

대한물리치료과학회지

Journal of Korean Physical Therapy Science
2021. 06. Vol. 28, No.1, pp. 76-84

연속적 능동무릎펴 검사가 뒤넙다리근의 유연성에 미치는 영향

임우택^{1,2}

¹우송대학교 물리치료학과 · ²우송대학교 부설 재활과학연구소

Influence of successive active knee extension tests on hamstring flexibility

Woo Taek Lim^{1,2}, Ph.D., P.T.

¹Dept. of Physical Therapy, Woosong University

²Woosong Institute of Rehabilitation Science, Woosong University

Abstract

Background: In clinical practice, active knee extension (AKE) test has been widely used to measure hamstring flexibility. During the AKE test, the knee extension is repeated six times. The first five repetitions are considered as warm-up, and the sixth is used as baseline. In order to accurately measure the subject's inherent flexibility, warm-up trials have been proposed as mentioned above; but currently, the evidence is insufficient.

Design: Cross-sectional study.

Methods: Forty-three healthy adults participated in this study. The AKE was performed slowly after flexing the hip and knee joints by 90° in a supine position. The knee was extended as far as could be done without causing discomfort or pain. When reaching the end range, knee flexion was performed without stopping. As per standard protocol, the subjects performed the knee extension six times.

Results: There was no significant difference between the AKE value in the first trial with those in the other five trials. During the repetitions, the average value in the group with higher flexibility tended to decrease and the Intraclass correlation coefficient gradually decreased.

Conclusion: Successive repetitions of the AKE test can misrepresent an individual's inherent hamstring flexibility. In order to avoid a decrease in hamstring flexibility, it is strongly recommended that individuals with high initial hamstring flexibility avoid unnecessary repetitions of the AKE test.

Key words: Active knee extension test, Hamstring muscles, Joint flexibility, Range of motion

© 2021 by the Korean Physical Therapy Science

교신저자: 임우택

주소: 대전광역시 동구 동대전로 171 우송대학교 서캠퍼스 보건의료과학관 506호, 전화: 042-630-4624, E-mail: wootaeclimpt@wsu.ac.kr

I. 서론

뒤넙다리근의 유연성은 기능적 활동에 영향을 미칠 뿐만 아니라 운동 손상과 일정 부분 관련이 있어 임상적으로 중요하게 고려된다(Hägglund 등, 2013; Malliaropoulos 등, 2011). 단축 유무 및 치료 효과 평가를 목적으로 현재 다양한 측정 방법이 제시되고 있으며, 대표적으로 하지직거상 검사(straight leg raise test)와 무릎 폼 검사(knee extension test)가 널리 사용되고 있다(Lim, 2019; Medeiros 등, 2019). 하지 직거상 검사는 임상에서 널리 사용되고 있지만, 엉덩관절 폼근 단축 시 불필요한 엉덩관절 회전을 유도하여 뒤넙다리근의 독립적 평가를 저해할 수 있다(Congdon 등, 2005). 이 때문에 골반을 고정하고 수행하는 무릎 폼 검사가 최근 더욱 선호되고 있다(Neto 등, 2015). 무릎 폼 검사는 치료사에 의해 수행되는 수동무릎 폼 검사와 외부 도움 없이 대상자 스스로 수행하는 능동무릎 폼 검사로 나뉘는데, 후자의 사용 빈도가 더 높다(Cameron과 Bohannon, 1993).

