

햄스트링 두께와 무릎 굴곡 근력 및 순간근력률의 상관 관계

인하대학교 스포츠과학과¹, 동아대학교 체육학과²장은욱¹ · 천소울¹ · 전형필²

Relationship between Hamstring Muscle Thickness and Knee Flexion Torque and Rate of Torque Development

Eunwook Chang¹, Soul Cheon¹, Hyung-Pil Jun²¹Department of Kinesiology, Inha University, Busan, ²Department of Physical Education, Dong-A University, Busan, Korea

Purpose: The purpose of this study was to examine the relationships between hamstring muscle thickness and knee flexion peak torque, and rate of torque development (RTD) calculated during 0–50 ms (RTD50) and 0–200 ms (RTD200).

Methods: Thirty-six active individuals' dominant side hamstring thickness were measured using portable ultrasound device. Participants performed maximal isometric voluntary contraction (MVIC) of knee flexion. Peak torque was identified as the maximum torque during MVIC testing. RTD was calculated initial 50 ms and 200 ms after the onset of joint torque. Pearson's correlation (*r*) coefficients were utilized to assess relationships between muscle thickness and knee flexion peak torque, RTD50 and RTD200. The significant level of hypothesis verification is set-up as $\alpha = 0.05$.

Results: Greater peak torque and RTD200 was associated with greater muscle thickness of semitendinosus and semimembranosus ($p < 0.05$). Greater RTD50 was associated with greater muscle thickness of semitendinosus only. Biceps femoris thickness was not associated with knee flexion peak torque, RTD50, and RTD200.

Conclusion: These results suggest that the training specific hamstring muscle (medial hamstrings) for improving muscle thickness would be effective for increasing knee flexion peak torque and RTD.

Keywords: Hamstring, Muscle thickness, Peak torque, Performance, Rate of torque development

Received: October 18, 2019 Revised: November 25, 2019

Accepted: November 25, 2019

Correspondence: Hyung-Pil Jun

Department of Physical Education, Dong-A University, 37
Nakdong-daero 550beon-gil, Saha-gu, Busan 49315, Korea
Tel: +82-51-200-7817, Fax: +82-51-200-7805E-mail: hjun@dau.ac.kr*This study was supported by Inha University Research Grant
(57836-01).

Copyright ©2019 The Korean Society of Sports Medicine

© 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.

서론

하지에 위치한 햄스트링(hamstring)은 무릎관절의 굽힘 및 엉덩이관절의 펴는 동작을 발생시키는 근육으로 일반적인 움직임 및 운동수행능력을 위해 중요한 역할을 한다. 햄스트링은 대퇴이두근(biceps femoris), 반막양근(semimembranosus), 반건양근(semitendinosus)의 세 가지 근육으로 구성되어 있으며, 해부학적으로 부착점의 위치가 다르기 때문에 각각의 역할이 조금은 다를 수 있으나, 다양한 스포츠의 성공적인 수행을 위한 햄스트링의 근력향상의 필요성에 대해서는 이견이 없다¹⁻³. 선행 연구에서는

스프린트 시 가속 능력에 영향을 미치는 선수의 무게중심 위치는 선수의 체중 및 세가지 외력인 지면 반발력, 중력, 공기 저항에 의해 결정되는데 햄스트링은 스프린트 시 수평 반발력과 후방 반발력에 중요한 역할을 하며, 이것은 지면 반발력을 증가시켜 스프린트 가속능력에 영향을 미친다고 보고하였다⁴. 또한 대퇴이두근의 근활성도 증가와 동시에 최대 수평 반발력의 증가를 동시에 발견하였다^{5,6}. 실제로, Krommes 등⁷의 연구에서는 엘리트 축구선수를 대상으로 10주간의 햄스트링 훈련을 실시한 결과 훈련을 실시하지 않은 비교군에 비하여 스프린트 기록에 향상을 보였다. 이와 같이 햄스트링의 능력은 스프린트와 같은 수평방향 운동수행능력에 중요하게 기여하고 있음을 알 수 있다.

