한국정보전자통신기술학회논문지(jkiiect)'24-4, Vol.17 No.2
논문 24-17-02-108 http://dx.doi.org/10.17661/jkiiect.2024.17.2.108

회내족 환자의 드레트밀 보행시 회내각과 넓다리두갈래근의 근전도 피로지수 사이의 상관관계

원종칠, 이기영*

Correlations between pronation angle and EMG fatigue indices of biceps femoris muscles during treadmill walking of pronated foot subjects

Jongchil Won, Kiyoung Lee*

요 약 회내족은 넙다리두갈래근의 활성화를 증가시키거나 근피로 또는 과사용증후군(overuse syndromes)을 초래한다. 본 연구에서는 회내각(pronation angles)이 20° 이상인 회내족 피험자를 대상으로 회내각과 근피로지수와의 관계를 파악하는 것이다. 나이 범위가 15-61세인 12명의 피험자가 실험에 참여하였으며, 30초 동안 4.5 km/h의 속도로 트레드밀 보행시 넙다리두갈래근의 근전도를 측정하여 근피로지수인 중앙주파수와 저주파수 대역 크기의 기울기를 산출하였다. 본 연구에 참여한 피험자로부터 산출한 두 가지 근피로지수와 회내각 사이의 관계가 정상인과 유사할 것이라는 가정 하에 실험한 결과, 근피로지수와 회내각 사이의 유의한 상관성을 얻을 수 있었다 ($r>0.60$; $p<0.05$).

Abstract The pronation foot can increase muscle activity, and may result in muscle fatigue and overuse syndromes. This paper aims to examine the relationships between muscle fatigue indices and pronation angles (PRA) larger than 20° for pronated foot subjects. Twelve subjects in the 15-61 age range were participated, and EMG of their biceps femoris were measured during treadmill walking at 4.5 km/h for 30 seconds. Slopes of the median frequency and the magnitude in the low frequency band were estimated respectively as muscle fatigue indices (MFIs). We hypothesized that the relationships between MFIs and PRA for the subjects in this paper be similar to those for normal ones. The test results demonstrated that we could obtain the significant correlation coefficients between MFIs and PRA ($r>0.60$; $p<0.05$).

Key Words : Pronation foot, Muscle fatigue indicies, Pronation angle, Treadmill walking, EMG

1. 서론

후족(rear foot)의 회내 현상이 심하면 발의 구조적 변형으로 인해 달리기 또는 보행과 관련된 하지의 근육들인 앞정강근(tibialis anterior)과 넙다리두갈래근 (biceps femoris)을 활성화시키거나 근피로 및 과사용증후군을 초래한다[1-3]. 회내각은 평발 또는 회내발의 정도를 파악하기 위해 피험자가 서있을 때 목말뼈(talus)와 발꿈치뼈(calcaneum) 사이의 목발밑관절(subtalar joint) 즉, 발과 발목사이의 관절이 회내된 각도를 나타내는 측량치이다 [4]. 또한 회내족은 피험자가 가만히 서있을 때 뒤발의 회내각(pronation angle)이 20° 이상인 발을 의미하며, 후족의 회내각이 큰 경우 보행시 근피로가 증가하며, 신체질병을 유발시킬 수 있다[5]. 이 회내각의 측정방법은 Genova과 Gross (2000)의 방법과 이를 변형한 방법 등이 있다[6].