능동무릎 폼 검사는 바로누운자세(supine position)에서 엉덩관절과 무릎관절을 90° 굽힘 후 수행한다. 능동무릎 폼 동안 엉덩관절은 90° 굽힘을 유지하여 골반의 움직임을 막고, 이를 통해 엉덩관절 주변 근육의 영향을 최소화한다. 능동무릎 폼 검사 각도는 '180° - 무릎 폼 각도'로 계산되기 때문에, 검사 값의 증가는 유연성의 감소를 의미한다(Depino 등, 2000; Lim, 2020b). 검사 값이 20°보다 크면 뒤넙다리근에 단축이 있다고 평가하고 있다(Ahmed 등, 2015). 능동무릎 폼 검사는 측정자 간, 측정자 내 높은 신뢰도를 갖는다(Hamid 등, 2013; Neto 등, 2015). 검사는 측정을 위한 목적 외 준비 운동(warm-up) 목적으로 사용되기도 한다. 기존 연구에서는 본 실험 전 능동무릎 폼 검사의 6회 반복 수행을 요구하고 있으며 마지막 여섯 번째 측정값을 기준선(baseline)으로 사용하기를 권고하고 있다(Depino 등, 2000; Lim, 2019; Spornoga 등, 2001). 준비 운동 없이 시작(cold start) 및 측정 시 조직 유연성 본연의 값이 왜곡될 수 있어서, 일정 수준의 준비 운동을 사전에 요구하는 것이다. 6회 반복 수행하는 동안 일정 수준의 유연성 증가가 발생하며, 그 값이 실제 개인의 조직 유연성에 근접한다는 가정에 기초한다. Atha와 Wheatley(1976)의 연구에서는 엉덩관절 굽힘 10회 반복 측정 시 증가한 유연성이 보고되었으며, 그 이후 수행된 연구들은 이 연구를 근거로 6회 반복을 제안하고 있다(Atha와 Wheatley, 1976). 하지만 실험 참여자가 남성 10명으로 적었으며, 나이 및 신체 특성이 구체적으로 제시되지 않아 일반화에 어려움이 있다. 또한, 반복 간 제공된 1분의 휴식 시간은 임상 적용에 제한점으로 작용할 수 있다. Depino 등(2000)의 연구에서는 능동무릎 폼 검사를 6회 반복 수행하였으며, 1회 대비 6회에서 5.9°의 유연성 증가를 관찰하였다(Depino 등, 2000). 하지만 이 역시 연속된 검사 동작에서의 측정은 아니었다. 전통적 각도계는 무작위 오차(random error)에 취약하며, 연속된 동작에서는 측정할 수 없는 단점을 가진다(Bialocerkowski와 Bragge, 2008; Fish와 Wingate, 1985; Pavlov, 2008). 각도계를 이용하면 끝 범위에서 측정하는 동안 일정 시간의 멈춤 또는 고정이 필요하며, 측정 시간이 길어지면 능동 스트레칭으로 전환될 수 있다(Davis 등, 2005). 최근 초경량 무선 각도계가 나오면서 연속된 반복 동작을 멈춤 없이 측정할 수 있게 되었으며 임상과 유사한 환경을 설정하는 것이 가능해졌다(Shamsi 등, 2019).

본 연구에서는 휴식 없이 수행된 6회의 연속된 능동무릎 폼 검사가 뒤넙다리근의 유연성에 미치는 영향을 조사하였다.

II. 연구방법

1. 연구대상

실험에는 건강한 성인 43명(나이 21.86 ± 2.18 , 키 167.67 ± 8.77 , 몸무게 63.86 ± 14.24)이 참여하였다(Table 1). 엉덩관절, 무릎관절, 발목관절에 수술 경력이 있거나 최근 6개월 동안 통증이 있었던 경우 실험에서 제외였다. 본 연구는 OO대학교 기관생명윤리위원회(Institutional Review Board of OOOOOO University)의 승인을 받았으며, 실험 전 모든 대상자로부터 연구 참가 동의서를 받았다. 연구대상 표본수는 G*Power 3.1.9.7 (Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf, Germany)를 이용하여 효과 크기 0.50, 유의수준 0.05, 통계적 검정력 0.95 설정 후 산출하였다(Faul 등, 2007).