트레이닝을 통한 햄스트링의 기능 향상은 근력으로 평가가 가능하다. 결과적으로 근력 향상은 특정 운동수행능력의 향상과 관련있으며, 이를 위하여 선수들은 근력 향상을 위하여 끊임없는 훈련을 실시한다. 근력 증가와 관련된 근육의 형태학적 요인으로는 근육의 두께와 근육의 우상각(pennation angle)이 있다. 선행 논문에서는 근육의 단면적, 즉 근육의 두께가 두껍거나, 우상각이 클수록 최대근력(peak torque)의 힘이 커진다는 보고가 있다⁸. 그러나 근육이 최대근력을 발휘하기 위해서는 근육 수축 후 1-2초의 시간이 요구되지만^{9,10} 스프린트와 같은 운동수행능력에서 요구하는 근육의 수축시간은 약 50-250 ms 정도로 매우 짧다^{5,11}. 따라서, 선수의 운동수행능력 향상 및 근육 부상 방지를 위해서는 짧은 시간 내에 충분한 근육의 능력이 발휘되어야 한다. 최대근력 측정은 짧은 시간내 근육의 근력 발휘 정도를 측정하는데 한계가 있기 때문에 순간근력률(rate of torque development [RTD])라는 개념의 측정이 소개되었으며, 이 측정 방법을 통하여 단위 시간 내에 발휘할 수 있는 근육의 힘을 측정하여 임상 적용이 가능한 근력 측정 지표로 사용되고 있다.

근육의 순간적인 근력 발휘 능력 측정은 근육의 초기 수축기(<50 ms)와 후기 수축기(>150 ms)로 나뉘어 분석 가능하다^{9,12}. 초기 수축기는 근육에 자극을 발현시키는 신경계의 역할이 매우 중요한 반면 후기 수축기는 근육의 내부적 구조 특징 등이 영향을 미친다고 보고하고 있다^{9,12}. 무릎 펴고 관련 연구에서는 처음 초기 40 ms 동안의 근육수축 능력이 수직 점프 능력과 밀접한 관계가 있음을 보고하였으며¹³, 이러한 결과는 폭발적인 운동 수행능력을 위해서는 초기 수축기의 근육능력이 중요함을 시사하고 있다. 이와 같이 운동 수행능력의 향상을 위해서는 최대근력뿐 아니라 수축 시간을 기준으로 근력을 발휘하는 근육의 능력에 대한 연구가 필요하지만 햄스트링 근육의 특징과 근육의 순간 수축 능력과의 관계에 대한 연구는 부족한 실정이다.

일반적으로 햄스트링 근육의 능력을 측정할 때에는 각각의

근육을 하나의 근육으로 인식하여 측정을 진행하지만, 실제로는 각각의 햄스트링 근육(대퇴이두근, 반건양근, 및 반막양근)이 무릎 굽힘 근력에 어떠한 영향을 미치는지에 대한 연구는 미비한 실정이다. 햄스트링의 형태학적 요인 중 하나인 근육의 두께와 무릎의 순간 근력 및 최대근력과의 관련성은 향후 효과적인 트레이닝을 위해서 중요한 자료가 될 수 있을 것으로 생각한다. 그러나 햄스트링 근육의 형태학적 요인인 근육의 두께와 무릎 굽힘의 순간근력률의 관련성에 대한 보고는 미비한 실정이다. 훈련을 통한 운동 수행능력 향상 및 부상의 예방을 위해서는 햄스트링을 구성하고 있는 각각의 근육과 RTD 및 최대근력의 관계를 연구하는 것이 필요하다. 따라서 본 연구의 목적은 햄스트링의 구성 근육인 대퇴이두근, 반막양근, 반건양근과 순간근력률50 (50 ms 동안의 순간근력률), 순간 근력률 200 (200 ms 동안의 순간근력률), 및 최대근력의 관계를 분석하는 것이다.

연구 방법

1. 대상

36명의 자발적 참여자(남자 20명, 여자 16명; 나이, 22.2±2.0세; 신장, 171.7±9.6 cm; 체중, 67.4±11.3 kg)를 모집하였다. 연구 과정은 대학내 기관생명윤리위원회로부터 승인을 받았으며(No. 180330), 모든 연구 참여자는 연구 참여 전 연구 과정에 대한 정보를 받고 연구 참여 동의서를 통하여 연구 참여 동의를 하였다. 연구 참여자는 일반 건강 문진을 실시하였으며, 고단레저활동 지수(Godin leisure activity) 설문지를 통하여 운동 참여 수준을 평가하였다. 연구 참여는 일주일에 150분 이상 중강도 운동에 정기적으로 참여하고, 실험 측정 전 24시간 안에 고강도 운동을 실시하지 않았으며, 하지 및 요추 수술 경험이 없고, 실험 전 6개월 동안 신체활동에 제한을 줄 수 있는 정도의 하지 및 요추의 부상이 없는 대상자에 한하여 연구를 진행하였다.