1997년 Fromme 등의 연구에 따르면 달리는 경주

*Corresponding Author : Department of Biomedical Engineering, Catholic Kwandong University(kylee@cku.ac.kr)
Received April 03, 2024 Revised April 10, 2024 Accepted April 22, 2024

선수의 경우 속도가 높아질수록 후족 회내각이 증가하였다. 이 연구는 트레드밀 상에서 최고의 속도로 달릴 때와 8 km/h 줄여서 달릴 때 회내각과 근피로로 인해 증가하는 젖산의 양 사이의 관계를 비교하였으며, 실험결과 경주자들이 최고속도로 달릴 때 회내각이 평균 6.69° 정도 증가하였고, 속도를 줄여서 달릴 때는 출발시의 회내각이 종료까지 유의하게 증가하였다[8]. 2016년 Farzaneh 등은 회내각과 유사한 후족각[9]과 주관적 근피로 척도 방법으로 운동자각도(rating of perceived exertion)를 이용하여 실험한 결과 근피로에 의해 후족각이 증가함을 확인하였다[10]. 또한 2021년 Lung 등은 피험자가 5.8 km/h의 빠른 보행시와 8.7 km/h의 가벼운 경주를 할 때 앞정강근(tibialis anterior)의 중앙주파수를 산출하여 1.8 km/h의 느린 보행시의 중앙주파수보다 유의하게 감소함을 확인하였다[11].

한편 회내족(pronation foot)으로 인한 내재근의 피로 영향을 검사하기 위하여 평발을 검사하기 위한 주상근 낙하 측정치들과 근전도 중앙주파수들의 상관관계를 이용하여 유의한 상관성을 얻은 바 있다[2]. 또한 2021년 Gómez-Benítez 등은 회내족의 어린이(10-12세) 를 대상으로 30초 동안 유산소 운동을 하게 하였으며 운동하기 전과 후를 비교 평가하였다. 발 자세의 평가방법은 Foot Posture Index와 Arch Index 및 Clarke angle을 통한 족저궁을 사용하였으며 인지된 피로감은 PCERT(Pictorial Children's Effort Rating Table)를 사용하였다. 그 결과 회내족의 어린이가 그렇지 않은 어린이보다 피로 또는 통증이 더 많았음을 확인하였다[3]. 그러나 아직까지 회내각과 중앙주파수 사이의 상관관계를 규명한 연구는 미비하다.

본 연구에서는 회내족의 피험자들을 대상으로 회내각의 크기와 근전도의 피로지수 사이의 상관성을 파악하려고 한다. 실험에서는 먼저 피험자들의 회내각을 측정하였으며 트레드밀 상에서 일정한 속도로 30초 동안 보행하면서 넙다리두갈래근의 근전도를 측정하였다. 여기서 넙다리두갈래근은 보행시 무릎을 굽히기 위하여 수축하는 주요기능을 한다. 실험결과에서는 근전도에서 산출한 근피로지수와 회내각의 관계를 파악하기 위하여 회귀분석하여 비교하였다.

2. 실험

2.1 피험자

본 실험의 참여한 피험자는 1분 이내의 보행시 아무 문제가 없고, 회내각이 20° 이상인 12명의 피험자이다[1]. 피험자의 나이는 15-61세이며, 체중은 45-110kg, 신장은 평균 150-180cm, 회내각은 평균 22.0-26.3°이다 (표 1). 실험에 앞서 가톨릭관동대학교 기관생명윤리위원회의 허가를 받았으며(CKU-17-01-0302), 피험자들에게 실험과정에서 필요한 내용을 설명하였다. 또한 실험과정은 헬싱키선언에 입각하여 진행하였다.

표 1. 피험자의 인적분포와 회내각.
Table 1. Subject' demographic data and pronation angles.

·	A(yr)	W(kg)	H(cm)	PRA(°)
Min	15	45.0	150.0	22.0
Max	61	110.0	180.0	26.3
Mean	39.4	66.5	163.6	24.1
SD	14.0	22.6	10.5	1.1

A: age, W: body weight, H: body height,
PRA: (rear foot) pronation angle

2.2 재료

회내각인 PRA는 고니오미터(goniometer)를 이용하여 측정하였으며, 트레드밀 보행기는 일정한 보행속도를 조정할 수 있는 HELMA 6900 이다. 근전도 측정기는 소프트웨어 MyoResearch 3.6을 이용하는 MyoTrace 400 (Noraxon, Inc., USA)이며, 전극사이의 간격은 2 cm인 쌍극성-전극(Ag/AgCl)을 사용하였다. 또한 우측의 넙다리두갈래근의 근육뭉치를 이루는 부분의 피부를 알코올로 세척하고 항-알러지 테이프로 전극을 부착하였다 (그림 1).