Table 1. General characteristics of subjects

	Total (N=43)	Group A (n=21)	Group B (n=22)
Age (year)	21.861 ± 2.18^a	21.71 ± 2.22	22.00 ± 2.18
Height (cm)	167.67 ± 8.77	166.57 ± 9.25	168.73 ± 8.37
Weight (kg)	63.86 ± 14.24	63.24 ± 14.93	64.45 ± 13.88

^aMean±Standard deviation

2. 실험절차

대상자는 치료 테이블 위에 바로누운자세로 눕는다. 왼쪽 다리와 골반은 보조 끈(strap)을 이용하여 치료 테이블에 고정하고 측정은 오른쪽 다리를 대상으로 하였다. 무릎 폼 각도 측정에는 관성측정장치(Inertial Measurement Unit; IMU)(Re-live Inc., Korea)가 사용되었다(Oh 등, 2019). 첫 번째 IMU 센서는 오른쪽 다리의 넓적다리큰돌기(greater trochanter)와 가쪽위관절융기(lateral epicondyle)의 중간에 부착하고, 두 번째 센서는 가쪽위관절융기와 종아리뼈 가쪽복사(lateral malleolus)의 중간에 부착하였다(Johanson 등, 2009; Tonelli 등, 2011). 센서 부착 부위는 면도 후 알코올을 이용하여 피부를 정돈하였고, 부착은 양면테이프를 이용하였다. 센서는 태블릿과 블루투스로 연동되며, 각도 값을 초당 4회 전송한다. 기록된 각도 값은 4DMT-ROM ver. 170615a에 의해 csv 형태로 저장되었다(Oh 등, 2019).

측정자는 센서 부착 후 대상자가 바로누운자세에서 엉덩관절과 무릎관절을 90° 굽힘 할 수 있도록 도왔다. 측정자의 신호와 함께 대상자는 엉덩관절 90° 굽힘을 유지한 채, 무릎관절 폼을 측정자 도움 없이 독립적으로 수행하였다(Shamsi 등, 2019). 이때 발목관절은 중립을 유지하도록 하였으며, 무릎 폼 속도가 너무 빠르지 않도록 하였다(Nelson과 Bandy, 2004). 대상자는 끝 범위 도달 시 멈춤 없이 무릎 굽힘을 연이어 수행하였으며, 능동무릎 폼은 총 6회 수행하였다. 능동무릎 폼 검사 각도는 '180-무릎 폼 각도'를 계산하여 얻었다(Lim, 2020a).

3. 자료 처리

실험 자료의 정규성 분포 검증은 Shapiro-Wilk test를 이용하였다. 첫 번째 시도에서 측정된 능동무릎 폼 검사 각도의 평균값을 기준으로 전체 대상자를 유연성이 작은 그룹(group A)과 큰 그룹(group B)으로 분류하였다. 그룹 내 능동무릎 폼 검사 각도 변화는 Repeated measures analysis of variance를, 그룹 간 차이는 Independent t-test를 이용하여 검증하였다. 6회 반복 동안 측정된 능동무릎 폼 검사 각도는 Intraclass correlation coefficient를 이용하여 반

복성을 계산하였다. 통계 분석에는 IBM SPSS Statistics ver. 25.0(IBM Co., USA)를 사용하였으며, 통계적 유의 수준은 $\alpha=.05$ 로 정하였다.

III. 연구결과

1. 전체 대상자의 능동무릎펴 검사 각도 변화

첫 번째 시도에서 측정된 능동무릎펴 검사 각도는 평균 $39.0 \pm 12.0^\circ$ 이었으며, 구간 $8.0^\circ \sim 64.0^\circ$ 에서 정규분포를 이루었다(Figure 1). 첫 번째 시도와의 비교에서 두 번째 0.5° , 세 번째 1.8° , 네 번째 2.4° , 다섯 번째 2.3° , 여섯 번째 2.5° 의 증가 값이 관찰되어, 6회 반복 동안 능동무릎펴 검사 각도가 점진적으로 증가하는 경향이 관찰되었으나 통계적으로 유의하지는 않았다(Figure 2a). Group A와 group B 간 비교에서는 모든 시점에서 유의한 차이가 관찰되었다($p < .05$) (Figure 2b).