2. 방법

본 연구는 햄스트링 근육 두께와 무릎 굽힘 최대근력 및 순간근력률의 관계를 규명한 연구이며, 실험설계는 Fig. 1과 같다.

1) 햄스트링 두께 측정

위의 문진검사 후 우세 다리(dominant-side limb)를 평가 하기 위하여 피험자에게 공을 가장 멀리 보낼 수 있는 쪽의 다리가 어느 쪽인지 질문을 통하여¹⁴ 확인한 후 휴대용 초음파 측정기(7.5 MHz transducer; Healcerion, Seoul, Korea)를 사용하여 햄스트링

의 두께를 측정하였다¹⁵. 각각의 햄스트링 두께 측정을 위하여 대퇴골 대결절(greater trochanter of femur)에서 무릎의 외측 관절 선(lateral joint line of the knee)까지 길이의 50%를 확인하여 측정의 시작 지점을 결정하였다. 근섬유의 배열과 수직이 되도록 측정기를 위치시킨 후 외측에서 내측으로 천천히 이동하면서 대퇴이두근, 반건양근, 반막양근의 순서로 근육 두께를 측정하였다(Fig. 2)¹⁵. 측정된 각 근육의 초음파 이미지는 ImageJ software (National Institutes of Health, Bethesda, MD, USA)를 사용하여 근육 두께 측정을 실시하였다(Fig. 3). 두께 측정 시 이미지의 가운데와 양쪽 옆의 두께를 측정 후 측정값의 평균값을 사용하였다. 각 근육당 3번을 측정하였으며 측정값의 평균값을 통계분석에 사용하였다.

2) 무릎 굽힘 최대근력 및 순간근력을 측정

무릎 굽힘 최대근력 및 순간근력률은 등속성 근력측정기 (Cybex Humac Norm model 770; Cybex, Ronkonkoma, NY, USA)를 사용하여 측정하였다. 피험자는 의자에 앉은 상태로 대퇴골의 외측과(lateral femoral condyle of femur)와 등속성 근력측정기의 레버암의 회전 축이 정렬되도록 위치하고 발목 패드는 내측 복사뼈와 외측 복사뼈의 연장선상에 위치하도록 조정하였다. 무릎의 각도는 60° 굽힘 상태로 설정하였다. 준비가 완료되면 측정에 대한 자세한 설명을 제공하였으며, 측정 전 피험자의 부상 예방을 위하여 무릎 굽힘 최대근력의 약 60%~70% 강도로 3회 연습을

실시하였다. 연습 후 피험자에게 3분간의 휴식시간을 제공하였다. 피험자가 준비되면 측정자의 구령에 따라 빠르고 강하게 약 3초간 등척성 무릎 굽힘 운동을 실시하였다. 총 3회 무릎 굽힘 수축을 실시하였으며 각 수축간 1분의 휴식시간을 제공하였다.

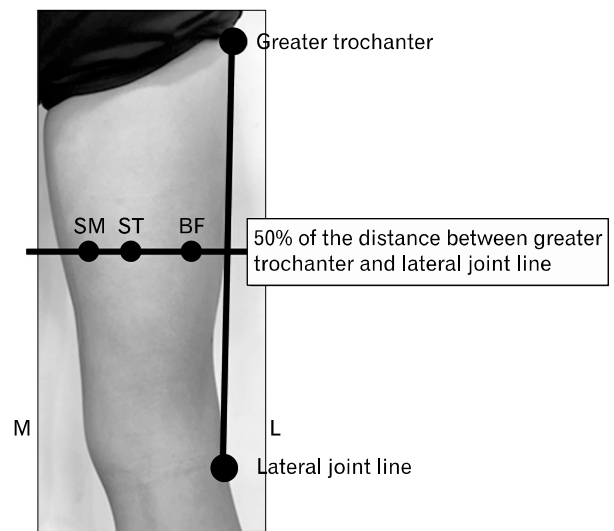


Fig. 2. Hamstring muscle thickness measurement location. SM: semimembranosus, ST: semitendinosus, BF: biceps femoris, M: medial, L: lateral.

