 증가한다고 하였으며, 하지의 근력과 힘줄의 강직도를 함께 평가한 다른 선행연구에서도 근력과 힘줄의 강직도는 양(+)의 상관관계가 보고되고 있기에 강직도가 높은 선수들은 발바닥 굽힘 근력이 강하며, 이로 인해 단거리 전력질주 및 수직 점프 능력이 뛰어나다는 결론을 도출할 수 있다[30-33].

둘째, 발꿈치 힘줄의 강직도가 높을수록 근육-건 단위(Muscle-Tendon Unit)의 신전-단축 주기(Stretch-Shortening Cycle, SSC) 속도를 증가시켜 에너지 반환시스템(Energy Return System)의 효율성을 극대화시키는 것으로 생각된다. Markovic & Mikulic [34]은 SSC에 의한 에너지 반환시스템은 근육의 신장성 수축에서 단축성 수축으로의 빠른 전환 능력이라고 정의하였다. 또한, Turner et al. [35]이 SSC의 향상 방법을 보고한 연구에서 힘줄은 전력질주 및 수직 점프 수행 시 탄성에너지(Elastic Energy)의 저장을 위한 연부 조직이며, 저장된 탄성에너지의 크기는 강직도와 비례한다고 주장하였다. 이러한 주장을 뒷받침하는 연구로 Davies [36]은 발꿈치 힘줄의 강직도가 높을수록 신장성 수축에서 골지 건기관(Golgi Tendon Organ)이 억제됨으로 인해 단축성 수축력을 증가시킨다고 보고하였으며, Arampatzis et al. [37]은 강직도가 높은 힘줄이 SSC의 속도를 증가시켜 운동수행능력을 향상시킨다고 보고하였다. 그러므로 발꿈치 힘줄의 강직도가 높을수록 SSC에 의한 에너지 반환시스템을 향상시키며, 이로 인해 탄성에너지의 크기가 증가하여 근 파워와 관련된 운동수행능력을 증가시키는 것으로 판단된다.

셋째, 발꿈치 힘줄의 강직도가 높을수록 단거리 전력질주 및 수직 점프 수행 시 발이 지면에 접촉하는 시간(Ground Contact Time, GCT)이 감소되어 운동수행능력을 높이는 것으로 생각할 수 있다. GCT와 관련된 선행연구를 예로 들면, Arampatzis et al. [37], Morin et al. [38]의 연구에서 점프 수행 시 발목의 강직도와 GCT사이 음(-)의 상관관계가 있다고 보고하였으며, Abdelsattar et al. [39]은 발꿈치 힘줄의 강직도가 높을수록 GCT가 감소되어 운동수행능력을 증가시킨다고 보고하였다. 이에 따라 발꿈치 힘줄의 강직도가 높을수록 배구, 농구, 축구와 같이 점프 및 단거리 전력질주가 경기 승패의 중요한 체력적 요인으로 작용되는 스포츠 종목에 유리할 수 있다고 주장하였다. 더불어 단거리 전력질주 및 수직 점프의 능력을 개선하기 위한 GCT감소를 위해 발꿈치 힘줄의 강직도를 증가시킬 것을 제안하였다.

종합하자면, 발목관절의 발바닥 굽힘에 기여하는 장딴지근 및 가자미근의 근력이 강할수록 발꿈치 힘줄의 강직도는 근력과 비례하여 증

가하는 것으로 생각된다. 발꿈치 힘줄의 강직도 증가는 SSC에 의한 에너지 반환시스템의 효율성을 극대화 시켜 탄성에너지의 크기를 증가시키고 이로 인해 GCT의 감소를 유발하여 근파워와 관련된 운동수행능력이 증가된다는 일련의 3가지 과정을 설명할 수 있다. 그러므로 축구 선수들은 시합 전 실시되는 준비운동 및 훈련 시 발꿈치 힘줄의 강직도를 상승시키는 프로그램의 개발 및 적용이 필요하다고 생각된다.

## 결론

이 연구에서 측정된 발꿈치 힘줄은 강직도가 높을수록 단거리 전력질주 및 수직 점프의 높이와 긍정적인 상관관계가 관찰되었다. 단거리 전력질주 및 수직 점프 능력과 같은 근 파워와 관련된 운동수행능력은 경기에서 승리를 위한 중요한 순간에 영향을 미치므로 축구선수들은 발꿈치 힘줄의 강직도를 증가시키는데 효과적이라고 알려진 플라이오메트릭 운동(Plyometric Training)을 실시할 필요성이 있다. 또한, 발꿈치 힘줄의 강직도는 시합 전 실시되는 준비운동 및 훈련 프로그램 시 참고해야 할 주요 요인으로 생각된다. 그러나, 본 연구에서 비교적 적은 수의 대상으로 시행한 예비 연구로, 무릎관절 및 엉덩관절의 신전에 기여하는 다른 연부조직의 강직도를 측정하여 운동수행능력 및 해당 관절의 ROM과 비교·분석 하지 않았기에 후속 연구에서는 더 많은 대상자에게 확대 적용하여 다양한 연부조직의 강직도가 운동수행능력 및 ROM에 어떠한 영향을 미치는지 규명할 것을 제안한다.