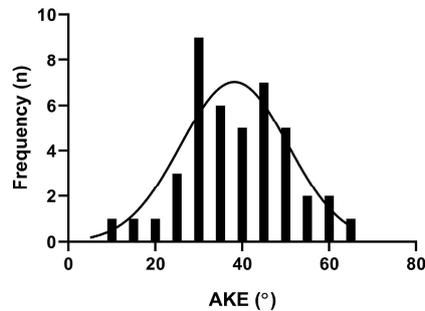


Figure 1. Frequency distribution of active knee extension (AKE) test

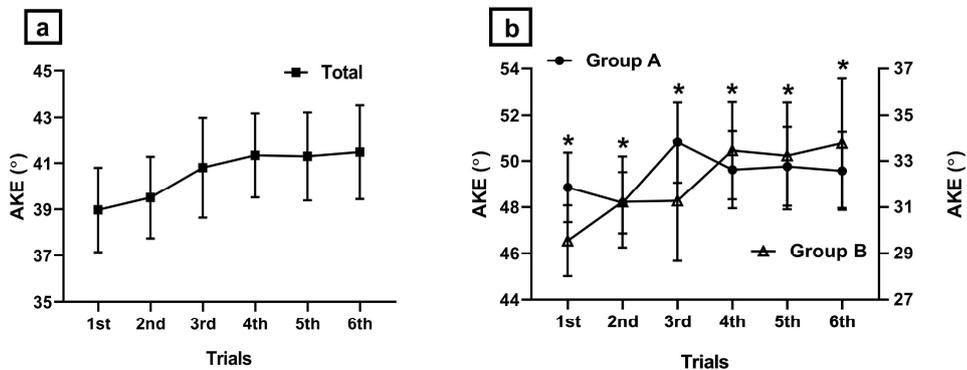


Figure 2. Active knee extension tests across six successive trials in total (a) and in each group (b) ($*p < .05$)

2. 그룹별 정규화된 능동무릎펴 검사 각도 변화

첫 번째 시도에서 측정된 능동무릎펴 검사 각도를 기준으로 다음 시도에서 측정된 검사 각도를 모두 정규화할 경우, 4회 이후 group B에서의 능동무릎펴 검사 각도의 감소가 더욱 두드러졌다(Figure 3). 또한, 첫 번째 시도에서 측정된 능동무릎펴 검사 각도를 다음 시도에서 측정된 검사 각도와 비교 시 반복성은 점진적으로 감소하는 것이 관찰되었다(Table 2).

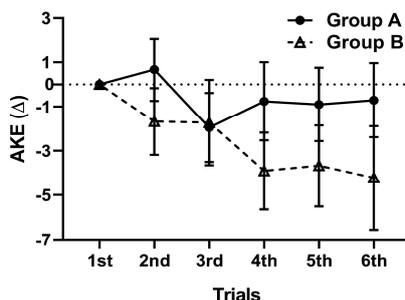


Figure 3. Normalized active knee extension tests (Δ) across six successive trials in each group

Table 2. Repeatability of active knee extension test

	2 nd trial	3 rd trial	4 th trial	5 th trial	6 th trial
ICC ^a	.774	.743	.683	.698	.613

^aICC=Intraclass Correlation Coefficient. ICC was calculated by comparing each trial with the 1st trial in group B.