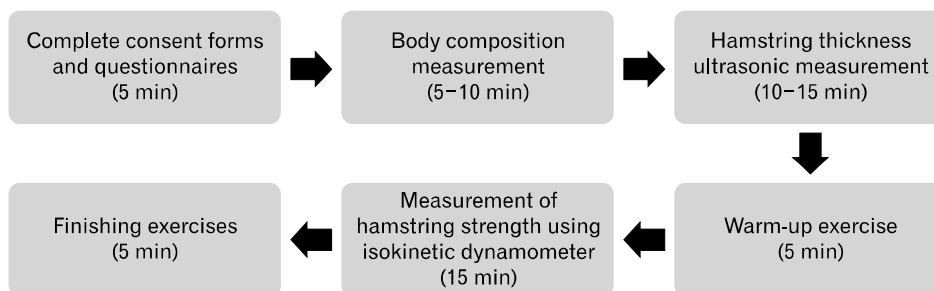


Fig. 1. Experimental design.

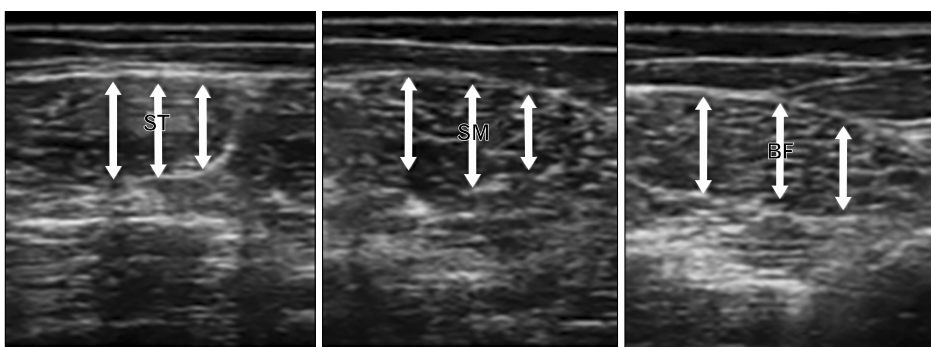


Fig. 3. Measurement of hamstring muscle thickness using Image J. ST: semitendinosus, SM: semimembranosus, BF: biceps femoris.

Table 1. Average thickness of each hamstring

Variable	Biceps femoris	Semi-tendinosus	Semimembranosus
Muscle thickness (mm)	19.71±3.14	21.52±4.49	17.96±3.70

Values are weighted population, estimated mean±standard deviation.

Table 2. Knee maximum flexural muscle strength and instantaneous muscle force ratio

Variable	Peak torque (Nm/kg)	RTD50 (Nm/s/kg)	RTD200 (Nm/s/kg)
Knee flexion	41.30±0.26	40.34±0.31	42.31±0.32

Values are weighted population, estimated mean±standard deviation.

RTD: rate of torque development, RTD50: RTD calculated during 0-50 ms, RTD200: RTD calculated during 0-200 ms.

3) 최대근력 및 순간근력률 자료 처리

등척성 무릎 굽힘 근력 측정 시 샘플링레이트(sampling rate)는 200 Hz로 설정하였다. 근력 측정기를 통해 얻은 무릎 굽힘 토크 결과를 토대로 근육의 수축 시작 순간(initial contraction)부터 근육 수축 후 50 ms와 200 ms 동안의 순간근력률(RTD50 및 RTD200) 도출 및 최대근력 값 확인을 위하여 LabView (National Instruments, Austin, TX, USA)를 이용한 설계프로그램을 사용하였다. 근육 수축 시작 순간은 최대근력의 2.5% 넘는 지점으로 설정하였으며, 순간근력률은 근육수축 시작 시점과 50 ms 또는 200 ms까지의 토크-시간 그래프에 가장 알맞은 기울기를 계산하여 사용하였다. 순간근력률과 최대근력은 피험자의 체중(kg⁻¹)으로 정규화하였으며, 3번 측정의 평균값을 사용하여 통계 분석을 실시하였다.