## CONFLICT OF INTEREST

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

## AUTHOR CONTRIBUTIONS

Conceptualization: SY Seon, BJ Park; Data curation: SY Seon; Formal analysis: SY Seon, BJ Park, KO An, KJ Lee; Methodology: SY Seon, BJ Park, KO An; Project administration: SY Seon, BJ Park, KO An; Visualization: SY Seon, BJ Park, KO An, KJ Lee; Writing-original draft: SY Seon, BJ Park, KO An, KJ Lee.

## ORCID

Se-Young Seon

<https://orcid.org/0000-0003-2494-632X>

Byoungjae Park

<https://orcid.org/0000-0003-1519-2933>

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

## REFERENCES

1. Comfort P, Stewart A, Bloom L, Clarkson B. Relationships between strength, sprint, and jump performance in well-trained youth soccer players. *J Strength Cond Res.* 2014;28(1):173-7.
2. Bangs J. Energy demands in competitive soccer. *J Sports Sci.* 1994;12(sup1):S5-12.
3. Di Salvo V, Gregson W, Atkinson G, Tordoff P, Drust B. Analysis of high intensity activity in premier league soccer. *Int J Sports Med.* 2009;30(03):205-12.
4. Krustup P, Mohr M, Amstrup T, Rysgaard T, Johansen J, et al. The yo-yo intermittent recovery test: physiological response, reliability, and validity. *Med Sci Sports Exerc.* 2003;35(4): 697-705.
5. Seon SY, Park BJ, Seon SY, Park BJ. Correlation between repeated sprint ability (RSA) and hoff test of high school soccer plyers. *Exerc Sci.* 2022;31(3):376-82.
6. Bangsbo J, Mohr M, Krustup P. Physical and metabolic demands of training and match-play in the elite football player. *J Sports Sci.* 2006; 24(07):665-74.
7. Wisløff U, Castagna C, Helgerud J, Jones R, Hoff J. Strong correlation of maximal squat strength with sprint performance and vertical jump height in elite soccer players. *Br J Sports Med.* 2004;38(3):285-8.
8. Comfort P, Haigh A, Matthews MJ. Are changes in maximal squat strength during preseason training reflected in changes in sprint performance in rugby league players? *J Strength Cond Res.* 2012;26(3): 772-6.
9. López-Segovia M, Marques MC, Van den Tillaar R, González-Badillo JJ. Relationships between vertical jump and full squat power outputs with sprint times in u21 soccer players. *J Hum Kinet.* 2011;30:135.
10. Comfort P, Bullock N, Pearson SJ. A comparison of maximal squat strength and 5-, 10-, and 20-meter sprint times, in athletes and recreationally trained men. *J Strength Cond Res.* 2012;26(4):937-40.
11. Cronin JB, Hansen KT. Strength and power predictors of sports speed. *J Strength Cond Res.* 2005;19(2):349-57.
12. McBride JM, Blow D, Kirby TJ, Haines TL, Dayne AM, et al. Relationship between maximal squat strength and five, ten, and forty yard sprint times. *J Strength Cond Res.* 2009;23(6):1633-6.
13. Chang E, Norcross MF, Johnson ST, Kitagawa T, Hoffman M. Relationships between explosive and maximal triple extensor muscle performance and vertical jump height. *J Strength Cond Res.* 2015;29(2):545-51.
14. Wild J, Bezodis NE, Blagrove RC, Bezodis IN. Strength and conditioning. 2011;21:23-37.
15. Bezodis N. Biomechanical investigations of sprint start technique and performance (Doctoral dissertation, University of Bath). 2009.
16. Fouré A, Nordez A, Cornu C. Plyometric training effects on achilles tendon stiffness and dissipative properties. *J Appl Physiol.* 2010;109(3):849-54.
17. Werkhausen A, Cronin NJ, Albracht K, Paulsen G, Larsen AV, et al. Training-induced increase in achilles tendon stiffness affects tendon strain pattern during running. *Peer J.* 2019;7:e6764
18. Blazevich AJ, Babault N. Post-activation potentiation versus post-activation performance enhancement in humans: historical perspective, underlying mechanisms, and current issues. *Front Physiol.* 2019;10: 1359.
19. Pożarowski B, Golaś A, Chen A, Zając A, Kawczyński A. The impact of post activation potentiation on achilles tendon stiffness, elasticity and thickness among basketball players. *Sports.* 2018;6(4):117.
20. Walshe AD, Wilson GJ. The influence of musculotendinous stiffness on drop jump performance. *Can J Appl Physiol.* 1997;22(2):117-32.
21. Kubo K, Tabata T, Ikebukuro T, Igarashi K, Yata H, et al. Effects of mechanical properties of muscle and tendon on performance in long distance runners. *Eur J Appl Physiol.* 2010;110(3):507-14.
22. Cristi-Sánchez I, Danes-Daetz C, Neira A, Ferrada W, Yáñez Díaz R, et al. Patellar and achilles tendon stiffness in elite soccer players assessed using myotonometric measurements. *Sports Health.* 2019;11(2):157-62.
23. Chang TT, Li Z, Zhu YC, Wang XQ, Zhang ZJ. Effects of self-myofascial release using a foam roller on the stiffness of the gastrocnemius-achilles tendon complex and ankle dorsiflexion range of motion. *Front Physiol.* 2021;12:718827.
24. Miyamoto N, Hirata K, Miyamoto-Mikami E, Yasuda O, Kanehisa H. Associations of passive muscle stiffness, muscle stretch tolerance, and muscle slack angle with range of motion: individual and sex differences. *Sci Rep.* 2018;8(1):1-10.
25. Bizzini M, Dvorak J. FIFA 11+: an effective programme to prevent football injuries in various player groups worldwide—a narrative review. *Br J Sports Med.* 2015;49(9):577-9.
26. Starkey C, Brown SD. Examination of orthopedic & athletic injuries.