IV. 고찰

조직 유연성의 측정 및 평가는 정확한 기준선 설정을 기초로 한다(Lim, 2020c; Lim, 2018). 기존 실험 연구에서는 이를 위해 본 실험 전 준비 운동(warm up)을 필수적으로 수행하고 있다(Atha와 Wheatley, 1976; Depino 등, 2000). 뒤넙다리근 유연성 측정을 위해 가장 많이 사용하고 있는 능동무릎 폼 검사는 총 6회 반복 수행을 기본으로 한다. 첫 5회는 준비 운동으로 간주하며, 여섯 번째 시도에서 측정된 검사 각도를 기준선으로 사용한다. 대상자 본연의 유연성을 정확히 측정하기 위해 위와 같이 준비 운동 수행이 제안되고 있지만, 이에 대한 근거는 충분하지 않다. 또한, 기존 연구에서는 반복 간 휴식 시간을 1분으로 다소 길게 설정하여 임상에서의 적용을 어렵게 한다(Atha와 Wheatley, 1976; Depino 등, 2000). 본 연구에서는 초경량 무선 IMU 센서를 이용하여, 반복 동안 실시간으로 능동무릎 폼 각도를 측정하였으며, 실험 결과 사전 운동으로 말미암은 유의한 유연성 증가는 없었다.

본 연구에 참여한 건강한 성인 대상자의 능동무릎 폼 검사 각도는 첫 번째 시도에서 평균 39.0±12.0°였으며, 추가적인 능동무릎 폼 검사 동안 유의한 차이가 발생하지 않았다. 기존 연구에서 제시한 추론과 달리 1회 대비 반복 동안 오히려 평균값은 최소 1.8°, 최대 2.5° 증가하였다. 능동무릎 폼 검사의 측정 각도 증가는 뒤넙다리근의 유연성 감소를 의미한다. 즉, 6회 반복 동안 유연성이 일부 증가할 것으로 지금까지 가정되어 왔으나, 1회 대비 연속된 검사에서 측정된 각도는 통계적 차이를 보이지 않았을 뿐만 아니라, 오히려 반복 동안 조금씩 감소하는 경향을 보였다. 뒤넙다리근의 유연성 증가에 관한 선행연구에 따르면 유의한 유연성 증가를 위해서는 스트레칭 수행 시 일정 수준 이상의 강도와 지속시간이 반드시 수반되어야 한다(Lim, 2018; Thomas 등, 2018). 능동무릎 폼의 연속된 단순 반복은 강도와 시간 두 측면 모두에서 유의한 변화를 이끌어 내기에 절대적 양이 충분하지 않을 수 있다. 뒤넙다리근의 유연성 측정을 위해 능동무릎 폼 검사와 종종 함께 사용되는 하지직거상 검사의 경우 수동 대비 능동 수행 시 최대 각도가 약 10% 정도 작게 나온다(Oh 등, 2019). 능동 수행 시 상대적으로 관절가동 범위가 작은 것은 능동 끝 범위에서 외적 힘(external force)이 작용하지 않고, 폼 동안 무릎 안정화를 위한 굽힘근의 공동 수축(cocontraction)이 무릎 폼을 일정 부분 저해하기 때문일 것이다(Agrawal, 2016). 조직에 가해지는 신장 장력은 느슨해진 조직이 팽팽하게 당겨지는 끝 범위에서 효과적으로 전달되기 때문에, 생리적 한계까지

완전한 폼이 일어나지 않은 상태에서는 전달되는 힘의 양이 줄어들 수 있다(Behm과 Kibele, 2007; Marchetti 등, 2019). 시간 측면에서 유연성 증가는 정적 스트레칭은 30초, 고유감각신경근육촉진(proprioceptive neuromuscular facilitation) 스트레칭은 6초의 지속시간이 필요하다(McHugh와 Cosgrave, 2010; Sharman 등, 2006). 능동무릎 폼을 이용한 스트레칭 연구에서는 정적 스트레칭과 유사하게 끝 범위에서 30초 유지 시 유의한 유연성 증가 효과가 관찰되기도 했다(Davis 등, 2005). 하지만 일반적 스트레칭과 달리 능동무릎 폼 검사에서는 끝 범위 도달 시 멈춤 없이 무릎 굽힘을 연이어 수행하기 때문에 끝 범위에서의 조직 신장 유지 시간이 매우 짧다. 물론, 탄도 스트레칭(ballistic stretching)은 능동무릎 폼 검사와 마찬가지로 끝 범위에서 매우 짧은 지속 시간을 갖지만, 강도가 매우 높아서 실제 조직에 가해지는 장력은 크다(Bacurau 등, 2009). 즉, 능동무릎 폼 검사에서의 연속된 무릎 폼과 굽힘 동작은 대상 조직(target tissue)에 유의한 변화를 이끌어 내기에 충분한 강도와 시간을 제공하지 못한다고 여겨진다. 마지막으로 능동무릎 폼 시 끝 범위에서 발생한 장력은 물렁 조직 또는 신경 조직에 불편함(discomfort) 또는 통증을 유발하여, 적극적 능동무릎 폼을 저해할 소지가 있다(Lim, 2018). 실제 실험 참가자의 상당수는 능동무릎 폼 검사 수행 후 불편함을 호소하였으며, 일부는 끝 범위에서 근간대경련(myoclonus)과 같은 떨림을 보였다(Gajdosik과 Lusin, 1983).