3. 통계 분석

대퇴이두근, 반건양근, 반막양근 두께와 무릎 굽힘 최대근력 및 순간근력률50, 순간근력률200의 상관관계 분석을 위하여 Pearson's product-moment correlations을 사용하였다. 통계분석은 IBM SPSS ver. 25.0 (IBM Corp., Armonk, NY, USA)을 사용하였으며 통계적 유의수준은 $p < 0.05$ 로 설정하였다.

Table 3. Pearson (r) correlation coefficient between each hamstring thickness and maximum and instantaneous strength rate

Variable	Biceps femoris	Semi-tendinosus	Semimembranosus
Peak torque	0.246	0.534*	0.414*
RTD50	0.174	0.590**	0.211
RTD200	0.211	0.599**	0.426*

RTD: rate of torque development, RTD50: RTD calculated during 0-50 ms, RTD200: RTD calculated during 0-200 ms.

* $p < 0.05$, ** $p < 0.001$.

결 과

각 햄스트링의 평균 두께는 Table 1과 같다. 무릎 굽힘 운동 시 최대근력과 RTD50 및 RTD200결과는 Table 2에 제시하였으며, 각 햄스트링의 두께와 최대근력, RTD50 및 RTD200과의 상관관계는 Table 3에 제시하였다. 무릎 굽힘 최대근력과 RTD200은 반건양근의 두께(최대근력, $p=0.002$; RTD200, $p < 0.001$) 및 반막양근(최대근력, $p=0.019$; RTD200, $p=0.015$)의 두께와 높은 연관성을 나타내었다. RTD50은 반건양근의 두께(RTD50, $p < 0.001$)와는 연관성이 있었으나, 대퇴이두근과 반막양근의 두께와의 연관성은 없었다.

고 찰

햄스트링은 운동선수의 운동수행능력에 중요한 역할을 하는 하지 근육 중 하나이며 선수들 및 스트레칭 코치들은 햄스트링의 강화를 위하여 다양한 트레이닝 방법을 적용하고 있다. 본 연구에서는 각각의 햄스트링의 형태학적 특징이 운동수행능력과 직접적인 연관이 있는 최대근력 및 순간근력률과의 관계에 대해 연구하였으며, 본 연구 결과는 향후 선수 및 운동에 참여하는 일반인들의 운동수행능력 향상을 위한 실용적인 정보를 제공할 것으로 생각한다.

본 연구에서 최대근력은 내측 햄스트링인 반건양근과 반막양근의 두께와 관련이 있었다. 세부적으로 반건양근의 두께는 최대근력의 28%의 설명력을 가지고 있으며 반막양근의 두께는 최대근력의 17%의 설명력을 가지고 있었다. 이와 비교하였을 때 대퇴이두근의 두께는 최대근력과 관련이 없었다. 마찬가지로 RTD200의 경우 반건양근과 반막양근의 두께와 연관성을 보여주었으며, 각각 36%와 18%의 설명력을 보여주었다. 최대근력과 RTD200은 일반적으로 수행하는 점프 및 스프린트 능력을 기준으로

로 늦은 시간(200 ms-2 s)에 발생되기 때문에 실제적인 운동수행 능력과는 관계가 약할 것으로 예상할 수 있으나, RTD200과 최대 근력은 내측 햄스트링인 반건양근과 반막양근의 두께가 중요한 역할을 하는 것으로 확인되었다. 본 연구 결과를 적용하기 위하여 후기 근육수축기(late phase of muscle contraction)와 운동수행 능력과의 관계에 대한 연구가 필요할 것으로 생각한다.