2.3 실험 프로토콜

회내각(pronation angle, PRA)의 측정방법은 Genova과 Gross (2000)의 방법을 약간 변형한 방법으로 종아리 뒤의 장딴지근육(calf muscles)의 중앙선과 뒤꿈치의 중앙선이 서로 교차하는 각도이다[4, 7,

14]. 또한 이상의 재료들을 착용한 피험자의 프로토콜은 먼저 트레드밀 보행에 익숙해지기 위해 트레드밀 상에서 10초 이상 보행연습을 하고 5분의 휴식을 취한 후, 4.5 km/h의 일정한 속도로 트레드밀 보행하면서 30초 동안 우측 넙다리두갈래근의 근전도를 측정하였다[2,12](그림 2).

그림 1. 트레드밀 보행시 근전도 측정.
Fig. 1. EMG measure during treadmill walking.

2.4 신호처리 및 비교방법

근전도 신호의 샘플링주파수는 1 kHz 이며, 컴퓨터에 저장하였다. 푸리에변환을 이용하여 주파수 분석하였으며 분석구간은 1 s, 이동구간은 0.3 s 이다. 30 s 동안의 근전도 신호에서 중앙주파수(median frequency; MDF) 및 25-82 Hz 범위의 저주파수 대역(low frequency band; LFB) [13]를 계산하여 근피로지수인 각각의 기울기를 산출하였다. 또한 회내각에 대한 근피로지수들의 통계적 비교방법은 회귀분석에 의해 회내각에 대한 근피로지수 사이의 결정계수를 구하고, 이들의 유의한 상관성을 검증하는 것이다. 이상의 분석과정은 엑셀 2016을 이용하였으며, 유의수준은 $p<0.05$로 하였다.

3. 실험결과

근전도 신호는 보행간격마다 무릎을 굽히기 위해 넙다리두갈래근이 수축하므로 30 s 동안 준주기적으로 증감한다(그림 2). 또한 모든 피험자들의 회내각에 대한 각각의 근피로지수 LFB의 기울기 및 MDF의 기울기의 산점도에서 구한 결정계수는 각각 0.427와 0.454 이었으며, 상관계수는 각각 0.674과 0.653 으로 모두 유의하였다($p<0.05$) (그림 3, 4).

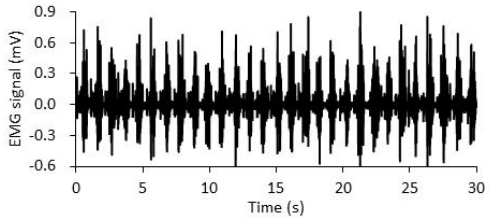
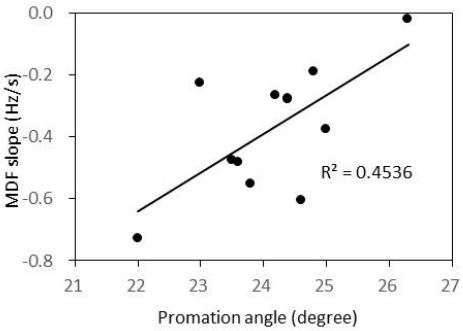
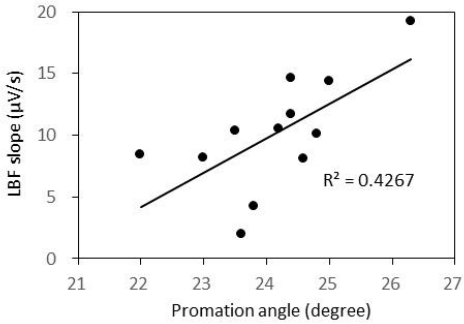