능동무릎 폼 각도는 개개인이 가진 고유의 조직 유연성에 크게 영향을 받는다(Lim, 2020c). 본 연구에서는 평균 값을 기준으로 대상자를 상대적으로 유연성이 큰 그룹과 작은 그룹으로 나누어 추가 분석하였다. 능동무릎 폼 검사 각도는 첫 번째 시도에서 각각 $29.5 \pm 7.2^\circ$, $48.9 \pm 6.9^\circ$ 로 유연성이 큰 그룹의 검사 값이 유의하게 컸으며, 나머지 5회 반복 동안 모두 유의하게 컸다. 하지만 두 그룹은 기준선이 달라서, 상대적 비교를 위해서는 정규화가 필요하다. 첫 번째 시도에서 측정된 검사 각도를 0으로 하고 반복 동안 변화 값을 계산하였을 때, 유연성이 큰 그룹의 능동무릎 폼 검사 각도는 점진적 감소를 했다. 반면 유연성이 작은 그룹은 6회 반복 동안 변동 폭이 $0.7^\circ \sim 2.0^\circ$ 로 변화가 거의 없었다. 유연성이 낮은 경우 동일 폼 각도에서 더 큰 통증이 유발될 수 있어 능동무릎 폼 검사 각도에 더 큰 변화를 예상하였으나(Jandre Reis와 Macedo, 2015; Radwan 등, 2015), 결과는 반대로 유연성이 높은 그룹에서 큰 변동성이 나타났다. 유연성이 큰 그룹의 6회에서 측정된 검사 각도는 1회에서 측정된 검사 각도 보다 약 4.2° 작았다. 이 결과는 뒤넙다리근의 유연성 평가를 위해 능동무릎 폼 6회 반복 수행이 불필요할 수 있음을 의미한다. 특히, 유연성이 부족한 일반인은 더욱 큰 감소가 예상된다. 만약 임상에서 6회에서 측정된 값을 기준선 또는 치료 전 값(pre-intervention)으로 설정할 경우, 치료적 효과가 없음에도 유의한 증가로 판단되거나, 때에 따라서는 치료 효과가 실제보다 더 크게 과장되어 나타날 수 있다. 본 연구에서 전체 대상자의 평균 능동무릎 폼 검사 각도는 평균 39° 로 대상자 43명 중 오직 2명만이 20° 미만의 능동무릎 폼 검사 각도를 보였다. 차후 연구에서는 기존 실험연구에서 사용하고 있는 20° 미만의 대상자를 모집 후 추가적인 검증이 필요하다.

V. 결 론

본 연구에서는 초경량 무선 IMU 센서를 이용하여, 실시간으로 능동무릎 폼 검사 각도를 측정하였다. 실험 결과 기존 가정과 달리 연속 반복에서 유연성의 유의한 증가는 관찰되지 않았다. 또한, 유연성이 큰 그룹에서는 반복 동안 무릎 폼 각도가 오히려 감소하기도 했다. 본 연구 결과는 임상에서 준비 운동 및 기준선 설정을 위해 널리 사용하고 있는 능동무릎 폼 검사 6회 반복이 개인 본연의 유연성을 정확히 반영하지 않을 수 있음을 보여주고 있다. 특히, 대상자의 유연성이 크면 6회에서 측정된 검사 각도를 기준선으로 사용하는 것은 권장되지 않는다.