RTD50은 근육의 초기 수축기의 근력 발생 능력을 측정할 결과로서 본 연구에서는 RTD50은 반건양근의 두께와 밀접한 관련이 있었으나 대퇴이두근과 반막양근 두께와의 연관성은 없었다. 반건양근의 두께는 RTD50능력의 36%의 설명력을 보여주었으며, 이는 반건양근의 두께가 무릎 굽힘의 순간근력률에 중요한 역할을 하는 것을 나타낸다. RTD50은 초기 근육 수축 능력을 간접적으로 나타내며 성공적인 운동수행을 위해서는 RTD50과 같은 짧은 시간 내 근육의 최대 능력이 발휘되어야 한다. 엘리트 축구선수의 스프린트 능력과 햄스트링을 사용한 무릎 굽힘근의 순간근력률 및 최대근력의 관계를 연구한 선행연구에서 처음 100 ms (initial 100 ms of muscle contraction) 동안의 순간근력률이 30 m 스프린트 동안 가속능력에 중요한 역할을 한다고 보고하였다⁷. 이와 같이 운동수행능력 향상을 위한 햄스트링의 중요성에 대해서 지속적으로 언급하고 있지만^{3,7,16}, 각각의 햄스트링 근육의 특징이 성공적인 운동수행을 위한 역할에 대해서는 충분한 자료를 제공하고 있지 못하는 단점이 있다. 이런 단점을 보완하기 위하여 몇몇 선행논문에서는 근전도를 사용하여 운동수행능력에 어떤 햄스트링 근육이 더 큰 영향을 미치는지 연구하였다^{17,18}. Higashihara 등¹⁷의 연구에서 스프린트 동작 시 초기 입각기(early stance phase)에서는 대퇴이두근의 근활성도가 우세한 반면 중간 입각기(mid-stance phase)부터 후기 입각기(late stance phase)에서는 내측 햄스트링(반건양근 및 반막양근)의 근활성도가 우세하였던 것으로 보고하였다. 그러나 운동 수행 시 러닝보행을 분석하였을 때 후기 입각기의 지면반력 크기가 직접적인 운동수행능력과의 연관이 되기 때문에, 후기 입각기 중 활성화되는 내측 햄스트링 근육의 역할이 중요한 것으로 보여진다. 그러나 이러한 선행연구는 근육의 형태학적 특징인 근육의 두께가 아닌 근신경계의 활성 능력에 더 초점을 두고 있었기 때문에, 본 연구결과의 직접 비교의 한계가 있다.

그러나 선행연구의 결과와 본 연구의 결과를 종합적으로 분석하였을 때 첫번째로 반건양근의 두께가 클수록 RTD50의 값이 커지며 이러한 결과는 운동 수행 시 지면반력 및 순간적인 근력 발휘에 영향을 준다. 근육의 두께가 운동수행능력의 제일 중요한 요소라고 할 수 없으나, 부분적으로 운동수행능력 향상을 위한 전략으로 내측 햄스트링인, 반건양근의 두께 증가 및 비대를

위한 세부적인 트레이닝 방법이 제시될 수 있다. 두번째로 비록 반건양근의 두께가 커질수록 RTD50 및 RTD200등의 순간근력률의 값이 커지지만, 근육의 형태학적 특징뿐 아니라 근활성도의 측면에서는 운동 수행 시 대퇴이두근 활성도를 증가시키는 것도 또한 중요한 요소이다. 근육의 두께가 근활성도와 직접적인 연관을 가지고 있지 않기 때문에, 결과적으로 운동수행능력의 향상을 위해서 대퇴이두근 활성도 증가와 반건양근과 같은 내측 햄스트링의 두께 증대 등 다각도의 트레이닝 접근이 시도되어야 할 것이다. 본 연구는 자발적인 건강한 참여자를 대상으로 실시하였기 때문에, 연구 대상자의 다양성에 한계가 있으며, 근력 측정은 60° 무릎 굽힘 자세에서 등척성으로 실시하였기 때문에 다양한 관절 각도에서의 결과값과 상이할 수 있는 제한점이 있다.

햄스트링을 구성하고 있는 대퇴이두근, 반건양근, 반막양근의 두께와 무릎 굽힘 최대근력, RTD50, RTD200과의 관계를 분석하여 근육의 형태학적 특징과 근력의 관계를 규명하였다. 반건양근의 두께가 클수록 RTD50, RTD200, 최대근력에 긍정적인 영향을 미쳤으며, 반막양근의 두께가 클수록 RTD200 및 최대근력에 긍정적인 영향을 보여주었다. 이 결과를 바탕으로 내측 햄스트링의 근비대를 위한 트레이닝 방법을 적용한다면, 향후 운동수행능력 향상에 도움이 될 것으로 생각한다.

Conflict of Interest

No potential conflict of interest relevant to this article was reported.