그림 2. 트레드밀 보행시 넙다리두갈래근의 근전도 신호
Fig. 2. EMG signal of biceps femoris muscles during treadmill walking



(a) MDF 기울기 ($p<0.05$)
(a) MDF slope ($p<0.05$)



(b) LFB 기울기 ($p<0.05$)
(b) LFB slope ($p<0.05$)

그림 3. 회내각에 대한 근피로 지수의 산점도
Fig. 3. Scatter plot of MFIs in PRA

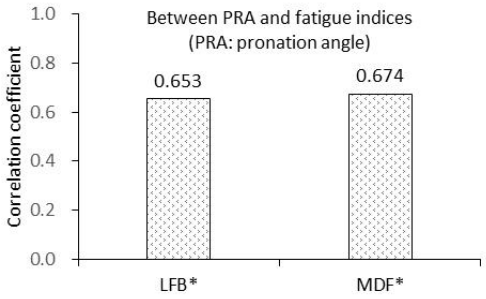


그림 4. 회내각과 근피로 지수 사이의 상관계수
(*: p<0.05)
Fig. 4. Correlation coefficients between PRA and MFIs
(*: p<0.05)

4. 고찰 및 결론

본 연구에서는 회내각이 20° 이상인 12명의 피험자를 대상으로 넙다리두갈래근의 근전도를 측정하였으며 회내각과 근피로지수인 중앙주파수의 기울기 및 저대역 주파수의 기울기들을 통계적으로 비교하였다.

(1) 실험에서 후족의 회내각(pronation angle of rear foot)을 측정하는 방법은 최근 2021년 Petro 등이 사용한 방법과 일치한다[4, 7].

(2) 그림 2의 근전도 신호가 시간에 따라 준주기적으로 증감하는 이유는 넙다리두갈래근의 주요기능이 무릎을 굽히기 위해 수축하기 때문이다 [1].

(3) Jamaluddin 등 (2008)이 연구한 주상근 낙하 측정치들과 근전도 중앙주파수들의 상관계수는 0.47 (p<0.03)이었으나 그림 4의 회내각과 LFB 및 MDF 기울기 사이의 상관계수는 모두 0.60 이상이며 유의한 상관성을 갖는다(r>0.60; p<0.05).

이상과 같이 유효한 회내각 측정방법과 근전도 신호를 바탕으로 통계적 분석한 결과, 회내족의 피험자들의 회내각과 근피로지수 사이에 유의한 상관성을 얻을 수 있었다. 따라서 후족 회내각이 넙다리두갈래근의 근피로에 영향을 준다고 할 수 있다.

그렇지만 회내각이 20° 이상인 회내족의 피험자들을 실험과정에 참여시켜 피험자 수를 증가하는 것은 쉽지 않았다. 또한 본 연구에 참여한 피험자의 나이의 범위는 15-61세로 다양하기 때문에 30초 동안 트레드밀 보행하면서 나이에 따른 피험자들에게 생기는 근피로 정도가 서로 다를 것으로 판단된다. 그럼에도 불구하고 회내족의 피험자들에게도 회내각이 심하지 않은 피험자들과 유사할 것이라는 가정하에 회내각이 근피로를 초래할 수 있다는 실험결과를 얻었다. 앞으로 가능하면 나이의 범위를 줄이고 피험자의 수도 증가시키면 보다 좋은 결과를 얻을 것으로 사료된다.

REFERENCES

[1] Nawoczenski, D.A., Ludewig, P.M., "Electromyographic effects of foot orthotics on selected lower extremity muscles during running," Archives of Physical Medicine and Rehabilitation, Vol. 80, pp. 540-544, 1999.

[2] Jamaluddin, F.N., Siti A.Ahmad, Samsul Bahari Mohd Noor, Wan Zuha Wan Hassan, Azhar Yaakob, Yunus Adam, Sawal H.M Ali, "Fatigue of the plantar intrinsic foot muscles increases navicular drop," Journal of Electromyography and Kinesiology, Vol. 18, pp. 420-425, 2008.