【감사의 글】

이 논문은 2020년도 우송대학교 교내학술연구조성비 지원으로 쓰인 것임.

참고문헌

- Agrawal SS. Comparison between post isometric relaxation and reciprocal inhibition manuevers on hamstring flexibility in young healthy adults: randomized clinical trial. *Int J Med Res Health Sci* 2016;5(1):33-37.
- Ahmed H, Iqbal A, Anwer S, et al. Effect of modified hold-relax stretching and static stretching on hamstring muscle flexibility. *J Phys Ther Sci* 2015;27(2):535-8.
- Atha J, Wheatley DW. The mobilising effects of repeated measurement on hip flexion. *Br J Sports Med* 1976;10(1):22-5.
- Bacurau RFP, Monteiro GA, Ugrinowitsch C, et al. Acute effect of a ballistic and a static stretching exercise bout on flexibility and maximal strength. *J Strength Cond Res* 2009;23(1):304-8.
- Behm DG, Kibele A. Effects of differing intensities of static stretching on jump performance. *Eur J Appl Physiol* 2007;101(5):587-94.
- Bialocerkowski AE, Bragge P. Measurement error and reliability testing: Application to rehabilitation. *Int J Ther Rehabil* 2008;15(10):422-7.
- Cameron DM, Bohannon RW. Relationship between active knee extension and active straight leg raise test measurements. *J Orthop Sports Phys Ther* 1993;17(5):257-60.
- Congdon R, Bohannon R, Tiberio D. Intrinsic and imposed hamstring length influence posterior pelvic rotation during hip flexion. *Clin Biomech (Bristol, Avon)* 2005;20(9):947-51.
- Davis DS, Ashby PE, McCale KL, et al. The effectiveness of 3 stretching techniques on hamstring flexibility using consistent stretching parameters. *J Strength Cond Res* 2005;19(1):27-32.
- Depino GM, Webright WG, Arnold BL. Duration of maintained hamstring flexibility after cessation of an acute static stretching protocol. *J Athl Train* 2000;35(1):56-9.
- Faul F, Erdfelder E, Lang A-G, et al. G*Power 3: a flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. *Behav Res Methods* 2007;39(2):175-91.
- Fish DR, Wingate L. Sources of goniometric error at the elbow. *Phys Ther* 1985;65(11):1666-70.
- Gajdosik R, Lusin G. Hamstring muscle tightness. Reliability of an active-knee-extension test. *Phys Ther* 1983;63(7):1085-90.
- Häggglund M, Waldén M, Ekstrand J. Risk factors for lower extremity muscle injury in professional soccer: the UEFA Injury Study. *Am J Sports Med* 2013;41(2):327-35.
- Hamid MSA, Ali MRM, Yusof A. Interrater and intrarater reliability of the active knee extension (ake) test among healthy adults. *J Phys Ther Sci* 2013;25(8):957-61.
- Jandre Reis FJ, Macedo AR. Influence of Hamstring Tightness in Pelvic, Lumbar and Trunk Range of Motion in Low
-