ORCID

Eunwook Chang <https://orcid.org/0000-0001-5876-9275>

Soul Cheon <https://orcid.org/0000-0003-4605-6686>

Hyung-Pil Jun <https://orcid.org/0000-0001-7772-8276>

References

1. Lockie RG, Murphy AJ, Schultz AB, Knight TJ, Janse de Jonge XA. The effects of different speed training protocols on sprint acceleration kinematics and muscle strength and power in field sport athletes. *J Strength Cond Res* 2012;26: 1539-50.
2. Askling C, Karlsson J, Thorstensson A. Hamstring injury occurrence in elite soccer players after preseason strength training with eccentric overload. *Scand J Med Sci Sports* 2003;13:244-50.

3. Seo TB, Kim TW, Song HS, Kim YS. Comparative analysis of world class national male judo players' athletic performance related physical fitness factors. *Exerc Sci* 2014;23: 171-9.
4. Hunter JP, Marshall RN, McNair PJ. Relationships between ground reaction force impulse and kinematics of sprint-running acceleration. *J Appl Biomech* 2005;21:31-43.
5. Kuitunen S, Komi PV, Kyrolainen H. Knee and ankle joint stiffness in sprint running. *Med Sci Sports Exerc* 2002;34: 166-73.
6. Kyrolainen H, Belli A, Komi PV. Biomechanical factors affecting running economy. *Med Sci Sports Exerc* 2001;33: 1330-7.
7. Krommes K, Petersen J, Nielsen MB, Aagaard P, Holmich P, Thorborg K. Sprint and jump performance in elite male soccer players following a 10-week Nordic hamstring exercise protocol: a randomised pilot study. *BMC Res Notes* 2017;10:669.
8. Aagaard P, Andersen JL, Dyhre-Poulsen P, et al. A mechanism for increased contractile strength of human pennate muscle in response to strength training: changes in muscle architecture. *J Physiol* 2001;534(Pt. 2):613-23.
9. Aagaard P, Simonsen EB, Andersen JL, Magnusson P, Dyhre-Poulsen P. Increased rate of force development and neural drive of human skeletal muscle following resistance training. *J Appl Physiol* (1985) 2002;93:1318-26.
10. Huston LJ, Wojtys EM. Neuromuscular performance characteristics in elite female athletes. *Am J Sports Med* 1996;24: 427-36.
11. Kakihana W, Suzuki S. The EMG activity and mechanics of the running jump as a function of takeoff angle. *J Electromyogr Kinesiol* 2001;11:365-72.
12. Tillin NA, Jimenez-Reyes P, Pain MT, Folland JP. Neuromuscular performance of explosive power athletes versus untrained individuals. *Med Sci Sports Exerc* 2010;42:781-90.
13. de Ruiter CJ, Van Leeuwen D, Heijblom A, Bobbert MF, de Haan A. Fast unilateral isometric knee extension torque development and bilateral jump height. *Med Sci Sports Exerc* 2006;38:1843-52.
14. van Melick N, Meddeler BM, Hoogeboom TJ, Nijhuis-van der Sanden MW, van Cingel RE. How to determine leg dominance: the agreement between self-reported and observed performance in healthy adults. *PLoS One* 2017;12:e0189876.
15. Ruas CV, Pinto RS, Lima CD, Costa PB, Brown LE. Test-retest reliability of muscle thickness, echo-intensity and cross sectional area of quadriceps and hamstrings muscle groups using B-mode ultrasound. *Int J Kinesiol Sports Sci* 2017;5: 35-41.
16. Mendiguchia J, Martinez-Ruiz E, Morin JB, et al. Effects of hamstring-emphasized neuromuscular training on strength and sprinting mechanics in football players. *Scand J Med Sci Sports* 2015;25:e621-9.
17. Higashihara A, Nagano Y, Ono T, Fukubayashi T. Differences in hamstring activation characteristics between the acceleration and maximum-speed phases of sprinting. *J Sports Sci* 2018;36:1313-8.
18. Opar DA, Williams MD, Timmins RG, Dear NM, Shield AJ. Knee flexor strength and bicep femoris electromyographical activity is lower in previously strained hamstrings. *J Electromyogr Kinesiol* 2013;23:696-703.