[3] Gómez-Benítez, M, Gómez-Benítez, A, Ramos-Ortega, J, Castillo-López, J, Bellido-Fernandez, L, Munuera-Martínez, P, "Fatigue in Children with Pronated Feet After Aerobic Exercises", Journal of the American Podiatric Medical Association, Vol. 111, No. 2, 2021.

[4] Petro, B., T. Mathur, E. Edstrom, W. Rishko, J. Y. Lee, R. Wang, D. Culotta, "Measuring Pronation and Supination Using Accelerometers and Force-Sensitive Resistors", University of Illinois at Urbana-Champaign, PHYS 398 DLP, April 30, 2021.

[5] Willems, T. M., Ley, C., Goetghebeur, E., Theisen, D., & Malisoux, L., "Motion-control shoes reduce the risk of pronation-related pathologies in recreational runners: A secondary analysis of a randomized

controlled trial“, Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy, Vol. 51, No. 3, pp. 135-143, 2021.
[6] Donatelli, R., The biomechanics of the foot and ankle, F A Davis Co, 1995.
[7] Genova, J. M., & Gross, M. T., “Effect of foot orthotics on calcaneal eversion during standing and treadmill walking for subjects with abnormal pronation”, Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy, Vol. 30, No. 11, pp. 664-675. 2000.
[8] Fromme, A., F. Winkelmann, L. Thorwesten, R. Reer, J. Jerosch, “Pronation angle of the rear foot during running in relation to load”, Sportverletz Sportschaden, Vol. 11, No. 2, pp. 52-57, 1997.
[9] Buchanan, K.R., Davis, I., "The Relationship Between Forefoot, Midfoot, and Rearfoot Static Alignment in Pain-Free Individuals", Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy, Vol. 35, No. 9, 2005.
[10] Farzaneh, H.. Saeed Ilbeigi, M. Anbarian., “The effects of fatigue on rear foot angle in normal and pronate individuals”, Medicine, 2016.
[11] Lung, C. W., Ben-Yi Liau, Joseph A. Peters, Li He, Runnell Townsend, Yih-Kuen Jan, "Effects of various walking intensities on leg muscle fatigue and plantar pressure distributions", BMC Musculoskeletal Disorders, Vol. 22, No. 831, 2021.
[12] Lee, S, Choi, A, Kim, S, Won, J, Lee, K, "Comparison of EMG activity using Spectrum Indices from Biceps Femoris Muscle during Treadmill Walking", International Journal of Advanced Science and Technology, Vol. 28, No. 3, pp. 33-39, 2019.
[13] Mündermann, A., James M. Wakeling, Benno M. Nigg, R. Neil Humble, Darren J. Stefanyshyn, “Foot orthoses affect frequency components of muscle activity in the lower extremity”, Gait & Posture, Vol. 23, pp. 295 -302, 2006.
[14] Sakalauskaitė, R., Satkunskienė, D., "The foot arch and viscoelastic properties of plantar fascia and Achilles tendon", Journal of Vibroengineering. Vol. 14, Issue 4, 2012.

저자약력

원 종 칠 (Jongchil Won) **[정회원]**

- 2000년 : 고려대병설보건대학 물리치료과
- 2016년 : 가톨릭관동대학교 의료공학과 석사
- 2018년 : 가톨릭관동대학교 의료공학과 박사수료

〈관심분야〉 근전도 신호처리, 발교정기

이 기 영 (Kiyoung Lee) **[종신회원]**

- 1987~1988년 : 한국전자통신 연구소 연구원
- 1992년 : 명지대학교 박사
- 2003~2004년 : 미주리주립대학교환교수
- 2011년 : 성균관대학교 박사
- 1993년~현재 : 가톨릭관동대학교 의료공학과 교수

〈관심분야〉 의용전자, 생체 신호처리, 기계 요소학, 디지털 신호처리