- Back Pain and Asymptomatic Volunteers During Forward Bending. *Asian Spine J* 2015;9(4):535-40.
- Johanson MA, Cuda BJ, Koontz JE, et al. Effect of stretching on ankle and knee angles and gastrocnemius activity during the stance phase of gait. *J Sport Rehabil* 2009;18(4):521-34.
- Lim W. Optimal Intensity of PNF Stretching: Maintaining the Efficacy of Stretching While Ensuring Its Safety. *J Phys Ther Sci* 2018;30(8):1108-11.
- Lim W. Easy Method for Measuring Stretching Intensities in Real Clinical Settings and Effects of Different Stretching Intensities on Flexibility. *J Back Musculoskelet Rehabil* 2019;32(4):579-85.
- Lim W. Effects of Progressive Increased Intensity of PNF Stretching on Hamstring Force and Flexibility. *Int J Hum Mov Sports Sci* 2020a;8(5):186-92.
- Lim W. The Effects of Proprioceptive Neuromuscular Facilitation and Static Stretching Performed at Various Intensities on Hamstring Flexibility. *Phys Ther Korea* 2020b;27(1):30-7.
- Lim W. Sex Differences in Repeatability of Measurement for Hamstring Strength During Maximal Voluntary Contractions. *J Korean Phys Ther Sci* 2020c;27(1):9-17.
- Malliaropoulos N, Isinkaye T, Tsitas K, et al. Reinjury after acute posterior thigh muscle injuries in elite track and field athletes. *Am J Sports Med* 2011;39(2):304-10.
- Marchetti PH, Miyatake MMS, Magalhaes RA, et al. Different volumes and intensities of static stretching affect the range of motion and muscle force output in well-trained subjects. *Sports Biomech* 2019;1-10.
- McHugh MP, Cosgrave CH. To stretch or not to stretch: the role of stretching in injury prevention and performance. *Scand J Med Sci Sports* 2010;20(2):169-81.
- Medeiros DM, Miranda LLP, Marques VB, et al. Accuracy of the functional movement screen (fms) active straight leg raise test to evaluate hamstring flexibility in soccer players. *Int J Sports Phys Ther* 2019;14(6):877-84.
- Nelson RT, Bandy WD. Eccentric Training and Static Stretching Improve Hamstring Flexibility of High School Males. *J Athl Train* 2004;39(3):254-8.
- Neto T, Jacobsohn L, Carita AI, et al. Reliability of the active-knee-extension and straight-leg-raise tests in subjects with flexibility deficits. *J Sport Rehabil* 2015;24(4):2014-20.
- Oh D, Lim W, Lee N. Concurrent Validity and Intra-Trial Reliability of a Bluetooth-Embedded Inertial Measurement Unit for Real-Time Joint Range of Motion. *Int J Comput Sci Sport* 2019;18(3):1-11.
- Pavlov PA. A method of reducing the random error of a dynamic laser goniometer. *Meas Tech* 2008;51(7):734-9.
- Radwan A, Bigney KA, Buonomo HN, et al. Evaluation of intra-subject difference in hamstring flexibility in patients with low back pain: An exploratory study. *J Back Musculoskelet Rehabil* 2015;28(1):61-6.
- Shamsi M, Mirzaei M, Khabiri SS. Universal goniometer and electro-goniometer intra-examiner reliability in measuring the knee range of motion during active knee extension test in patients with chronic low back pain with short hamstring muscle. *BMC Sports Sci Med Rehabil* 2019;11:4.
- Sharman MJ, Cresswell AG, Riek S. Proprioceptive neuromuscular facilitation stretching : mechanisms and clinical implications. *Sports Med* 2006;36(11):929-39.
- Spernoga SG, Uhl TL, Arnold BL, et al. Duration of Maintained Hamstring Flexibility After a One-Time, Modified Hold-Relax Stretching Protocol. *J Athl Train* 2001;36(1):44-8.
- Thomas E, Bianco A, Paoli A, et al. The relation between stretching typology and stretching duration: the effects on

range of motion. *Int J Sports Med* 2018;39(4):243-54.

Tonelli SM, Rakel BA, Cooper NA, et al. Women with knee osteoarthritis have more pain and poorer function than men, but similar physical activity prior to total knee replacement. *Biol Sex Differ* 2011;2:12.

[논문접수일(Date Received): 2021.02.10. / 논문수정일(Date Revised): 2021.03.17. / 논문게재승인일(Date Accepted): 2021.04.07.]