- FA Davis. 2015.
27. Sporiš G, Milanović Z, Trajković N, Joksimović A. Correlation between speed, agility and quickness (SAQ) in elite young soccer players. *Acta kinesiologica*. 2011;5(2):36-41.
28. Warneke K, Keiner M, Lohmann L, Hillebrecht M, Wirth K, et al. The influence of maximum strength performance in seated calf raises on counter movement jump and squat jump in elite junior basketball players. *Sport Mont J*. 2022;20(2):63-8.
29. Charcharis G, Mersmann F, Bohm S, Arampatzis A. Morphological and mechanical properties of the quadriceps femoris muscle-tendon unit from adolescence to adulthood: effects of age and athletic training. *Front Physiol*. 2019;10:1082.
30. Laurent C, Baudry S, Duchateau J. Comparison of plyometric training with two different jumping techniques on achilles tendon properties and jump performances. *J Strength Cond Res*. 2020;34(6):1503-10.
31. Fouré A, Nordez A, Guette M, Cornu C. Effects of plyometric training on passive stiffness of gastrocnemii and the musculo-articular complex of the ankle joint. *Scand J Med Sci Sports*. 2009;19(6):811-8.
32. Burgess KE, Connick MJ, Graham-Smith P, Pearson SJ. Plyometric vs. isometric training influences on tendon properties and muscle output. *J Strength Cond Res*. 2007;21(3):986.
33. Fouré A, Nordez A, Cornu C. Effects of plyometric training on passive stiffness of gastrocnemii muscles and Achilles tendon. *Eur J Appl Physiol*. 2012;112(8):2849-57.
34. Markovic, Goran, Pavle Mikulic. Neuro-musculoskeletal and performance adaptations to lower-extremity plyometric training. *Sports Med*. 2010;40(10):859-95.
35. Turner AN, Jeffreys I. The stretch-shortening cycle: proposed mechanisms and methods for enhancement. *J Strength Cond Res*. 2010;32(4):87-99.
36. Davies, George, Bryan L. Riemann, and robert manske. "current concepts of plyometric exercise." *Int J Sports Phys Ther*. 2015;10(6):760.
37. Arampatzis A, Schade F, Walsh M, Brüggemann GP. Influence of leg stiffness and its effect on myodynamic jumping performance. *J Electromyogr Kinesiol*. 2001;11(5):355-64.
38. Morin JB, Samozino P, Zameziati K, Belli A. Effects of altered stride frequency and contact time on leg-spring behavior in human running. *J Biomech*. 2007;40(15):3341-8.
39. Abdelsattar M, Konrad A, Tilp M. Relationship between achilles tendon stiffness and ground contact time during drop jumps. *J Sports Sci Med*. 2018;17(2):223.